



Τμήμα Πληροφορικής
Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Διδακτορική Διατριβή της

Βικτώριας Τσιρίγκα

Εξατομικευμένη Διδασκαλία σε
Μαθησιακά Ευφυή Διδακτικά Συστήματα



00146742

Πειραιάς 2003

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ	
ΑΡ. ΕΙΣ.	46742
COMP.	26630
ΤΑΞΗ	371.3'9445 ΤΣ1
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ	

**Διδακτορική Διατριβή της Βικτώριας Τσιρίγκα με τίτλο
«Εξατομικευμένη Διδασκαλία σε Διαδικτυακά Ευφρή
Διδακτικά Συστήματα»**

Τμήμα Πληροφορικής Πανεπιστημίου Πειραιώς

Συμβουλευτική Επιτροπή

Επιβλέπουσα

Μαρία Βίρβου, Επίκουρος Καθηγήτρια,
Τμήμα Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο
Πειραιώς.

Μέλη

Νικόλαος Αλεξανδρής, Καθηγητής,
Τμήμα Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο
Πειραιώς.

Θεμιστοκλής Παναγιωτόπουλος,
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα
Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο
Πειραιώς.

Εξεταστική Επιτροπή

Νικόλαος Αλεξανδρής, Καθηγητής,
Τμήμα Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο
Πειραιώς.

Μιχαήλ Γεωργιακόδης, Καθηγητής,
Τμήμα Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο
Πειραιώς.

Βασίλειος Χρυσικόπουλος, Καθηγητής,
Τμήμα Αρχιτεκτονικής,
Βιβλιοθηκονομίας, Ιόνιο
Πανεπιστήμιο.

Θεμιστοκλής Παναγιωτόπουλος,
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα
Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο
Πειραιώς.

Αντώνιος Συμβώνης, Αναπληρωτής
Καθηγητής, Τμήμα Εφαρμοσμένων
Μαθηματικών και Φυσικών
Επιστημών, Εθνικό Μετσόβειο
Πολυτεχνείο.

Μαρία Βίρβου, Επίκουρος Καθηγήτρια,
Τμήμα Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο
Πειραιώς.

Ιωάννης Χατζηλυγερούδης, Λέκτορας,
Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και
Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο
Πατρών.

Πρόλογος

Η έρευνα που παρουσιάζεται στη διατριβή αυτή διεξήχθη από το Φεβρουάριο του 1998 έως τον Φεβρουάριο του 2003 στο Τμήμα Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πειραιώς. Η ερευνητική περιοχή στην οποία εστιάζει είναι τα Διαδίκτυα Ευφυή Διδακτικά Συστήματα και η μοντελοποίηση μαθητών σε αυτά. Οι διαδικτυακές εκπαιδευτικές εφαρμογές έχουν αποτελέσει τα τελευταία χρόνια πόλο έλξης μεγάλης ερευνητικής προσπάθειας, εξαιτίας των πλεονεκτημάτων τους, όπως η ανεξαρτησία από τον τόπο και το χρόνο διεξαγωγής της διδασκαλίας. Παρόλα αυτά, λίγα είναι τα διαδικτυακά εκπαιδευτικά συστήματα που μπορούν να παρέχουν ένα περιβάλλον εργασίας που προσαρμόζεται στις ανάγκες και τις ιδιαιτερότητες των χρηστών. Όμως, η προσαρμοστικότητα σε περιβάλλοντα εξ αποστάσεως διδασκαλίας είναι εξαιρετικά μεγάλης σημασίας, διότι οι μαθητές καλούνται να μάθουν το γνωστικό αντικείμενο που διδάσκεται χωρίς τη βοήθεια κάποιου δασκάλου. Για να μπορεί μία εκπαιδευτική εφαρμογή να παρέχει εξατομικευμένη διδασκαλία και υποστήριξη στους μαθητές πρέπει να διατηρεί κάποιο μοντέλο για κάθε μαθητή. Κατά συνέπεια, το ζήτημα της μοντελοποίησης μαθητών αποκτά ιδιαίτερα μεγάλη αξία στα διαδικτυακά διδακτικά συστήματα.

Το ερευνητικό έργο που παρουσιάζεται στη συγκεκριμένη διατριβή είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός γενικού πλαισίου αρχικοποίησης μοντέλων μαθητών σε Διαδίκτυα Ευφυή Διδακτικά Συστήματα. Η αρχικοποίηση του μοντέλου ενός μαθητή έχει μεγάλη σημασία για την τελική αποδοχή ή όχι ενός εκπαιδευτικού συστήματος από τους τελικούς χρήστες, δηλαδή τους μαθητές. Είναι ευνόητο ότι αν οι μαθητές δεν αποδεχτούν το διδακτικό σύστημα, τότε αυτό είναι καταδικασμένο να αποτύχει ως προς την εκπαιδευτική διαδικασία. Παρόλα αυτά, στη διεθνή βιβλιογραφία δεν έχουν καταγραφεί πολλές τεχνικές για την αντιμετώπιση του ζητήματος της αρχικοποίησης μοντέλων μαθητών. Το γενικό πλαίσιο που δημιουργήθηκε ονομάζεται ISM (Initializing Student Models). Η αρχικοποίηση του μοντέλου ενός νέου μαθητή πραγματοποιείται με βάση τη γνώση του συστήματος αναφορικά με άλλους μαθητές που έχουν ομοιότητες με το νέο μαθητή ως προς κάποια χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τη διαδικασία της μάθησης του γνωστικού αντικείμενου που διδάσκεται.

Για να ελεγχθεί η γενικότητά του, το ISM εφαρμόστηκε σε δύο Διαδικτυακά Εκπαιδευτικά Διδακτικά Συστήματα για διαφορετικά γνωστικά αντικείμενα. Το πρώτο είναι ένα Διαδικτυακό Ευφρές Διδακτικό Σύστημα για το γνωστικό πεδίο των Αγγλικών, το οποίο ονομάζεται Web-PVT. Μέχρι σήμερα, δεν υπάρχουν πολλά Ευφρή Διδακτικά Συστήματα για τη διδασκαλία κάποιας γλώσσας που να λειτουργούν μέσω του παγκοσμίου ιστού. Κατά συνέπεια, η διαδικασία ανάπτυξης διαδικτυακών συστημάτων διδασκαλίας γλώσσας και η αρχιτεκτονική τους αποτελούν θέματα για έρευνα δεδομένου ότι τα μέχρι τώρα αποτελέσματα είναι λίγα και ελλιπή. Το δεύτερο σύστημα στο οποίο εφαρμόστηκε το γενικό πλαίσιο ISM, είναι το Web-EasyMath, ένα διαδικτυακό σύστημα για τη διδασκαλία των αλγεβρικών δυνάμεων. Τα δύο αυτά γνωστικά αντικείμενα είναι πολύ διαφορετικά μεταξύ τους, τόσο αναφορικά με τα χαρακτηριστικά των μαθητών που μπορούν να επηρεάσουν τη μαθησιακή τους δραστηριότητα, όσο και ως προς τη διδακτική προσέγγιση και τη διαδικασία επίλυσης προβλημάτων του πεδίου.

Στη διατριβή αυτή, περιγράφονται επίσης δύο μελέτες που διεξήχθησαν για την αξιολόγηση του Web-PVT. Η πρώτη μελέτη, αφορούσε στην αξιολόγηση της διαδικασίας αρχικοποίησης μοντέλων μαθητών του Web-PVT. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής ήταν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά και έδειξαν ότι η ικανότητα του συστήματος να αυτο-βελτιώνεται όσο χρησιμοποιείται από μαθητές οδήγησε στην κατασκευή ακριβέστερων αρχικών μοντέλων. Η δεύτερη εμπειρική μελέτη στόχευε στην αξιολόγηση του Web-PVT, αναφορικά με το εάν το σύστημα επιτυγχάνει τους στόχους των διδακτικών συστημάτων. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής έδειξαν ότι οι ευφρείς δυνατότητες εξατομίκευσης του Web-PVT οδήγησαν τους μαθητές σε αυξημένο μαθησιακό αποτέλεσμα και αποδοτικότερη χρήση του συστήματος.

Η έρευνα που παρουσιάζεται στη συγκεκριμένη διατριβή δεν θα μπορούσε να έχει ολοκληρωθεί χωρίς την πολύτιμη καθοδήγηση, την υποστήριξη και την ενθάρρυνση της επιβλέπουσας καθηγήτριάς μου κυρίας Μαρίας Βίβρου, Επίκουρου Καθηγήτριας στο Τμήμα Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πειραιώς.

Επιπλέον, πολύτιμη ήταν και η υποστήριξη που μου προσέφεραν τα άλλα μέλη της τριμελούς μου επιτροπής, οι κ.κ. Νικόλαος Αλεξανδρής, Καθηγητής και Θεμιστοκλής Παναγιωτόπουλος, Αναπληρωτής Καθηγητής, σε όλο το διάστημα διεξαγωγής της έρευνας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της επταμελούς επιτροπής εξέτασης της διατριβής, τους κ.κ. Μιχαήλ Γεωργιακόδη, Καθηγητή, Βασίλειο

Χρυσικόπουλο, Καθηγητή, Αντώνιο Συμβώνη, Αναπληρωτή Καθηγητή και Ιωάννη Χατζηλυγερούδη, Λέκτορα για τις υποδείξεις και τα εποικοδομητικά τους σχόλια.

Οφείλω επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στην Διονυσία Παπαδάκη που πρόθυμα και ακούραστα παρείχε τις συμβουλές της και την εμπειρογνώμοσή της για την ανάλυση των απαιτήσεων και το σχεδιασμό του Web-PVT. Σημαντική ήταν επίσης η συμβολή των μαθητών και των δασκάλων της Αγγλικής γλώσσας του δημοτικού σχολείου «Παιδαγωγική», οι οποίοι συμμετείχαν πρόθυμα και ακούραστα στα πειράματα αξιολόγησης του Web-PVT.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω όλους τους προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πειραιώς, που μοιράστηκαν μαζί μου αρκετές από τις καλές στιγμές και τις ανησυχίες που είχα σε όλο το διάστημα της διεξαγωγής της έρευνας. Οι συζητήσεις σχετικά με την έρευνα (και τη ζωή γενικότερα) με αυτούς του ανθρώπους με βοήθησε να καταλάβω την αξία της αναζήτησης της «Ιθάκης».

Πολλοί επίσης είναι οι άνθρωποι του στενού οικογενειακού και φιλικού μου περιβάλλοντος, στους οποίους οφείλω μεγάλη ευγνωμοσύνη για την ανοχή, την υποστήριξη και την αισιοδοξία που μου μετέδιδαν όταν ακόμη και εγώ η ίδια δεν πίστευα ότι θα τα καταφέρω. Κύριως γι' αυτό το σκοπό θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, τη γιαγιά μου και το Δημήτρη Μάρα, χωρίς τους οποίους δεν θα είχα επιχειρήσει εξ αρχής αυτό το εγχείρημα.

Δημοσιεύσεις

Κάποια επιλεγμένα τμήματα του ερευνητικού έργου που παρουσιάζεται στην παρούσα διατριβή έχουν δημοσιευτεί και σε άλλες ερευνητικές εργασίες. Οι δημοσιεύσεις που έχουν πραγματοποιηθεί παρουσιάζονται στις επόμενες υποενότητες.

Σε Διεθνή Περιοδικά μετά από Πλήρη Κρίση

1. Virvou, M. & Tsiriga, V. (2001). An Object-oriented Software Life Cycle of an Intelligent Tutoring System, *Journal of Computer Assisted Learning*, 17 (2), pp. 200-205.
2. Virvou, M. & Tsiriga, V. (2000). Involving Effectively Teachers and Students in the Life Cycle of an Intelligent Tutoring System. *Educational Technology and Society*, 3 (3), pp. 511-521.
3. Virvou, M., Maras, D. & Tsiriga, V. (2000). Student Modelling in an Intelligent Tutoring System for the Passive Voice of English Language. *Educational Technology and Society*, 3 (4), pp.139-150.

Επίσης έχει γίνει δεκτή προς δημοσίευση η εξής εργασία:

4. Tsiriga, V. & Virvou, M. (προς δημοσίευση). Modelling the Student to Individualise Tutoring in a Web-Based ICALL. *International Journal of Continuing Engineering Education and Lifelong Learning*.

Επίσης έχει υποβληθεί η εξής εργασία:

Tsiriga, V. & Virvou, M. (υποβολή). A Generic Framework for the Initialization of Student Models in Web-based ITSs.

Σε Διεθνή Βιβλία με Συλλογές Άρθρων μετά από Πλήρη Κριση

5. Tsiriga, V. & Virvou, M. (2003). Evaluation of an Intelligent Web-based Language Tutor. To appear in *Proceedings of the 7th International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information & Engineering Systems*, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Σε Διεθνή Συνέδρια μετά από Πλήρη Κριση

6. Tsiriga, V. & Virvou, M. (2003). Initializing Student Models in Web-based ITSs: a Generic Approach. To appear in *Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*.
7. Tsiriga, V. & Virvou, M. (2003). Integrating Machine Learning Methods throughout the Temporal Extent of the Web-based Student Model. To appear in *Proceedings of the 10th International Conference on Human - Computer Interaction (HCI 2003)*.
8. Tsiriga, V. & Virvou, M. (2002). Initializing the student model using stereotypes and machine learning. In A. El Kamel, K. Mellouli & P. Borne (Eds.) *Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics*.
9. Tsiriga, V. & Virvou, M. (2002). Diagnosing Language Transfer in a Web-based ICALL that Self-Improves its Student Modeler. In Petrushin, V., Kommers, P., Kinshuk & Galeev, I. (Eds.) *Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies: Media and the Culture of Learning*, pp. 349-353, Palmerston North, New Zealand: IEEE Learning Technology Task Force.
10. Tsiriga, V. & Virvou, M. (2002). Dynamically initializing the student model in a web-based language tutor. In *Proceedings of the 2002 1st International IEEE Symposium "Intelligent Systems"*, Vol. I, IEEE Computer Society Press, pp. 138-143.
11. Tsiriga, V. & Virvou, M. (2002). Transferring a Standalone Intelligent Algebra Tutor over the WWW. In *Proceedings of the 4th International Workshop on Computer Science and Information Technologies CSIT'2002*.
12. Tsiriga, V. & Virvou, M. (2002). Individualized Assessment in a Web-based Algebra Tutor. In Fernstrom, K. (Ed.) *Proceedings of the 3rd International Conference on Information Communication Technologies in Education*, pp. 443-448, Athens: National and Kapodistrian University of Athens.

13. Virvou, M. & Tsiriga, V. (2001). Web Passive Voice Tutor: an Intelligent Computer Assisted Language Learning System over the WWW. In Okamoto, T., Hartley, R., Kinshuk, & Klus, J. (Eds.) *Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies: Issues, Achievements and Challenges*, pp. 131-134, Los Alamitos: IEEE Computer Society Press.
14. Virvou, M. & Tsiriga, V. (2001). Adaptive Tutoring based on the Student Model of a Web-based ICALL. In *Proceedings of TELEMATICA 2001 International Conference on Telematics and Web-Based Education, International Volume*, pp. 47-50
15. Virvou, M. & Tsiriga, V. (2001). Student Modelling in a Web-based Algebra Tutor. In *Proceedings of TELEMATICA 2001 International Conference on Telematics and Web-Based Education, International Volume*, pp. 43-44.
16. Virvou, M., Tsiriga, V. & Maras, D. (2000). Evaluation of an ITS for the Passive Voice of the English Language Using the CIAO! Framework. In *Proceedings of ED-MEDIA 2000, World Conference on Education Multimedia and Educational Telecommunications*, pp.1722-1723, Charlottesville, VA: AACE.
17. Virvou, M. & Tsiriga V. (2000). Evaluation throughout the Life Cycle of a Multimedia Tutoring System. In *Proceedings of ED-MEDIA 2000, World Conference on Education Multimedia and Educational Telecommunications*, pp. 1505-1506, Charlottesville VA: AACE.
18. Virvou, M. & Tsiriga, V. (1999). A Role for School Teachers in the Development of an ITS. In Bullinger, H.-J. & Ziegler, J. (Eds.) *Human-Computer Interaction: Communication, Cooperation, and Application Design, Proceedings of the 8th International Conference on Human-Computer Interaction - HCI International '99*, Vol. 2, pp. 691-695, Mahwah NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
19. Virvou, M. & Tsiriga, V. (1999). EasyMath: A Multimedia Tutoring System for Algebra. In Collis, B. & Oliver, R. (Eds.) *Proceedings of ED-MEDIA 99, World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications*, Vol. 2, pp. 933-938, Charlottesville VA: AACE.
20. Virvou, M., Tsiriga, V. & Moundridou M. (2001). Adaptive Navigation Support in a Web-Based Software Engineering Course. In Spyrou, C. (Ed.) *Proceedings of the 2nd International Conference on Technology in Teaching and Learning in Higher Education*, pp. 333-338, Athens: National and Kapodistrian University of Athens.

Σε Ελληνικά Συνέδρια μετά από Πλήρη Κρίση

21. Τσιρίγκα, Β. & Βίρβου, Μ. (2002). Συμμετοχή Καθηγητών και Μαθητών στην Ανάπτυξη Εκπαιδευτικού Λογισμικού. 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο για τη “Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και την Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση”.
22. Βίρβου, Μ., Τσιρίγκα, Β. & Μουντριδου, Μ. (2002). Αυτόματη Προσαρμογή των Διδακτικών Αποφάσεων στις Ανάγκες του Μαθητή: Η Περίπτωση του Συστήματος Διδασκαλίας της Τεχνολογίας Λογισμικού από Απόσταση. 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο για τη “Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και την Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση”.

Περιεχόμενα

1 Εισαγωγή	1
1.1 Ερευνητικό Πεδίο	1
1.1.1 Εξατομικευμένα Συστήματα Διδασκαλίας μέσω Διαδικτύου	2
1.1.2 Μοντελοποίηση της Εξατομικευμένης Μαθησιακής Διαδικασίας	3
1.2 Περιγραφή του Γενικού Πλαισίου Αρχικοποίησης των Παραμέτρων της Μαθησιακής Διαδικασίας ISM	4
1.3 Εφαρμογή του ISM	6
1.4 Web-PVT: ΔΕΔΣ για τη διδασκαλία της Αγγλικής Γλώσσας	7
1.4.1 Μοντελοποίηση της Εξατομικευμένης Μαθησιακής Διαδικασίας στο Web-PVT	8
1.4.2 Εξατομικευμένη Διδασκαλία και Υποστήριξη στο Web-PVT	9
1.4.3 Αξιολόγηση του Web-PVT	9
1.5 Web-EasyMath: ΔΕΔΣ για τη Διδασκαλία των Αλγεβρικών Δυνάμεων	11
1.6 Δομή της Διατριβής	13
2 Ευφυή Διδακτικά Συστήματα στο Διαδίκτυο	17
2.1 Εισαγωγή	17
2.2 Ευφυή Διδακτικά Συστήματα	18
2.2.1 Γνωστικό Πεδίο	20
2.2.2 Υποσύστημα Μοντελοποίησης του Μαθητή	22
2.2.3 Υποσύστημα Λήψης Διδακτικών Αποφάσεων	23
2.2.4 Σύστημα Διεπαφής	24
2.3 Προσαρμοστικά Συστήματα Υπερμέσων (ΠΣΥ)	26
2.3.1 Προσαρμοστική Παρουσίαση	27
2.3.2 Προσαρμοστική Υποστήριξη κατά την Πλοήγηση	28
2.4 Τεχνολογίες Επικεντρωμένες στον Παγκόσμιο Ιστό	29
2.5 Αρχιτεκτονική Διαδικτυακών ΕΔΣ	30
2.6 Διαδικτυακά ΕΔΣ για τη Διδασκαλία Γλωσσών	33
2.6.1 German Tutor	34
2.6.2 MyEnglishTeacher	36
2.6.3 Japanese Passive Voice Tutoring System	37
2.7 Συμπεράσματα	38
3 Μοντελοποίηση της Εξατομικευμένης Μαθησιακής Διαδικασίας	41
3.1 Εισαγωγή	41
3.2 Χαρακτηριστικά του Μαθητή που Λαμβάνονται υπ' Όψη στη Μοντελοποίηση	42
3.3 Αναπαράσταση της Γνώσης του Μαθητή	43
3.3.1 Μοντέλα Επίστρωσης	43
3.3.2 Μοντέλα Παρεκκλίσεων	45
Απαριθμητική Προσέγγιση	46
Παραγωγική Προσέγγιση	47
Επανακατασκευαστική Προσέγγιση	48
3.3.3 Μοντέλα Περιορισμών	48
3.4 Μηχανισμοί Κατασκευής Μοντέλων	49
3.4.1 Αρχικοποίηση του Μοντέλου	49
3.4.2 Ενημέρωση του Μοντέλου	52

3.5 Μοντελοποίηση μέσω Μηχανικής Μάθησης	55
3.6 Ανοικτά Ερευνητικά Θέματα στη Μοντελοποίηση της Εξατομικευμένης Μαθησιακής Διαδικασίας	56
4 Από το PVT στο Web-PVT: Μεταφορά ενός ΕΔΣΤ στο Διαδίκτυο	59
4.1 Εισαγωγή	59
4.2 Passive Voice Tutor	60
4.3 Αρχιτεκτονική του Web-PVT	62
4.4 Γνωστικό Πεδίο του Web-PVT	64
4.5 Προσαρμογή Διδακτικών Αποφάσεων στις Ανάγκες του Μαθητή	66
4.5.1 Υποστήριξη κατά τη Μελέτη της Θεωρίας	66
4.5.2 Υποστήριξη του Μαθητή στις Ασκήσεις	71
Επιλογή της Κατάλληλης Άσκησης προς Επίλυση	72
Ευρήσης Ανάλυση της Απάντησης του Μαθητή	74
Παραγωγή Εξατομικευμένων Μηνυμάτων Λάθους	76
4.6 Συμπεράσματα	79
5 Εξατομίκευση της Διδασκαλίας στο Web-PVT	81
5.1 Εισαγωγή	81
5.2 Αναπαράσταση του Μοντέλου της Εξατομικευμένης Μαθησιακής Διαδικασίας	81
5.3 Αρχικοποίηση του Μοντέλου	86
5.3.1 Στερεότυπα ως προς το Γνωστικό Επίπεδο του Μαθητή	88
5.3.2 Σταθμισμένοι με βάση την απόσταση k-πλησιέστεροι γείτονες	89
Δεδομένα Εισόδου του Αλγορίθμου	90
Συνάρτηση Υπολογισμού της Απόστασης Δύο Μαθητών	90
Αριθμός Γειτονικών Μαθητών που Συμμετέχουν στην Κατηγοριοποίηση	91
Ορισμός Συναρτήσεων Αρχικοποίησης	92
5.3.3 Παράδειγμα Αρχικοποίησης Μοντέλου	94
5.4 Ενημέρωση του Μοντέλου	95
5.5 Συμπεράσματα	97
6 Αξιολόγηση του Web-PVT	99
6.1 Εισαγωγή	99
6.2 Αξιολόγηση του Υποσυστήματος Μοντελοποίησης	100
6.2.1 Διαδικασία Διεξαγωγής της Μελέτης	100
6.2.2 Αποτελέσματα Μελέτης	102
6.3 Αξιολόγηση της Τελικής Έκδοσης του Web-PVT	104
6.3.1 Περιγραφή του ΣΔΓΒΥ	104
6.3.2 Μεθοδολογία του Πειράματος	105
6.3.3 Αποτελέσματα Πειράματος Αναφορικά με το Μαθησιακό Αποτέλεσμα και τη Χρήση του Συστήματος	107
6.3.4 Αποτελέσματα Αξιολόγησης Αναφορικά με τη Φιλικότητα, την Ευχρηστία και τη Χρησιμότητα του Web-PVT	110
6.4 Συμπεράσματα	112
7 EasyMath: Ένα ΕΔΣ για τις Αλγεβρικές Δυνάμεις	115
7.1 Εισαγωγή	115
7.2 Κύκλος Ζωής του EasyMath	116
7.3 Ανάλυση Απαιτήσεων και Εμπειρική Μελέτη	118
7.3.1 Ανάλυση Απαιτήσεων του EasyMath	118

7.3.2 Εμπειρική μελέτη	120
7.4 Περιγραφή του EasyMath	122
7.4.1 Αρχιτεκτονική του ΕΔΣ	122
7.4.2 Λειτουργικότητα του ΕΔΣ	123
Περιβάλλον Παρουσίασης Θεωρίας	124
Περιβάλλον Επίλυσης Ασκήσεων	125
Περιβάλλον Παιχνιδιού	127
Περιβάλλον Κατασκευής Ασκήσεων Πολλαπλών Επιλογών	128
7.5 Αξιολόγηση του EasyMath	128
7.5.1 Αξιολόγηση στη Φάση της Επεξεργασίας	128
Αξιολόγηση Υποστήματος Διάγνωσης Λαθών και Παροχής Συμβουλών	129
Αξιολόγηση Αρχικού Πρωτοτύπου	130
7.5.2 Αξιολόγηση Πρώτης Τελικής Έκδοσης του EasyMath	132
Συμμετοχή Καθηγητών στην Αξιολόγηση της Πρώτης Τελικής Έκδοσης	133
Συμμετοχή Μαθητών στην Αξιολόγηση της Πρώτης Τελικής Έκδοσης	136
7.6 Συμπεράσματα	137
8 Μεταφορά του EasyMath στο Διαδίκτυο	139
8.1 Εισαγωγή	139
8.2 Αρχιτεκτονική του Web-EasyMath	140
8.3 Μοντελοποίηση της Εξατομικευμένης Μαθησιακής Διαδικασίας στο Web-EasyMath	141
8.3.1 Αρχικοποίηση του Μοντέλου	141
Συλλογή και Αναπαράσταση Αρχικών Πληροφοριών για το Μαθητή	142
Εκτίμηση Επιπέδου Γνώσης και Τάσης για Σφάλματα	145
Παράδειγμα Εκτίμησης Επιπέδου Γνώσης και Τάσης για Σφάλματα	147
8.3.2 Ενημέρωση του Μοντέλου	148
8.4 Υποσύστημα Λήψης Διδακτικών Αποφάσεων	150
8.4.1 Εξατομικευμένη Υποστήριξη κατά τη Μελέτη Θεωρίας	151
8.4.2 Εξατομικευμένη Υποστήριξη κατά την Επίλυση Ασκήσεων	152
8.5 Συμπεράσματα	155
9 Γενικό Πλαίσιο Αρχικοποίησης Παραμέτρων Μαθησιακής Διαδικασίας	157
9.1 Εισαγωγή	157
9.2 Αρχιτεκτονική του Γενικού Πλαισίου	158
9.3 Στερέοτυπα	161
9.4 Αλγόριθμος των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k -πλησιότερων γειτόνων	162
9.5 Προτεινόμενες Χρήσεις του Μοντέλου της Εξατομικευμένης Μαθησιακής Διαδικασίας	165
9.5.1 Εξατομικευμένη Βοήθεια κατά τη Μελέτη της Θεωρίας	166
9.5.2 Εξατομικευμένη Υποστήριξη κατά την Επίλυση Ασκήσεων	168
9.6 Συμπεράσματα	169
10 Συμπεράσματα	171
10.1 Σύνοψη Ερευνητικού Έργου	171
10.2 Συνεισφορά στην Ερευνητική Περιοχή	175
10.2.1 Μοντελοποίηση της Εξατομικευμένης Μαθησιακής Διαδικασίας	175
10.2.2 Διαδικτυακά Ευφυή Διδακτικά Συστήματα για τη Διδασκαλία Γλωσσών	177
10.2.3 Αξιολόγηση ΔΕΔΣ	177
10.3 Ανοικτά Ερευνητικά Θέματα	179

10.3.1 Ανοικτά Ερευνητικά Θέματα στη Μοντελοποίηση της Εξατομικευμένης Μαθησιακής Διαδικασίας	179
10.3.2 Ανοικτά Ερευνητικά Θέματα στην Αξιολόγηση του ΔΕΔΣΓ	180
Βιβλιογραφία	183

1 Εισαγωγή

1.1 Ερευνητικό Πεδίο

Τα συστήματα διδασκαλίας που βασίζονται στη χρήση της σύγχρονης τεχνολογίας και ιδιαίτερα στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερη σημασία στον τομέα της εκπαίδευσης. Η μείωση του κόστους των ηλεκτρονικών υπολογιστών καθώς και η ραγδαία εξάπλωση της τεχνολογίας του διαδικτύου (Internet), αποτέλεσε ένα βασικό έναυσμα για την ευρεία χρήση των υπολογιστών ως μέσο υποβοήθησης της διδασκαλίας. Κατά συνέπεια, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αυξανόμενο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη εικονικών, διαδικτυακών μαθημάτων τόσο για τις ανάγκες της βασικής όσο και για τις ανάγκες της ανώτερης και ανώτατης εκπαίδευσης (π.χ. De Bra 1996, Ebner et al. 1999, Bennett & Pilkington 2001, Garofalakis et al. 2002, Tsaganou et al. 2002). Τα πλεονεκτήματα των διαδικτυακών εκπαιδευτικών εφαρμογών είναι πολυάριθμα, όπως η ανεξαρτησία τους από τον τόπο και το χρόνο διεξαγωγής της διδασκαλίας (Reylo et al. 2000a). Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα είναι η ανεξαρτησία των διαδικτυακών εφαρμογών από τις πλατφόρμες που χρησιμοποιούν τα διάφορα υπολογιστικά συστήματα καθώς και η ευκολία πρόσβασης στις εφαρμογές αυτές. Τα πλεονεκτήματα αυτά εξασφαλίζουν την ευρεία χρήση των διαδικτυακών εκπαιδευτικών εφαρμογών.

Παρόλα τα πλεονεκτημά τους, οι περισσότερες εκπαιδευτικές εφαρμογές που διατίθενται μέσω του διαδικτύου στερούνται της αλληλεπιδραστικότητας και της προσαρμοστικότητας στις ανάγκες του μαθητή. Η προσαρμοστικότητα στις ανάγκες και το γνωστικό επίπεδο του εκάστοτε μαθητή είναι ένα πολύ σημαντικό ζήτημα, ιδιαίτερα στις διαδικτυακές εκπαιδευτικές εφαρμογές, αφού τα συστήματα διδασκαλίας από απόσταση χρησιμοποιούνται από ετερογενείς ομάδες μαθητών και σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει διαθέσιμος ο διδάσκων για να τους βοηθήσει στην μαθησιακή τους δραστηριότητα (Weber & Specht 1997). Οι διαδικτυακές εφαρμογές

που μπορούν να εξατομικεύουν το περιβάλλον εργασίας στις ανάγκες του κάθε μαθητή, ονομάζονται εξατομικευμένα συστήματα διδασκαλίας μέσω διαδικτύου. Τα συστήματα αυτά κατασκευάζουν κάποιο μοντέλο για κάθε μαθητή και χρησιμοποιούν το μοντέλο αυτό ώστε να προσαρμόζουν το περιεχόμενο και τον τρόπο της διδασκαλίας στις ανάγκες του μαθητή αυτού. Συνήθως, για την παροχή εξατομικευμένης διδασκαλίας, τα συστήματα αυτά βασίζονται είτε σε ευφυείς τεχνικές και ονομάζονται Διαδιδυακά Ευφυή Διδακτικά Συστήματα (ΔΕΔΣ), είτε σε τεχνικές προσαρμοστικών υπερμέσων και λέγονται Προσαρμοστικά Συστήματα Υπερμέσων (ΠΣΥ). Πολλές φορές, τα ΔΕΔΣ εμπεριέχουν και τεχνικές από τα ΠΣΥ. Σε κάθε περίπτωση όμως, τα ΔΕΔΣ και τα ΠΣΥ επιχειρούν να εξατομικεύσουν τη διδασκαλία μέσω της μοντελοποίησης των μαθητών.

1.1.1 Εξατομικευμένα Συστήματα Διδασκαλίας μέσω Διαδικτύου

Τα ΔΕΔΣ προκύπτουν από την ενσωμάτωση τεχνικών των Ευφών Διδακτικών Συστημάτων-ΕΔΣ (Intelligent Tutoring Systems-ITS) σε διαδικτυακές εκπαιδευτικές εφαρμογές. Τα ΕΔΣ είναι εφαρμογές που στοχεύουν στην παροχή οικονομικά αποδοτικής ατομικής διδασκαλίας. Τα ΕΔΣ είναι πολύ ικανά στην παροχή εξατομικευμένης διδασκαλίας στους μαθητές, διότι είναι σχεδιασμένα ώστε να γνωρίζουν *ποιον* διδάσκουν, *τι* διδάσκουν και *πώς* να το διδάξουν (Self 1974). Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια της Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence). Για τον λόγο αυτό, ο τομέας των ΕΔΣ αναφέρεται συχνά και ως «Τεχνητή Νοημοσύνη στην Εκπαίδευση» (Artificial Intelligence in Education). Σε έναν πολύ μεγάλο βαθμό τα ΕΔΣ βασίζονται στο μοντέλο που διατηρούν για κάθε μαθητή, για να παρέχουν ευφυή και εξατομικευμένη διδασκαλία. Το υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών των ΕΔΣ επιχειρεί να αναπαραστήσει τη γνώση και τις αδυναμίες κάθε μαθητή και στη συνέχεια να χρησιμοποιήσει αυτές τις πληροφορίες ώστε να εξατομικεύσει το περιβάλλον διδασκαλίας στις προσωπικές ανάγκες του μαθητή (Nwana 1991). Τα τελευταία χρόνια, έχουν αναπτυχθεί αρκετά συστήματα που χρησιμοποιούν τεχνικές των ΕΔΣ για την παροχή εξατομικευμένης διδασκαλίας μέσω του παγκοσμίου ιστού (π.χ. Okazaki et al. 1996, Vassileva 1997a, Alpert et al. 1999, Heift & Nicholson 2001, Prentzas et al. 2002).

Επιπλέον, η παροχή εξατομικευμένης διδασκαλίας σε ένα διαδικτυακό σύστημα μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση τεχνικών από την ερευνητική περιοχή των Προσαρμοστικών Συστημάτων Υπερμέσων-ΠΣΥ (Adaptive Hypermedia). Τα ΠΣΥ

κατασκευάζουν και διατηρούν ένα μοντέλο των στόχων, των προτιμήσεων και του γνωστικού υποβάθρου του κάθε χρήστη και στη συνέχεια χρησιμοποιούν αυτό το μοντέλο ώστε να προσαρμόζουν τη δομή και το περιεχόμενο του συστήματος στις ανάγκες του συγκεκριμένου χρήστη (Brusilovsky, 1996, 2001). Κατά τα τελευταία χρόνια, ολοένα αυξανόμενος αριθμός διαδικτυακών εφαρμογών ΠΣΥ αναπτύσσονται για τις ανάγκες της εκπαιδευτικής διαδικασίας (π.χ. Weber & Specht 1997, Brusilovsky & Pesin 1998, Albrecht et al. 1999, Henze & Nejd1 2001). Σύμφωνα με διάφορες μελέτες της διεθνούς βιβλιογραφίας (π.χ. Boyle & Encarnacion 1994, Murray et al. 2000) οι τεχνολογίες των ΠΣΥ δείχνουν να έχουν θετικές επιδράσεις στη μαθησιακή δραστηριότητα.

Η ενσωμάτωση τεχνικών από κάθε έναν από τους παραπάνω τομείς έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα κατάλληλη δια τη δημιουργία εξατομικευμένων συστημάτων διδασκαλίας μέσω διαδικτύου. Παρόλα αυτά, δεν είναι πολλά τα διαδικτυακά συστήματα διδασκαλίας που χρησιμοποιούν κάποιο συνδυασμό τεχνικών και από τους δύο τομείς.

1.1.2 Μοντελοποίηση της Εξατομικευμένης Μαθησιακής Διαδικασίας

Όπως προκύπτει από την προηγούμενη ενότητα, ένα από τα βασικότερα τμήματα τόσο των ΕΔΣ όσο και των ΠΣΥ, το οποίο τους παρέχει τη δυνατότητα εξατομικεύσης της διδασκαλίας είναι το υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών. Κατά συνέπεια, το ζήτημα της μοντελοποίησης μαθητών είναι πολύ μεγάλης σημασίας για ένα ΔΕΔΣ. Το υποσύστημα μοντελοποίησης του μαθητή είναι υπεύθυνο για τη δυναμική αναπαράσταση της εξελισσόμενης γνώσης του μαθητή (Nwana 1991) καθώς και για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη γνώση και τις παρανοήσεις του μαθητή με βάση τη συμπεριφορά του (Dillenbourg & Self 1992).

Παρόλο που το ζήτημα της μοντελοποίησης μαθητών απασχόλησε τους ερευνητές της περιοχής από τις πρώτες κιόλας προσπάθειες κατασκευής ΕΔΣ, υπάρχουν ακόμη αρκετά ανοικτά ερευνητικά θέματα σε διάφορα προβλήματα που σχετίζονται με την κατασκευή του μοντέλου ενός μαθητή. Κάποια από τα θέματα αυτά που σχετίζονται άμεσα με την έρευνα της παρούσας διατριβής είναι η αρχικοποίηση του μοντέλου του μαθητή και η αναπαράσταση της εξέλιξης της γνώσης του μαθητή μέσα από τη διδασκαλία. Επιπρόσθετα, ένα άλλο πολύ σημαντικό ζήτημα είναι ότι δεν υπάρχουν πολλά γενικευμένα μοντέλα μαθητών που να μπορούν να εφαρμοστούν σε ΕΔΣ για διαφορετικά γνωστικά πεδία.

Η μοντελοποίηση του μαθητή συνίσταται στην αρχική κατασκευή του μοντέλου ενός μαθητή που αλληλεπιδρά για πρώτη φορά με ένα ΕΔΣ και στην ενημέρωση του μοντέλου αυτού με βάση τις ενέργειες του μαθητή στις επακόλουθες αλληλεπιδράσεις του με το σύστημα (Ragnemalm 1996). Ενώ το θέμα της ενημέρωσης του μοντέλου του μαθητή αποτελεί ζήτημα μείζοντος ενδιαφέροντος για τον τομέα των εξατομικευμένων εκπαιδευτικών συστημάτων, το ζήτημα της αρχικοποίησης του μοντέλου του μαθητή έχει παραμεληθεί και συχνά αντιμετωπίζεται με τη χρήση τετριμμένων μεθόδων (π.χ. θεώρηση ότι όλοι οι μαθητές έχουν το ίδιο αρχικό μοντέλο). Η χρήση αυτών των μεθόδων δεν είναι κατάλληλη ιδιαίτερα στην περίπτωση των ΔΕΔΣ. Αυτό συμβαίνει γιατί το κοινό στο οποίο απευθύνεται ένα ΔΕΔΣ είναι ευρύτερο από αυτό ενός αυτόνομου ΕΔΣ. Κατά συνέπεια είναι δύσκολο όλοι οι μαθητές να έχουν το ίδιο υπόβαθρο στο διδασκόμενο αντικείμενο.

Επιπλέον, ένα άλλο πολύ σημαντικό ζήτημα κατά τη διαδικασία ενημέρωσης του μοντέλου ενός μαθητή είναι ο παράγοντας χρόνος. Παρόλο που έχει αναγνωριστεί η σημασία της χρονικής παραμέτρου εξαιτίας της εξελικτικής φύσης της διαδικασίας της μάθησης, πολύ λίγα ΕΔΣ πραγματοποιούν κάποιο διαχωρισμό μεταξύ της «παλιάς» και της «νέας» γνώσης του μαθητή (Giangrandi & Tasso 1996, Chiu & Webb 1998, Webb & Kuzmycz 1998).

Τέλος, μέχρι σήμερα, ο τομέας της μοντελοποίησης μαθητών χαρακτηρίζεται από μία έλλειψη προτυποποίησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην υπάρχουν πολλά γενικευμένα πλαίσια (frameworks) μοντελοποίησης μαθητών. Επιπλέον, τα περισσότερα από τα πλαίσια που έχουν θεσμοθετηθεί είναι είτε άμεσα συσχετισμένα με το αντικείμενο που διδάσκεται από το ΕΔΣ, είτε πολύ γενικά. Τα πλαίσια που είναι συσχετισμένα με το διδασκόμενο αντικείμενο δεν μπορούν εύκολα να εφαρμοστούν σε άλλα γνωστικά πεδία. Τα πολύ γενικά πλαίσια από την άλλη πλευρά, δεν αντιμετωπίζουν τις ιδιαιτερότητες του γνωστικού πεδίου που διδάσκεται από το ΕΔΣ.

1.2 Περιγραφή του Γενικού Πλαισίου Αρχικοποίησης των Παραμέτρων της Μαθησιακής Διαδικασίας ISM

Το ερευνητικό έργο που διεξήχθη είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός γενικού πλαισίου αρχικοποίησης μοντέλων μαθητών σε ΔΕΔΣ (Tsiriga & Virvou 2003b). Το γενικό πλαίσιο ονομάζεται ISM (Initializing Student Models) και χρησιμοποιεί έναν καινοτομικό συνδυασμό των στερεοτύπων (Rich 1979, 1983) και ενός αλγορίθμου

μηχανικής μάθησης (συγκεκριμένα του αλγορίθμου των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k -πλησιέστερων γειτόνων) για την εξαγωγή αρχικών συμπερασμάτων αναφορικά με νέους μαθητές. Σύμφωνα με το ISM, οι νέοι μαθητές αρχικά κατηγοριοποιούνται σε κάποιο στερεότυπο αναφορικά με το γνωστικό τους υπόβαθρο στο διδασκόμενο αντικείμενο. Στη συνέχεια, το ISM θέτει αρχικές τιμές στα μοντέλα των νέων μαθητών χρησιμοποιώντας την αποκτιθείσα γνώση του συστήματος σχετικά με άλλους μαθητές που έχουν χρησιμοποιήσει το σύστημα για αρκετό χρονικό διάστημα και οι οποίοι ανήκουν στο ίδιο στερεότυπο αναφορικά με το γνωστικό τους επίπεδο. Η γνώση του συστήματος σχετικά με άλλους μαθητές έχει συγκεντρωθεί στα μοντέλα αυτών των μαθητών. Τα μοντέλα αυτών των μαθητών έχουν προκύψει με βάση την παρατήρηση της πραγματικής συμπεριφοράς τους.

Συγκεκριμένα, το ISM χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k -πλησιέστερων γειτόνων για να εξάγει συμπεράσματα για κάποια χαρακτηριστικά του νέου μαθητή. Ο αλγόριθμος των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k -πλησιέστερων γειτόνων (Dudani 1976, MacLeod et al. 1987, Emde & Wettschereck 1996) αποτελεί μία διαφοροποίηση του κλασικού αλγορίθμου μηχανικής μάθησης με βάση τους k -πλησιέστερους γείτονες (Cover & Hart 1967, Dasarathy 1991). Γενικά, οι αλγόριθμοι μάθησης με τη βοήθεια των k -πλησιέστερων γειτόνων αποθηκεύουν όλα τα διαθέσιμα παραδείγματα κατά τη διάρκεια της μάθησης. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας μία συνάρτηση απόστασης υπολογίζεται πόσο «γειτονικό» είναι κάθε ένα από τα αποθηκευμένα παραδείγματα σε ένα νέο παράδειγμα προς κατηγοριοποίηση. Με βάση τα χαρακτηριστικά του πλησιέστερου ή των πλησιέστερων γειτόνων, πραγματοποιείται η κατηγοριοποίηση του νέου παραδείγματος (Wilson & Martinez 1997). Η βασική ιδέα του αλγορίθμου των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k -πλησιέστερων γειτόνων είναι να αποδίδεται διαφορετικό βάρος στη συνεισφορά κάθε γειτονικού μαθητή ανάλογα με την απόσταση που έχει από το νέο μαθητή (Mitchell 1997).

Στην περίπτωση του ISM, ο αλγόριθμος των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k -πλησιέστερων γειτόνων χρησιμοποιείται για να γίνουν αρχικές εκτιμήσεις αναφορικά με κάποια χαρακτηριστικά του μοντέλου ενός νέου μαθητή. Οι αρχικές εκτιμήσεις των τιμών των χαρακτηριστικών ενός νέου μαθητή γίνονται με βάση τις τιμές των χαρακτηριστικών αυτών, όπως προκύπτουν από τα μοντέλα άλλων μαθητών που ανήκουν στο ίδιο στερεότυπο με το νέο μαθητή. Η συνεισφορά του κάθε μαθητή στην αρχικοποίηση του μοντέλου του νέου μαθητή υπολογίζεται με

βάση την απόστασή του από αυτόν. Η απόσταση μεταξύ μαθητών υπολογίζεται λαμβάνοντας υπ' όψη ένα σύνολο χαρακτηριστικών του μαθητή που δεν είναι άμεσα συσχετισμένα με το αντικείμενο που διδάσκεται από το ΔΕΔΣ. Τα χαρακτηριστικά αυτά πρέπει να επιλεγούν με γνώμονα την επίδραση που μπορεί να έχουν στη γνώση ή τον τρόπο μάθησης του μαθητή αναφορικά με το αντικείμενο που διδάσκεται από το ΔΕΔΣ.

1.3 Εφαρμογή του ISM

Προκειμένου να ελεγχθεί η εγκυρότητα, χρησιμότητα και γενικότητα του γενικού πλαισίου ISM, αυτό εφαρμόστηκε σε δύο ΔΕΔΣ για διαφορετικά γνωστικά αντικείμενα. Το πρώτο ΔΕΔΣ που χρησιμοποίησε το γενικό πλαίσιο ISM για την αρχικοποίηση μοντέλων μαθητών είναι το Web-PVT (Tsiriga & Virvou 2002a, 2002b). Το ΔΕΔΣ αυτό αποσκοπεί στη διδασκαλία Αγγλικών σε μαθητές που δεν έχουν τα Αγγλικά ως μητρική γλώσσα. Το δεύτερο ΔΕΔΣ στο οποίο εφαρμόστηκε το ISM είναι το Web-EasyMath (Tsiriga & Virvou 2002c). Το Web-EasyMath είναι ένα ΔΕΔΣ για το γνωστικό αντικείμενο της Άλγεβρας. Τα δύο αυτά γνωστικά αντικείμενα είναι πολύ διαφορετικά μεταξύ τους τόσο αναφορικά με τα χαρακτηριστικά των μαθητών που μπορούν να επηρεάσουν τη μαθησιακή τους δραστηριότητα, όσο και ως προς τη διδακτική προσέγγιση και τη διαδικασία επίλυσης προβλημάτων του πεδίου. Η εφαρμογή του γενικού πλαισίου ISM σε δύο τόσο διαφορετικά γνωστικά αντικείμενα θεωρήθηκε ως ένα καλό μέτρο αξιολόγησης της γενικότητάς του.

Συγκεκριμένα, στην περίπτωση του Web-PVT, το γενικό πλαίσιο ISM αρχικοποιεί τα μοντέλα νέων μαθητών με βάση την υπόθεση ότι μαθητές του ίδιου γνωστικού υποβάθρου στην Αγγλική γλώσσα, οι οποίοι έχουν την ίδια μητρική γλώσσα, γνωρίζουν τις ίδιες ξένες γλώσσες και είναι το ίδιο προσεκτικοί όταν λύνουν ασκήσεις, θα έχουν παρόμοιες επιδόσεις κατά την εκμάθηση Αγγλικών. Στο Web-EasyMath, από την άλλη πλευρά, η αρχικοποίηση των μοντέλων νέων μαθητών βασίζεται στην υπόθεση ότι μαθητές του ίδιου γνωστικού επιπέδου, που έχουν τον ίδιο βαθμό προσοχής όταν λύνουν ασκήσεις, που ανήκουν στην ίδια σχολική τάξη (και έχουν κατά συνέπεια τον ίδιο καθηγητή), και οι οποίοι είναι το ίδιο ικανοί στη χρήση απλών αριθμητικών πράξεων θα έχουν παρόμοια συμπεριφορά κατά την εκμάθηση των αλγεβρικών δυνάμεων.

Τα δύο ΔΕΔΣ που αναπτύχθηκαν βασίστηκαν σε δύο προηγούμενες αυτόνομες εκπαιδευτικές εφαρμογές. Κατά συνέπεια, όμοια με άλλα ΔΕΔΣ (π.χ. Alpert et al.

1999, Mitrovic & Hausler 2000, Ritter 1997), η ανάγκη για επαναχρησιμοποίηση τμημάτων των αυτόνομων εφαρμογών επηρέασε σημαντικά διάφορες σχεδιαστικές αποφάσεις που ελήφθησαν κατά τη μεταφορά τους στο διαδίκτυο. Εκτός από την επαναχρησιμοποίηση τμημάτων των αυτόνομων εφαρμογών, κάποια τμήματα των ΔΕΔΣ σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν εξ αρχής. Τα νέα αυτά τμήματα βασίζονται σε τεχνολογίες που έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα κατάλληλες για τη διδασκαλία μέσω του παγκοσμίου ιστού, όπως η τεχνολογία των ΠΣΥ (π.χ. Boyle & Encarnacion 1994, Murray et al. 2000).

1.4 Web-PVT: ΔΕΔΣ για τη διδασκαλία της Αγγλικής Γλώσσας

Το Web-PVT είναι ένα υπερμεσικό ευφρές σύστημα διδασκαλίας της παθητικής φωνής της Αγγλικής γλώσσας που είναι προσβάσιμο μέσω του παγκοσμίου ιστού. Μέχρι σήμερα, δεν υπάρχουν πολλά ΕΔΣ για τη διδασκαλία κάποιας Γλώσσας (ΕΔΣΓ) που να λειτουργούν μέσω του παγκοσμίου ιστού. Τα περισσότερα Διαδίκτυακά ΕΔΣΓ (ΔΕΔΣΓ) που έχουν αναπτυχθεί χρησιμοποιούν τεχνικές άμεσα υιοθετημένες από τα αυτόνομα ΕΔΣ, ώστε να παρέχουν εξατομικευμένη διδασκαλία. Πολύ λίγα είναι αυτά που κάνουν χρήση τεχνικών των ΠΣΥ ώστε να προσαρμόζουν το περιβάλλον διδασκαλίας στις ανάγκες των μαθητών. Το Web-PVT, όμως έχει σχεδιαστεί ώστε να χρησιμοποιεί τεχνικές τόσο από τον τομέα των ΕΔΣ όσο και των ΠΣΥ για την παροχή εξατομικευμένου περιβάλλοντος εκμάθησης για κάθε μαθητή (Virvou & Tsigira 2001a, 2001b). Η βασική αρχιτεκτονική του Web-PVT αποτελεί μία προσαρμογή της κλασικής αρχιτεκτονικής των ΕΔΣ ώστε να είναι κατάλληλη για τη φύση του διαδικτύου. Κατά συνέπεια, το Web-PVT τμηματοποιείται σε τέσσερα βασικά μέρη: (α) το γνωστικό πεδίο, (β) το υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών, (γ) το υποσύστημα λήψης διδακτικών αποφάσεων, και (δ) το σύστημα διεπαφής. Το Web-PVT ακολουθεί την προσέγγιση της επικεντρωμένης αρχιτεκτονικής των διαδικτυακών συστημάτων. Η επιλογή της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής βασίστηκε σε κάποιο βαθμό στην ανάγκη για επαναχρησιμοποίηση τμημάτων της αυτόνομης εφαρμογής, στην οποία βασίστηκε η ανάπτυξη του διαδικτυακού συστήματος. Το αυτόνομο ΕΔΣ ονομάζεται PVT (Virvou & Maras 1999a, 1999b, Virvou et al. 2000).

1.4.1 Μοντελοποίηση της Εξατομικευμένης Μαθησιακής Διαδικασίας στο Web-PVT

Το Web-PVT κατασκευάζει και διατηρεί ένα μοντέλο για κάθε μαθητή. Η αρχικοποίηση του μοντέλου ενός μαθητή που αλληλεπιδρά για πρώτη φορά με το σύστημα πραγματοποιείται με βάση το γενικό πλαίσιο ISM. Συγκεκριμένα, το σύστημα πραγματοποιεί αρχικές εκτιμήσεις του γνωστικού επιπέδου και της τάσης του νέου μαθητή να κάνει λάθη σε κάθε θεωρητική έννοια του γνωστικού πεδίου, χρησιμοποιώντας τον σταθμισμένο μέσο των γνωστών τιμών του συγκεκριμένου χαρακτηριστικού όπως αυτές προκύπτουν από τα μοντέλα των άλλων μαθητών που ανήκουν στο ίδιο στερεότυπο με το νέο μαθητή.

Το βάρος της συνεισφοράς του κάθε γειτονικού μαθητή υπολογίζεται με βάση την ομοιότητα του με το νέο μαθητή. Στην περίπτωση του Web-PVT το μέτρο ομοιότητας εκτιμάται λαμβάνοντας υπ' όψη τη μητρική γλώσσα του μαθητή, το βαθμό προσοχής του στην επίλυση ασκήσεων, καθώς και τυχόν άλλες γλώσσες που γνωρίζει ήδη ο μαθητής. Η επιλογή των χαρακτηριστικών που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του βαθμού ομοιότητας μαθητών βασίζεται στο γεγονός ότι οι μαθητές συχνά χρησιμοποιούν την εμπειρία που έχουν από τη γνώση της μητρικής τους γλώσσας (ή κάποιας άλλης γλώσσας που έχουν διδαχθεί) για την οργάνωση της γλώσσας που μαθαίνουν από το ΔΕΔΣΓ (Michaud et al. 2001). Επιπρόσθετα, ο βαθμός προσοχής του μαθητή μπορεί να είναι η αιτία που ο μαθητής κάνει κάποια είδη λαθών (π.χ. ορθογραφικά λάθη).

Στη συνέχεια, το Web-PVT ενημερώνει το μοντέλο του εκάστοτε μαθητή με βάση τις ενέργειες που πραγματοποιεί σε κάθε αλληλεπίδραση του με το ΔΕΔΣΓ. Συγκεκριμένα, κάθε φορά που ένας μαθητής επισκέπτεται μία ιστοσελίδα θεωρίας ή λύνει κάποια άσκηση, η οποία σχετίζεται με κάποια θεωρητική έννοια του γνωστικού πεδίου του συστήματος, η πράξη αυτή καταγράφεται στο μοντέλο του συγκεκριμένου μαθητή. Η πληροφορία αυτή χρησιμοποιείται για την εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με το επίπεδο γνώσης του μαθητή στη συγκεκριμένη θεωρητική έννοια. Επιπρόσθετα, το χαρακτηριστικό που σχετίζεται με την τάση του μαθητή να κάνει λάθη στη χρήση κάθε θεωρητικής έννοιας, ενημερώνεται με βάση τα λάθη που κάνει κάποιος μαθητής κατά την επίλυση ασκήσεων.

1.4.2 Εξατομικευμένη Διδασκαλία και Υποστήριξη στο Web-PVT

Με βάση το μοντέλο του κάθε μαθητή, το Web-PVT προσαρμόζει τις διάφορες διδακτικές αποφάσεις που λαμβάνει ώστε να ανταποκρίνονται στις πραγματικές ανάγκες του μαθητή. Το Web-PVT χρησιμοποιεί μεθόδους που προέρχονται από τα ΠΣΥ για την υποστήριξη του μαθητή καθώς μελετά θεωρία. Επιπρόσθετα, το Web-PVT υιοθετεί τεχνικές των ΕΔΣ τόσο για να παρουσιάζει στο μαθητή προτεινόμενες ασκήσεις προς επίλυση, όσο και για να παρέχει εξατομικευμένη ανάδραση σε σφάλματα των μαθητών. Το Web-PVT υποστηρίζει το μαθητή καθώς μελετά θεωρία μέσω ενός προσαρμοστικού ηλεκτρονικού βιβλίου (adaptive electronic textbook).

Συγκεκριμένα, με βάση τις πληροφορίες σχετικά με τη συσχέτιση των θεωρητικών εννοιών όπως αυτές καταγράφονται στο γνωστικό πεδίο και τις πληροφορίες που διατηρούνται στο μοντέλο του εκάστοτε μαθητή, το ΔΕΔΣΓ προσαρμόζει κατάλληλα τον πίνακα περιεχομένων της θεωρίας. Το Web-PVT χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό δύο τεχνικών προσαρμογής συνδέσμων, για την εξατομίκευση του πίνακα περιεχομένων της θεωρίας: α) τη μέθοδο της επισημείωσης συνδέσμων (link annotation), και β) τη μέθοδο της άμεσου καθοδήγησης (direct guidance).

Εκτός από την προσαρμοστική υποστήριξη του μαθητή καθώς αυτός μελετά θεωρία, το Web-PVT χρησιμοποιεί τα στοιχεία που έχουν καταγραφεί για ένα μαθητή στο μοντέλο του για να τον βοηθά όταν λύνει ασκήσεις. Ο μαθητής μπορεί να ζητήσει από το σύστημα να τον βοηθήσει στην επιλογή κάποιας άσκησης προς επίλυση, η οποία να είναι κατάλληλη για το γνωστικό του επίπεδο όπως αυτό αναπαρίσταται στο μοντέλο του. Επιπλέον, όταν ο μαθητής δίνει μία απάντηση σε κάποια άσκηση, το Web-PVT πραγματοποιεί ευφυή ανάλυση της λύσης του μαθητή και προσαρμόζει κατάλληλα το διαγνωστικό μήνυμα που παρουσιάζεται στο μαθητή σε περίπτωση λάθους.

1.4.3 Αξιολόγηση του Web-PVT

Για να μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με το κατά πόσο ένα ΔΕΔΣ είναι επιτυχημένο ή όχι, είναι αναγκαίο να μετρηθεί η αποτελεσματικότητα, η λειτουργικότητα και η χρησιμότητα του με βάση κάποια εμπειρική μελέτη αξιολόγησης στην οποία συμμετέχουν πραγματικοί τελικοί χρήστες (Mitrovic et al. 2002). Για το λόγο αυτό, μετά την ολοκλήρωση του Web-PVT πραγματοποιήθηκαν εμπειρικές μελέτες αξιολόγησης του συστήματος (Tsiriga & Vinvou 2003c). Η

προσέγγιση που ακολουθήθηκε για την αξιολόγηση του Web-PVT κινείται στα ίδια πλαίσια με τις προσεγγίσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση και άλλων ΕΔΣ (π.χ. Shute 1995, Webb & Kuzmycz 1996, Sison et al. 1998). Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν δύο εμπειρικές μελέτες, στις οποίες συμμετείχαν τόσο μαθητές, όσο και καθηγητές Αγγλικών. Η πρώτη μελέτη, αφορούσε στην αξιολόγηση της διαδικασίας αρχικοποίησης μοντέλων μαθητών του Web-PVT. Η συγκεκριμένη αξιολόγηση θεωρήθηκε πολύ σημαντική, αφού αποτελεί και αξιολόγηση του γενικού πλαισίου ISM που είναι το βασικό καινοτομικό στοιχείο του ερευνητικού έργου της παρούσας διατριβής. Όμοια με άλλα ευφυή συστήματα (π.χ. Vίνου & Du Boulay 1999), η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας αρχικοποίησης των μοντέλων νέων μαθητών αξιολογήθηκε με βάση το κατά πόσο συμφωνούσαν οι καθηγητές Αγγλικών με τα μοντέλα των μαθητών τους που κατασκευάστηκαν από το Web-PVT. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής, η ικανότητα του συστήματος να αυτο-βελτιώνεται όσο χρησιμοποιείται από μαθητές οδήγησε στην κατασκευή ακριβέστερων αρχικών μοντέλων για νέους μαθητές.

Η δεύτερη εμπειρική μελέτη αξιολόγησης του Web-PVT στόχευε στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του, ως προς την προαγωγή της γνώσης των μαθητών και την αποδοτική αλληλεπίδρασή τους με το ΔΕΔΣΓ. Επιπλέον, σε αυτή τη φάση αξιολογήθηκε το σύστημα και ως προς την ευχρηστία, τη φιλικότητα και τη χρησιμότητά του. Για το σκοπό της παραπάνω μελέτης, συγκρίθηκαν δύο διαφορετικές εκδόσεις του Web-PVT. Η πρώτη έκδοση είχε τη δυνατότητα να παρέχει εξατομικευμένη υποστήριξη στο μαθητή κατά τη μελέτη θεωρίας και την επίλυση ασκήσεων βάσει του μοντέλου του μαθητή. Η δεύτερη έκδοση του συστήματος δεν μοντελοποιούσε τους μαθητές και κατά συνέπεια δεν μπορούσε να παρέχει προσαρμοστική διδασκαλία.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της αξιολόγησης, οι μαθητές που χρησιμοποίησαν την προσαρμοστική έκδοση του συστήματος είχαν καλύτερο μαθησιακό αποτέλεσμα και μπόρεσαν να επιτύχουν αποδοτικότερη χρήση του συστήματος σε σύγκριση με τους μαθητές που χρησιμοποίησαν την έκδοση που δεν παρείχε εξατομικευμένη διδασκαλία.

Αναφορικά με τη φιλικότητα, την ευχρηστία και τη χρησιμότητα των δύο συστημάτων, το σύστημα που παρείχε εξατομικευμένη διδασκαλία φάνηκε να δυσκολεύει τους μαθητές στη χρήση του και χρειάστηκαν περισσότερο χρόνο για να εξοικειωθούν με αυτό. Το αποτέλεσμα αυτό είναι λογικό αν αναλογιστούμε ότι η

προσαρμοστική υποστήριξη των μαθητών προσθέτει ένα επιπλέον στοιχείο στο σύστημα διεπαφής, το οποίο καλείται να μάθει ο μαθητής (Brusilovsky & Eklund 1998). Παρόλα αυτά, όπως ήταν αναμενόμενο με βάση τα αποτελέσματα από την ανάλυση των αρχείων ενεργειών των μαθητών, οι μαθητές της ομάδας ΕΔΣΓ ήταν σημαντικά πιο ικανοποιημένοι από την υποστήριξη του συστήματος κατά τη μελέτη της θεωρίας και κατά την επίλυση ασκήσεων.

Τέλος, ένα γενικό συμπέρασμα που εξήχθη με βάση της απαντήσεις του συνόλου των μαθητών ήταν ότι δεν θεώρησαν τη διδασκαλία με τη βοήθεια του Web-PVT εξίσου εποικοδομητική με τη συμβατική διδασκαλία σε σχολική τάξη. Το συμπέρασμα αυτό είναι επίσης αναμενόμενο σε κάποιο βαθμό. Ένα σύστημα διδασκαλίας υποβοηθούμενο από υπολογιστή, όσο καλό και αν είναι, δεν είναι δυνατόν να υποσκελίσει τη διδασκαλία από έναν πραγματικό καθηγητή. Παρόλα αυτά, οι μαθητές της ομάδας ΕΔΣΓ απάντησε ότι θα χρησιμοποιούσε το σύστημα για τη μελέτη στο σπίτι.

1.5 Web-EasyMath: ΔΕΔΣ για τη Διδασκαλία των Αλγεβρικών Δυνάμεων

Το δεύτερο ΔΕΔΣ που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της έρευνας που παρουσιάζεται στη συγκεκριμένη διατριβή είναι το Web-EasyMath (Tsiriga & Virvou 2002d, 2002e). Η κατασκευή του Web-EasyMath βασίστηκε σε μία προηγούμενη, αυτόνομη έκδοση του συστήματος, που ονομάζεται EasyMath (Virvou & Tsiriga 1999a, 1999b, 2000a, 2000b, 2001c, Tsiriga & Virvou 2002f). Το EasyMath είναι ένα ΕΔΣ για τη διδασκαλία των αλγεβρικών δυνάμεων. Η ευφυΐα του συστήματος έγκειται στην ικανότητά του να προτείνει στο μαθητή κάποια ενότητα προς μελέτη, να κατασκευάζει δυναμικά ασκήσεις και να παρέχει εξατομικευμένη βοήθεια σε περίπτωση που ο μαθητής απαντήσει λανθασμένα σε κάποια άσκηση. Η ανάπτυξη του συστήματος έγινε ακολουθώντας την διαδικασία Rational Unified (Booch et al. 1997, Quatrani 1998, Kruchten 1999), η οποία είναι μία αντικειμενοστρεφής μεθοδολογία ανάπτυξης λογισμικού, που βασίζεται σε πολλαπλές επαναλήψεις των διαφόρων φάσεων του κύκλου ζωής. Για να διασφαλιστεί η χρησιμότητα του EasyMath σε συνθήκες πραγματικής διδασκαλίας, καθηγητές και μαθητές συμμετείχαν σε διάφορα στάδια της ανάπτυξης του συστήματος. Συγκεκριμένα, ο σχεδιασμός του EasyMath βασίστηκε στα αποτελέσματα μίας εμπειρικής μελέτης που πραγματοποιήθηκε και στην οποία συμμετείχαν καθηγητές μαθηματικών και μαθητές Γυμνασίου. Επιπλέον,

το σύστημα που αναπτύχθηκε αξιολογήθηκε από μαθητές και καθηγητές σε συνθήκες πραγματικής διδασκαλίας.

Κατά τη μεταφορά του EasyMath στο διαδίκτυο, έγινε προσπάθεια να επαναχρησιμοποιηθούν τα τμήματα της αυτόνομης εφαρμογής, τα οποία θεωρήθηκαν αποτελεσματικά σύμφωνα με την αξιολόγησή της. Επιπλέον, έγινε επανασχεδιασμός και αναπροσαρμογή του υποσυστήματος μοντελοποίησης μαθητών ώστε να μπορεί να κατασκευάζει πιο εξατομικευμένα μοντέλα που αντικατοπτρίζουν την τρέχουσα κατάσταση των μαθητών. Το Web-EasyMath κατασκευάζει και διατηρεί ένα μοντέλο για κάθε μαθητή (Tsiriga & Virvou 2003a). Όμοια με το Web-PVT, η αρχικοποίηση του μοντέλου ενός νέου μαθητή στο Web-EasyMath πραγματοποιείται με τη βοήθεια του γενικού πλαισίου ISM (Tsiriga & Virvou 2002c). Η αρχικοποίηση του μοντέλου ενός νέου μαθητή πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπ' όψη την ομοιότητα του νέου μαθητή με άλλους μαθητές που ανήκουν στο ίδιο στερεότυπο όσον αφορά στο γνωστικό τους επίπεδο. Ο βαθμός ομοιότητας των μαθητών καθορίζεται στο Web-EasyMath με βάση το βαθμό προσοχής των μαθητών, τη σχολική τάξη στην οποία ανήκουν, καθώς και την ικανότητά τους να χρησιμοποιούν τις βασικές αριθμητικές πράξεις (πρόσθεση, αφαίρεση, πολλαπλασιασμό και διαίρεση).

Επιπλέον, κάθε φορά που κάποιος μαθητής πραγματοποιεί κάποια ενέργεια κατά την αλληλεπίδρασή του με το Web-EasyMath (π.χ. επισκέπτεται κάποια ιστοσελίδα θεωρίας, λύνει σωστά κάποια άσκηση), το μοντέλο του συγκεκριμένου μαθητή ενημερώνεται με κατάλληλο τρόπο ώστε να αντανakλά την τρέχουσα κατάσταση της γνώσης και των αδυναμιών του. Ένα σημαντικό σημείο στην ενημέρωση του μοντέλου του μαθητή από το Web-EasyMath είναι η αναπαράσταση της χρονικής συνιστώσας (Virvou & Tsiriga 2001d). Συγκεκριμένα, το ΔΕΔΣ χρησιμοποιεί μία τεχνική «γήρανσης» (data ageing mechanism) για να αναπαριστά την τάση του μαθητή να κάνει σφάλματα στη χρήση κάποιας θεωρητικής έννοιας σε ασκήσεις. Η τεχνική «γήρανσης» είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για την αναπαράσταση της τρέχουσας κατάστασης του μαθητή, εξαιτίας της ιδιότητάς της να αυξάνει το βάρος της πληροφορίας που σχετίζεται με την τρέχουσα συμπεριφορά του μαθητή, περιορίζοντας τα συμπεράσματα που έχει εξαγει το σύστημα βάσει της παλαιότερης συμπεριφοράς του μαθητή (Webb & Kuzmycz 1998).

Το Web-EasyMath χρησιμοποιεί τα στοιχεία που καταγράφονται στο μοντέλο του μαθητή για να προσαρμόζει τις διδακτικές αποφάσεις στις ανάγκες του μαθητή.

Όμοια με το Web-PVT, το Web-EasyMath συμβουλευεται το μοντέλο του κάθε μαθητή ώστε να τον υποστηρίζει τόσο κατά τη μελέτη της θεωρίας όσο και κατά την επίλυση ασκήσεων. Οι τρόποι με τους οποίους χρησιμοποιείται το μοντέλο του μαθητή για την παροχή εξατομικευμένης διδασκαλίας και υποστήριξης είναι όμοιοι με το Web-PVT. Κατά συνέπεια, οι διάφορες αποφάσεις που λαμβάνουν τα δύο συστήματα για την παροχή εξατομικευμένου περιβάλλοντος διδασκαλίας είναι γενικές και ανεξάρτητες του αντικειμένου που διδάσκεται από το ΔΕΔΣ.

1.6 Δομή της Διατριβής

Στα κεφάλαια που ακολουθούν γίνεται εκτενής ανάλυση τόσο των δύο συστημάτων που αναπτύχθηκαν για τις ανάγκες της έρευνας που παρουσιάζεται στην παρούσα διατριβή, όσο και για τα γενικά πλαίσια που διαμορφώθηκαν.

Στο **κεφάλαιο 2** γίνεται μία ανασκόπηση της περιοχής των διαδικτυακών ευφών διδακτικών συστημάτων. Γίνεται μία ιστορική αναδρομή των δύο βασικών περιοχών που αποτελούν τη βάση για την ανάπτυξη των Διαδικτυακών Ευφών Διδακτικών Συστημάτων: τα Ευφύη Διδακτικά Συστήματα και τα Προσαρμοστικά Συστήματα Υπερμέσων. Επίσης παρουσιάζονται και κάποιες νέες τεχνικές που χρησιμοποιούνται από τα ΔΕΔΣ και οι οποίες προέκυψαν από τις δυνατότητες που προσφέρονται από τη διαδικτυακή φύση των συστημάτων αυτών. Στη συνέχεια, γίνεται μία συνοπτική αναφορά σε μία ειδική κατηγορία συστημάτων που είναι τα Διαδικτυακά ΕΔΣ για τη Διδασκαλία Γλωσσών.

Το **κεφάλαιο 3** ασχολείται με το ζήτημα της μοντελοποίησης της εξατομικευμένης μαθησιακής διαδικασίας. Συγκεκριμένα, αρχικά γίνεται μία ανασκόπηση των μεθόδων και των τεχνικών μοντελοποίησης μαθητών λαμβάνοντας υπ' όψη τρεις βασικές παραμέτρους: α) τα χαρακτηριστικά της μαθησιακής διαδικασίας που μοντελοποιούνται, β) τον τρόπο αναπαράστασης των μοντέλων και γ) το μηχανισμό που χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση. Στη συνέχεια, γίνεται μία αναφορά στη χρήση μεθόδων μηχανικής μάθησης για τη μοντελοποίηση της εξατομικευμένης μαθησιακής διαδικασίας. Τέλος παρατίθενται κάποια ανοικτά ερευνητικά θέματα.

Στο **κεφάλαιο 4** γίνεται μία εκτενής παρουσίαση του τρόπου με τον οποίο έγινε η μεταφορά του PVT στο διαδίκτυο. Συγκεκριμένα, αρχικά περιγράφεται το αυτόνομο σύστημα διδασκαλίας γλώσσας (PVT) καθώς και η αξιολόγηση αυτού. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική που ακολουθήθηκε και οι διάφορες σχεδιαστικές αποφάσεις που ελήφθησαν για την κατασκευή της διαδικτυακής έκδοσης της

εφαρμογής (Web-PVT). Επιπρόσθετα, περιγράφεται η λειτουργικότητα του διαδικτυακού συστήματος, καθώς και οι τεχνικές που υιοθετούνται για τη λήψη των διαφόρων προσαρμοστικών αποφάσεων του Web-PVT.

Το **κεφάλαιο 5** περιγράφει τη μεθοδολογία που ακολουθεί το Web-PVT για την κατασκευή και την ενημέρωση του μοντέλου της μαθησιακής διαδικασίας του κάθε μαθητή. Ένα σημείο στο οποίο έχει δοθεί μεγάλη έμφαση και αποτελεί ένα από τα πρωτότυπα σημεία τόσο του Web-PVT όσο και του συνόλου της διατριβής, είναι η αρχικοποίηση των παραμέτρων της μαθησιακής διαδικασίας. Στο κεφάλαιο αυτό επίσης παρουσιάζεται και η προσέγγιση που ακολουθεί το Web-PVT για να ενημερώσει το μοντέλο της μαθησιακής διαδικασίας του εκάστοτε μαθητή με βάση τις ενέργειες που αυτός πραγματοποιεί κατά την αλληλεπίδρασή του με το ΔΕΣΔΓ.

Στο **κεφάλαιο 6** περιγράφεται η μελέτη αξιολόγησης του Web-PVT και παρατίθενται τα συμπεράσματα της μελέτης αυτής. Η μελέτη αξιολόγησης του συστήματος είχε ως σκοπό να αξιολογήσει τόσο την προσέγγιση αρχικοποίησης του μοντέλου του μαθητή όσο και τη συνολική λειτουργικότητα του συστήματος. Η αξιολόγηση της προσέγγισης που χρησιμοποιεί το Web-PVT για την αρχικοποίηση των μοντέλων μαθητών θεωρείται πολύ σημαντική, αφού το τμήμα αυτό του ΔΕΣΔΓ είναι το βασικό καινοτομικό του στοιχείο. Επιπλέον, στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται και μία δεύτερη εμπειρική μελέτη αξιολόγησης του Web-PVT. Η συγκεκριμένη μελέτη στόχευε στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του Web-PVT να προάγει τη γνώση του μαθητή, και να τον βοηθά ώστε να επιτύχει πιο αποδοτική αλληλεπίδραση με το ΔΕΣΔΓ. Επιπλέον, σε αυτή τη φάση αξιολογήθηκε το σύστημα και ως προς την ευχρηστία, τη φιλικότητα και τη χρησιμότητά του.

Στο **κεφάλαιο 7** παρουσιάζεται το αυτόνομο ΕΔΣ για το αντικείμενο των αλγεβρικών δυνάμεων (EasyMath). Αρχικά περιγράφεται η μεθοδολογία του κύκλου ζωής του ΕΔΣ, και στη συνέχεια αναλύονται οι ενέργειες που πραγματοποιήθηκαν σε κάθε μία από τις φάσεις του κύκλου ζωής. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται μία εμπειρική μελέτη που έγινε και στην οποία συμμετείχαν εκπαιδευτικοί και μαθητές, η αρχιτεκτονική και η λειτουργικότητα του EasyMath, καθώς και η αξιολόγηση του ΕΔΣ από τους τελικούς χρήστες.

Το **κεφάλαιο 8** ασχολείται με την περιγραφή της ανάπτυξης της διαδικτυακής έκδοσης του EasyMath. Συγκεκριμένα, περιγράφεται η αρχιτεκτονική προσέγγιση που ακολουθήθηκε με σκοπό την επαναχρησιμοποίηση τμημάτων της αυτόνομης εφαρμογής για την κατασκευή του Web-EasyMath. Επιπλέον, αναλύεται ο

επανασχεδιασμός και αναπροσαρμογή του υποσυστήματος μοντελοποίησης μαθητών που πραγματοποιήθηκε, ώστε να μπορεί το Web-EasyMath να κατασκευάζει πιο εξατομικευμένα μοντέλα που αντικατοπτρίζουν την τρέχουσα κατάσταση των μαθητών. Όμοια με την περίπτωση του Web-PVT ένα πρωτότυπο σημείο της μοντελοποίησης μαθητών είναι η αρχικοποίηση του μοντέλου ενός νέου μαθητή. Επιπλέον, το υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών του Web-EasyMath σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να λαμβάνεται υπ' όψη η εξέλιξη της γνώσης του μαθητή καθώς αλληλεπιδρά με το σύστημα. Τέλος, στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται και οι αποφάσεις εξατομίκευσης που λαμβάνει το σύστημα με βάση το μοντέλο του κάθε μαθητή.

Στο **κεφάλαιο 9** περιγράφεται το γενικό πλαίσιο αρχικοποίησης των μοντέλων της μαθησιακής διαδικασίας νέων μαθητών ISM. Συγκεκριμένα, αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο κατασκευάζονται τα μοντέλα νέων μαθητών καθώς και το πως το ISM χρησιμοποιεί τα στερεότυπα και τον αλγόριθμο των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k -πλησιέστερων γειτόνων για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με κάποιο νέο μαθητή. Επιπλέον, στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται και κάποιοι ενδεικτικοί τρόποι χρησιμοποίησης του μοντέλου μαθητή για την παροχή εξατομικευμένου περιβάλλοντος διδασκαλίας. Οι τρόποι αυτοί είναι γενικοί και ανεξάρτητοι του διδασκόμενου αντικειμένου, αφού έχουν χρησιμοποιηθεί και στα δύο ΔΕΔΣ που αναπτύχθηκαν.

Τέλος, στο **κεφάλαιο 10** παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την έρευνα που παρουσιάζεται σε αυτή τη διατριβή. Συγκεκριμένα, γίνεται μία σύνοψη του ερευνητικού έργου, αναφέρονται τα κύρια σημεία συνεισφοράς στην ερευνητική περιοχή καθώς και κάποια ανοικτά ζητήματα που μπορούν να αποτελέσουν μελλοντικές επεκτάσεις του ερευνητικού έργου.

2 Ευφυή Διδακτικά Συστήματα στο Διαδίκτυο

2.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια μεγάλη ερευνητική προσπάθεια έχει καταβληθεί στην ανάπτυξη εκπαιδευτικού λογισμικού που διατίθεται μέσω του παγκοσμίου ιστού (World Wide Web). Τα πλεονεκτήματα των διαδικτυακών εκπαιδευτικών εφαρμογών είναι η ανεξαρτησία της διδασκαλίας και της μάθησης όσον αφορά στο χρόνο και τον τόπο που διεξάγεται. Ένα άλλο πλεονέκτημα των εκπαιδευτικών συστημάτων που είναι διαθέσιμα μέσω του διαδικτύου είναι η εύκολη πρόσβαση των μαθητών σε αυτά. Τα παραπάνω πλεονεκτήματα διασφαλίζουν την ευρεία χρήση των εκπαιδευτικών εφαρμογών που διατίθενται μέσω του διαδικτύου. Κατά συνέπεια, τα περισσότερα Πανεπιστημιακά ιδρύματα και ολοένα αυξανόμενος αριθμός μεγάλων εταιρειών σε όλο τον κόσμο παρέχουν εικονικά, διαδικτυακά μαθήματα για την εκπαίδευση των φοιτητών ή των εργαζομένων τους (π.χ. De Bra 1996, Ebner et al. 1999, Bennett & Pilkington 2001, Garofalakis et al. 2002).

Παρόλα τα πλεονεκτήματά τους, οι περισσότερες εκπαιδευτικές εφαρμογές που διατίθενται μέσω του διαδικτύου στερούνται της αλληλεπιδραστικότητας και της προσαρμοστικότητας στις ανάγκες του μαθητή. Η προσαρμοστικότητα στις ανάγκες και το γνωστικό επίπεδο του εκάστοτε μαθητή είναι ένα πολύ σημαντικό ζήτημα, ιδιαίτερα στις διαδικτυακές εκπαιδευτικές εφαρμογές, αφού τα συστήματα διδασκαλίας από απόσταση χρησιμοποιούνται από ετερογενείς ομάδες μαθητών και σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει διαθέσιμος ο διδάσκων για να τους βοηθήσει στην μαθησιακή τους δραστηριότητα. Μία λύση σε αυτό το πρόβλημα μπορεί να δοθεί με την ενσωμάτωση και την προσαρμογή τεχνικών που προέρχονται τόσο από τον τομέα των *Ευφρών Διδακτικών Συστημάτων-ΕΔΣ* (Intelligent Tutoring Systems-ITS) όσο και από την ερευνητική περιοχή των *Προσαρμοστικών Συστημάτων Υπερμέσων-ΠΣΥ* (Adaptive Hypermedia Systems-AHS), κατά την κατασκευή των διαδικτυακών

εκπαιδευτικών εφαρμογών. Επιπλέον, εξαιτίας της φύσης του παγκοσμίου ιστού, μπορούν να χρησιμοποιηθούν νέες τεχνολογίες που βασίζονται στη δυνατότητα ενός διαδικτυακού εκπαιδευτικού συστήματος να αποθηκεύει πληροφορίες για το σύνολο των μαθητών που το χρησιμοποιούν. Για παράδειγμα, σε αντίθεση με μία αυτόνομη εφαρμογή, ένα διαδικτυακό ΕΔΣ δύναται να εξάγει συμπεράσματα σχετικά με το σύνολο των μαθητών που το χρησιμοποιούν και να ενημερώνει τον διδάσκοντα για τυχόν μαθητές που αντιμετωπίζουν κάποιο ειδικό πρόβλημα στη μαθησιακή διαδικασία.

Στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου αρχικά θα γίνει μία ανασκόπηση των δύο βασικών ερευνητικών περιοχών από τις οποίες προέκυψαν τα διαδικτυακά ευφυή διδακτικά συστήματα. Συγκεκριμένα στην ενότητα 2.2 θα γίνει μία ανασκόπηση των ΕΔΣ και η ενότητα 2.3 θα ασχοληθεί με την περιοχή των ΠΣΥ. Επιπλέον, στην ενότητα 2.4 θα παρουσιαστούν παραδείγματα νέων τεχνολογιών των διαδικτυακών ΕΔΣ, που είναι επικεντρωμένες στον παγκόσμιο ιστό. Η ενότητα 2.5 αναφέρεται στις διάφορες προσεγγίσεις της αρχιτεκτονικής των διαδικτυακών ΕΔΣ. Στην ενότητα 2.6, θα παρουσιαστεί μία ειδική κατηγορία συστημάτων που είναι τα Διαδικτυακά ΕΔΣ για τη Διδασκαλία Γλωσσών. Στο τέλος του κεφαλαίου (ενότητα 2.7) παρέχονται κάποια συμπεράσματα.

2.2 Ευφυή Διδακτικά Συστήματα

Ένας μεγάλος αριθμός συστημάτων βασισμένων στην τεχνολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών έχει χρησιμοποιηθεί για τις ανάγκες της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Τα πρώτα τέτοια συστήματα, τα οποία άρχισαν να αναπτύσσονται από τη δεκαετία του 1950, είναι τα Συστήματα Διδασκαλίας Βοηθούμενα από Υπολογιστή-ΣΔΒΥ (Computer Assisted Instruction-CAI). Συνήθως, τα ΣΔΒΥ έχουν μία στατική δομή τέτοια ώστε να ενσωματώνουν τη γνώση γύρω από κάποιο συγκεκριμένο πεδίο και να την παρουσιάζουν στο μαθητή με κάποιο δομημένο τρόπο, ο οποίος αναπαριστά την παιδαγωγική στρατηγική κάποιου δασκάλου. Παρόλα αυτά τα ΣΔΒΥ δεν πραγματοποιούσαν κάποια πιο περίπλοκη εργασία από την απλή προβολή προκαθορισμένου κειμένου και την παροχή απλουστευμένων ασκήσεων. Στις ασκήσεις αυτές, το σύστημα μπορεί να ελέγξει την ορθότητα ή όχι μιας απάντησης και να ενημερώσει σχετικά το μαθητή. Σε γενικές γραμμές όμως, τα ΣΔΒΥ δεν μπορούν να ερμηνεύσουν την αιτία της λανθασμένης απάντησης και να μοντελοποιήσουν τη διαδικασία της μάθησης από την πλευρά του μαθητή. Κατά

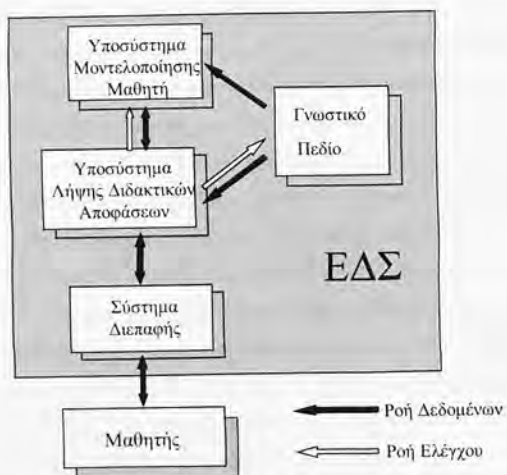
συνέπεια, ακόμη και τα πιο εξελιγμένα ΣΔΒΥ αδυνατούν να παρέχουν εξατομικευμένη διδασκαλία.

Για να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα των ΣΔΒΥ, οι ερευνητές στον τομέα του εκπαιδευτικού λογισμικού στράφηκαν προς τον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης. Ως συνέπεια της προσπάθειας αυτής, δημιουργήθηκαν τα Ευφυή Διδακτικά Συστήματα (ΕΔΣ). Τα συστήματα αυτά διαθέτουν μία πλούσια αναπαράσταση του πεδίου που καλούνται να διδάξουν, η οποία τους επιτρέπει να χρησιμοποιούν τη γνώση που κατέχουν με μη προκαθορισμένους τρόπους (Rickel 1989). Επιπρόσθετα, με την ικανότητά τους να διατηρούν στοιχεία σχετικά με κάθε μαθητή, τα ΕΔΣ μπορούν να εξατομικεύουν τη διδασκαλία στο επίπεδο γνώσης και στις αδυναμίες του μαθητή. Οι ρίζες της ανάπτυξης των ΕΔΣ μπορούν να εντοπισθούν στην αρχή της δεκαετίας του 1970, όταν ο Carbonell (1970) έκανε μία από τις πρώτες απόπειρες ενσωμάτωσης μεθόδων από την ερευνητική περιοχή της τεχνητής νοημοσύνης σε ΣΔΒΥ. Έκτοτε, ένα πλήθος ΕΔΣ έχουν αναπτυχθεί που κάνουν χρήση μιας πληθώρας μεθόδων και τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης, για την επίτευξη διάφορων σκοπών, όπως για την αναπαράσταση της γνώσης, τη σχεδίαση του μαθήματος, τη μοντελοποίηση των μαθητών, κ.λπ.

Έχει επικρατήσει να τμηματοποιούμε τα έξυπνα διδακτικά συστήματα σε τέσσερα συστατικά μέρη (Hartley & Sleeman 1973, Wenger 1987, Self 1999, Prentzas & Hatzilygeroudis 2002):

- ✧ το Γνωστικό Πεδίο (Domain Knowledge),
- ✧ το Υποσύστημα Μοντελοποίησης του Μαθητή (Student Modeling Module),
- ✧ το Υποσύστημα Λήψης Διδακτικών Αποφάσεων (Tutoring Module) και
- ✧ το Σύστημα Διεπαφής (User Interface).

Παρόλο που δεν υπάρχει ένας μοναδικός τρόπος διασύνδεσης των τμημάτων ενός ΕΔΣ, μία συνήθης αρχιτεκτονική που χρησιμοποιείται από πολλά ΕΔΣ (π.χ. Burton & Brown 1976, Burns & Capps 1988, Nwana 1991) παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.1.



Εικόνα 2.1: Συνήθης Αρχιτεκτονική ΕΔΣ.

2.2.1 Γνωστικό Πεδίο

Για να είναι δυνατή η επικοινωνία του συστήματος με το μαθητή σε επίπεδο περιεχομένου, το μοντέλο του γνωστικού πεδίου του συστήματος θα πρέπει να είναι όμοιο όσον αφορά στη συμπερασματολογία και στους συσχετισμούς μεταξύ των οντοτήτων του πεδίου με το μοντέλο που έχει κάποιος ειδικός στον τομέα (Peylo et al. 2000a). Κατά συνέπεια, όπως ένας εμπειρογνώμονας, έτσι και το Γνωστικό Πεδίο σε ένα ΕΔΣ εμπερικλείει όλη τη γνώση σχετικά με κάποιο συγκεκριμένο αντικείμενο. Χαρακτηριστικά, η γνώση που ανακτάται από το Γνωστικό Πεδίο είναι τόσο βασισμένη σε γεγονότα (factual) όσο και διαδικαστική (procedural), και διατηρείται σε κάποια βάση γνώσης του συστήματος (Orey & Nelson 1993). Η γνώση η βασισμένη σε γεγονότα αποτελείται από τμήματα πληροφοριών σχετικά με το πεδίο που διδάσκεται. Αντίθετα, η διαδικαστική γνώση αποτελείται από το σύνολο των διαδικασιών που πρέπει να εφαρμοστούν για την επίλυση των προβλημάτων που υπόκεινται στο διδασκόμενο αντικείμενο. Έτσι, το Γνωστικό Πεδίο θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μια δυναμική έκδοση των γνώσεων, στατικών και διαδικαστικών, που καλείται να διδάξει το ΕΔΣ.

Ανάλογα με τον τρόπο αναπαράστασης της διαδικαστικής γνώσης και του τρόπου χρησιμοποίησής της κατά την αλληλεπίδραση του ΕΔΣ με το μαθητή, μπορούμε να διαχωρίσουμε δύο είδη γνωστικών πεδίων:

- ✧ Τα αδιαφανή ή μαύρου-κουτιού (black-box): τα οποία επιλύουν τα προβλήματα που υποκείνται στο γνωστικό αντικείμενο, χωρίς όμως να έχουν τη δυνατότητα επεξήγησης του τρόπου με τον οποίο κατέληξαν στο τελικό αποτέλεσμα. Ένα σύστημα που ακολουθεί την προσέγγιση του μαύρου-κουτιού είναι το SOPHIE II (Burton & Brown 1982).
- ✧ Τα διαφανή ή γυάλινου-κουτιού (glass-box): όπου το σύστημα έχει τη δυνατότητα, εκτός από το να επιλύει ασκήσεις που σχετίζονται με το διδασκόμενο αντικείμενο, να επεξηγεί τον τρόπο συμπερασματολογίας που χρησιμοποιεί (Goldstein & Papert 1977). Ένα σύστημα που ακολουθεί την προσέγγιση αυτή είναι ο διάδοχος του SOPHIE II, που ονομάστηκε SOPHIE III (Brown et al. 1982).

Ο τρόπος που επιλέγεται για την αναπαράσταση της γνώσης του πεδίου σε ένα ΕΔΣ, εξαρτάται τόσο από τον τύπο της γνώσης που πρόκειται να αποθηκευτεί όσο και από τον τρόπο που αυτή η γνώση πρόκειται να χρησιμοποιηθεί από το ΕΔΣ (Rickel 1989). Κατά συνέπεια, ένας μεγάλος αριθμός μεθόδων αναπαράστασης γνώσης από τον τομέα της ΤΝ έχει χρησιμοποιηθεί από διάφορα ΕΔΣ. Κάποιες από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι τα σημασιολογικά δίκτυα (semantic nets), τα πλαίσια (frames), τα σενάρια (scripts) και οι κανόνες παραγωγής (production rules).

Σύμφωνα με την τεχνική των σημασιολογικών δικτύων (Ginsberg 1993), η γνώση αναπαρίσταται ως ένα δίκτυο αλληλοσυνδεδεμένων κόμβων. Κάθε κόμβος του συγκεκριμένου δικτύου αναπαριστά μια θεματική ενότητα, η οποία μπορεί να συνίσταται σε μία ή περισσότερες θεματικές υπο-ενότητες ή έννοιες. Οι κόμβοι του δικτύου μπορεί να συνδέονται μεταξύ τους με συνδέσμους. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι συνδέσμων που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση της γνώσης σε ένα ΕΔΣ είναι οι σύνδεσμοι «τμήμα-του» (part-of), «είναι» (is-a) και «προαπαιτούμενο» (prerequisite). Παραδείγματα συστημάτων που έχουν χρησιμοποιήσει σημασιολογικά δίκτυα για την αναπαράσταση του γνωστικού πεδίου είναι το SCHOLAR (Carbonell 1970) και το QUANTI (Aïmeur et al. 2001).

Στην αναπαράσταση της γνώσης με τη βοήθεια πλαισίων, κάθε οντότητα του γνωστικού πεδίου αναπαρίσταται ως ένα πλαίσιο. Τα πλαίσια αποτελούνται από σχισμές (slots), κάθε μία από τις οποίες μπορεί να αποκτήσει κάποια τιμή ή κάποιο δείκτη σε κάποιο άλλο πλαίσιο (Minsky 1975). Ένα σύστημα που χρησιμοποιεί πλαίσια για την αναπαράσταση του γνωστικού του πεδίου είναι το STEAMER (Hollan et al. 1984).

Ένα σενάριο είναι μία δομή που περιγράφει μία συνήθη ακολουθία γεγονότων που πραγματοποιείται σε συγκεκριμένες συνθήκες (Rich 1983). Ένα σύστημα που χρησιμοποιεί σενάρια για την αναπαράσταση του γνωστικού του πεδίου είναι το WHY (Stevens et al. 1982).

Οι κανόνες παραγωγής είναι μία μέθοδος αναπαράστασης της γνώσης που είναι ιδιαίτερος διαδομένη στα έμπειρα συστήματα (expert systems). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η γνώση αναπαρίσταται ως ένας κανόνας, ο οποίος όταν επιβεβαιώνεται ενεργοποιεί κάποια δραστηριότητα. Παραδείγματα συστημάτων που χρησιμοποιούν κανόνες παραγωγής για την αναπαράσταση του γνωστικού τους πεδίου είναι το WUMPUS (Goldstein 1978) και το GUIDON (Clansey 1987).

2.2.2 Υποσύστημα Μοντελοποίησης του Μαθητή

Ενώ το γνωστικό πεδίο αναπαριστά όλη την αναγκαία γνώση που χρησιμοποιεί κάποιος εμπειρογνώμονας κατά την επίλυση των προβλημάτων ενός συγκεκριμένου τομέα, το μοντέλο του μαθητή συμπεριλαμβάνει πληροφορίες σχετικές με την ικανότητα του μαθητή να κατανοεί τις έννοιες και τις διαδικασίες που του διδάσκονται. Συνεπώς, το υποσύστημα μοντελοποίησης του μαθητή είναι υπεύθυνο για τη δυναμική αναπαράσταση της εξελισσόμενης γνώσης του μαθητή (Nwana 1991) καθώς και για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη γνώση και τις παρανοήσεις του μαθητή με βάση τη συμπεριφορά του ως προς το ΕΔΣ (Dillenbourg & Self 1992). Η διαδικασία αυτή συμπεριλαμβάνει την αποθήκευση, ενημέρωση και διαγραφή στοιχείων από το μοντέλο του χρήστη, καθώς και τη διατήρηση συνέπειας στο μοντέλο. Επιπλέον, το υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών είναι υπεύθυνο και για την παροχή των πληροφοριών που υπάρχουν στο μοντέλο κάποιου μαθητή στα διάφορα άλλα υποσυστήματα του ΕΔΣ, τα οποία με τη σειρά τους θα τη χρησιμοποιήσουν για την εξατομίκευση της αλληλεπίδρασής τους με το χρήστη.

Εξαιτίας της σημαντικότητας του υποσυστήματος αυτού, τόσο γενικά για τα ΕΔΣ, όσο και ειδικότερα για την έρευνα που παρουσιάζεται στην παρούσα διατριβή, το

θέμα της μοντελοποίησης μαθητών αναλύεται λεπτομερώς στο επόμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 3).

2.2.3 Υποσύστημα Λήψης Διδακτικών Αποφάσεων

Όπως έχει αναγνωρισθεί από τα πρώτα χρόνια της έρευνας στον τομέα των ΕΔΣ, ένα σύστημα που εμπεριέχει γνώση σχετικά με ένα γνωστικό αντικείμενο δεν αποτελεί επιτυχημένο διδακτικό εργαλείο στην περίπτωση που δεν ενσωματώνει και γνώση σχετικά με κάποια στρατηγική διδασκαλίας (Clansey 1987, Grandbastien 1999). Το υποσύστημα ενός ΕΔΣ που είναι υπεύθυνο για το σχεδιασμό και τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις διδακτικές τακτικές που θα ακολουθηθούν είναι το υποσύστημα λήψης διδακτικών αποφάσεων (*tutoring module*), ή αλλιώς παιδαγωγικό υποσύστημα (*pedagogical module*). Το υποσύστημα λήψης διδακτικών αποφάσεων είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με το υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας τα στοιχεία που έχουν συγκεντρωθεί για κάποιο μαθητή, το υποσύστημα λήψης διδακτικών αποφάσεων λαμβάνει αποφάσεις σχετικά με το είδος της πληροφορίας που θα παρουσιαστεί στο μαθητή, τη χρονική στιγμή, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο θα παρουσιαστεί η πληροφορία αυτή.

Από το σύνολο των αποφάσεων που λαμβάνει το υποσύστημα λήψης διδακτικών αποφάσεων, η πιο σημαντική απόφαση είναι η στρατηγική που χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση των λαθών ενός μαθητή. Εξαιτίας του γεγονότος ότι οι μαθητές δεν είναι πάντοτε συνεπείς στα λάθη που κάνουν, και με βάση το συμπέρασμα ότι η διάγνωση των παρανοήσεων του μαθητή είναι στις περισσότερες των περιπτώσεων προτιμότερη από την πλήρη καθοδήγηση, ένα ΕΔΣ θα πρέπει να κάνει κάτι περισσότερο από το να διορθώνει απλά τα λάθη των μαθητών. Συγκεκριμένα, μπορούμε να διαχωρίσουμε τις εξής εναλλακτικές επιλογές για την αντιμετώπιση ενός λάθους του μαθητή (Rickel 1989): α) το ΕΔΣ μπορεί να αγνοήσει το λάθος και να αφήσει το μαθητή να συνεχίσει, β) το ΕΔΣ μπορεί να υποδείξει το λάθος στο μαθητή, γ) το ΕΔΣ μπορεί να διορθώσει το λάθος, και δ) το ΕΔΣ μπορεί να καθοδηγήσει το μαθητή ώστε να εντοπίσει και να διορθώσει μόνος του το λάθος.

Τα περισσότερα ΕΔΣ χρησιμοποιούν κανόνες παραγωγής για να αναπαραστήσουν την παιδαγωγική γνώση (π.χ. Burton & Brown 1982, Collins & Stevens 1982). Οι κανόνες αυτοί ενεργοποιούνται από διάφορες αιτίες, όπως για παράδειγμα κάποιο λάθος του μαθητή, η αίτηση του μαθητή να επιλύσει κάποια άσκηση, κ.λπ. Ανάλογα με το είδος της ενεργοποιούσας αιτίας, το υποσύστημα λήψης

διδασκικών αποφάσεων πραγματοποιεί κάποια ενέργεια. Ένα πλεονέκτημα της χρήσης κανόνων παραγωγής για την αναπαράσταση της παιδαγωγικής γνώσης είναι ότι μπορεί κάποιος να προσθέσει νέους κανόνες, να αφαιρέσει ή να τροποποιήσει ήδη υπάρχοντες σχετικά εύκολα και χωρίς να επηρεαστεί το σύνολο των κανόνων.

Ανάλογα με τον έλεγχο που δίδεται στο μαθητή κατά τη διαδικασία λήψης διδασκικών αποφάσεων, μπορούμε να διαχωρίσουμε τρία είδη ΕΔΣ (Kay 2001):

- ❖ *Συστήματα παρακολούθησης (monitoring)*: τα οποία παρακολουθούν κάθε ενέργεια του μαθητή πολύ στενά και προσαρμόζουν ανάλογα τις αποφάσεις τους. Τα συστήματα παρακολούθησης δεν δίνουν καμία εναλλακτική επιλογή στο μαθητή. Παραδείγματα συστημάτων που ακολουθούν αυτή την προσέγγιση είναι το STEAMER (Hollan et al. 1984), το QUEST (White & Frederiksen 1985) και το LISP Tutor (Reiser et al. 1985).
- ❖ *Συστήματα μικτής πρωτοβουλίας (mixed-initiative)*: όπου ο έλεγχος διαμοιράζεται μεταξύ του μαθητή και του ΕΔΣ, συνήθως υπό τη μορφή διαλόγου. Ο διάλογος, ο οποίος συνίσταται σε ερωτήσεις και απαντήσεις, μπορεί να αρχικοποιηθεί είτε από το μαθητή, είτε από το ΕΔΣ, ενώ οι ρόλοι (ερωτούμενος-ερωτών) μπορούν να αλλάξουν. Κάποια από τα ΕΔΣ μικτής πρωτοβουλίας είναι το SCHOLAR (Carbonell 1970) και το WHY (Stevens et al. 1982) και το INTERNET ADVISOR (Lester et al. 1999).
- ❖ *Συστήματα καθοδηγούμενης ανακάλυψης (guided-discovery)*: όπου ο μαθητής έχει τον πλήρη έλεγχο των ενεργειών που πραγματοποιούνται και το ΕΔΣ μπορεί να αποκτήσει έλεγχο μόνο μετά από τροποποίηση του περιβάλλοντος χρήσης. Αυτή η προσέγγιση έχει χρησιμοποιηθεί πολύ συχνά σε ΕΔΣ που βασίζονται στην προσομοίωση, στα οποία ο μαθητής μπορεί να δει άμεσα τα αποτελέσματα των ενεργειών του (π.χ. Hollan et al. 1984). Άλλα παραδείγματα ΕΔΣ καθοδηγούμενης ανακάλυψης είναι το WEST (Brown et al. 1982), το PROUST (Johnson & Soloway 1984) και το IMPART (Elsom-Cook 1988).

2.2.4 Σύστημα Διεπαφής

Το τμήμα του Συστήματος Διεπαφής ενός ΕΔΣ είναι αυτό που χειρίζεται την τελική μορφή των διδασκικών ενεργειών, παρουσιάζοντας στο μαθητή κάποιο ομοιόμορφο περιβάλλον εντός του οποίου πραγματοποιούνται η εκπαίδευση, η

διάγνωση και η διόρθωση. Πρακτικά, το Σύστημα Διεπαφής διαδραματίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στο διδακτικό σύστημα αφού αυτό καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την τελική αποδοχή ή μη του διδακτικού συστήματος από το μαθητή (Granić et al. 2000). Τα ΕΔΣ χρησιμοποιούν διάφορα στυλ αλληλεπίδρασης με τους μαθητές, που κυμαίνονται από διαλογικά συστήματα φυσικής γλώσσας μέχρι συστήματα εικονικής πραγματικότητας (virtual reality).

Τα πρώτα ΕΔΣ, έκαναν χρήση τεχνικών επεξεργασίας φυσικής γλώσσας (natural language processing) ώστε να εξασφαλίσουν ένα φιλικό προς το χρήστη σύστημα διεπαφής. Στα συστήματα διεπαφής με φυσική γλώσσα, η επικοινωνία του μαθητή με το ΕΔΣ και αντίστροφα, πραγματοποιείται με κάποιο υποσύνολο φυσικής γλώσσας (π.χ. Αγγλικά). Παρόλο που η φυσική γλώσσα είναι ίσως ο ιδανικός τρόπος επικοινωνίας ανθρώπου-υπολογιστή, οι τεχνικές δυσκολίες στην ανάπτυξη συστημάτων αναγνώρισης και σύνθεσης φυσικής γλώσσας κάνουν αδύνατη μέχρι σήμερα τη δημιουργία συστημάτων διεπαφής φυσικής γλώσσας. Παραδείγματα συστημάτων που χρησιμοποιούσαν κάποιο υποσύνολο φυσικής γλώσσας για την επικοινωνία με τους μαθητές είναι το SCHOLAR (Carbonell 1970) και το SOPHIE (Brown et al. 1982).

Σύμφωνα με το Rickel (1989), οι άνθρωποι συγκρατούν το 25% αυτών που ακούν, το 45% αυτών που ακούν και βλέπουν και το 70% αυτών που ακούν, βλέπουν και κάνουν. Το παραπάνω συμπέρασμα είχε ως αποτέλεσμα την στροφή των ερευνητών προς γραφικά περιβάλλοντα διεπαφής. Κατά συνέπεια, τα σύγχρονα ΕΔΣ κάνουν χρήση διαφόρων σύγχρονων τεχνολογιών για τη δημιουργία ελκυστικών συστημάτων διεπαφής, όπως την τεχνολογία πολυμέσων (multimedia), την τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας (virtual reality), καθώς και κινούμενους παιδαγωγικούς πράκτορες (animated pedagogical agents).

Τα πολυμεσικά συστήματα διεπαφής συνδυάζουν διαφορετικά μέσα, όπως κείμενο, γραφικά, ήχο και κινούμενες εικόνες ως μέσο για την παρουσίαση πληροφοριών (Najjar 1998, 2001). Η τεχνολογία των πολυμέσων έχει αξιολογηθεί και τα αποτελέσματα δείχνουν ότι όταν χρησιμοποιηθεί σε εκπαιδευτικά συστήματα μπορεί να έχει θετικές επιδράσεις στη μαθησιακή δραστηριότητα (π.χ. Woolf & Hall 1995, Johnson & O'Neill-Jones 1999, Virvou & Tsiriga 2000a).

Τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας χρησιμοποιούν τρισδιάστατα γραφικά, ώστε να δώσουν στο χρήστη την εντύπωση ότι βρίσκεται πραγματικά εντός του εικονικού μικρόκοσμου που απεικονίζουν (Rickel & Johnson 1999). Τα

συστήματα διεπαφής εικονικής πραγματικότητας είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για εκπαιδευτικά περιβάλλοντα προσομοίωσης. Παραδείγματα ΕΔΣ που χρησιμοποιούν περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας είναι το LAHYSTOTRAIN (Los Arcos et al. 2000), το ASIMIL (Aka & Frasson 2002), και το Karlsruhe Endoscopic Surgery Trainer (Kuhnarpfel et al. 2000).

Οι κινούμενοι παιδαγωγικοί πράκτορες είναι κινούμενοι τρισδιάστατοι ή μη χαρακτήρες που μπορεί να χρησιμοποιούν εκφράσεις προσώπου, κινήσεις σώματος ή/και ομιλία ώστε να προσομοιώνουν κάποια ανθρωπόμορφη συμπεριφορά κατά την αλληλεπίδραση του μαθητή με το ΕΔΣ. Κάποια ΕΔΣ που χρησιμοποιούν κινούμενους παιδαγωγικούς πράκτορες στα συστήματα διεπαφής τους είναι το AlgeBrain (Alpert et al. 1999), το SQL-Web (Mitrovic & Suraweera 2000), και το WEAR (Moundridou & Virvou 2002).

2.3 Προσαρμοστικά Συστήματα Υπερμέσων (ΠΣΥ)

Τα Προσαρμοστικά Συστήματα Υπερμέσων (ΠΣΥ) είναι μία σχετικά νέα ερευνητική περιοχή που προέκυψε από το συνδυασμό δύο προγενέστερων ερευνητικών περιοχών: α) των υπερμέσων και β) της μοντελοποίησης χρηστών. Τα ΠΣΥ δημιουργούν ένα μοντέλο των στόχων, των προτιμήσεων και της γνώσης του εκάστοτε χρήστη και στη συνέχεια χρησιμοποιούν και ενημερώνουν αυτό το μοντέλο καθ' όλη τη διάρκεια των αλληλεπιδράσεων, ώστε να προσαρμόζουν το υπερκείμενο στις ανάγκες του συγκεκριμένου χρήστη (De Bra 2000). Ο Brusilovsky (1996; 2001) παρέχει μία εκτεταμένη ανασκόπηση του πεδίου των προσαρμοστικών μεθόδων, τεχνικών και συστημάτων υπερμέσων και διαχωρίζει δύο βασικές κατηγορίες τεχνολογιών:

- ❖ *Προσαρμοστική παρουσίαση (adaptive presentation)*: στην περίπτωση αυτή, η προσαρμογή πραγματοποιείται σε επίπεδο περιεχομένου, και
- ❖ *Προσαρμοστική υποστήριξη κατά την πλοήγηση (adaptive navigation support)*: η οποία εφαρμόζεται σε επίπεδο συνδέσμων μίας ιστοσελίδας.

Και οι δύο παραπάνω τεχνολογίες έχουν αξιολογηθεί και τα αποτελέσματα δείχνουν ότι όταν χρησιμοποιηθούν σε εκπαιδευτικά συστήματα μπορούν να έχουν θετικές επιδράσεις στη μαθησιακή δραστηριότητα (π.χ. Boyle & Encarnacion 1994, Murray et al. 2000).

2.3.1 Προσαρμοστική Παρουσίαση

Η βασική ιδέα πίσω από τις διάφορες τεχνικές προσαρμοστικής παρουσίασης είναι η προσαρμογή του περιεχομένου μιας ιστοσελίδας στις ανάγκες του χρήστη που την επισκέπτεται. Σύμφωνα με τον Brusilovsky (1996, 2001), μερικές από τις πλέον ενδεδειγμένες μεθόδους που έχουν χρησιμοποιηθεί για να επιτευχθεί η προσαρμοστική παρουσίαση του περιεχομένου μιας ιστοσελίδας είναι η μέθοδος των πρόσθετων εξηγήσεων (additional explanations), η μέθοδος της εξήγησης των προαπαιτούμενων (prerequisite explanation) και η μέθοδος των διαφορετικών εξηγήσεων (explanation variants).

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος προσαρμοστικής παρουσίασης είναι η μέθοδος των πρόσθετων εξηγήσεων. Ο στόχος της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η απόκρυψη κάποιων πληροφοριών που σχετίζονται με κάποια έννοια, οι οποίες δεν είναι κατάλληλες για το επίπεδο γνώσης του χρήστη αναφορικά με την έννοια αυτή. Γενικότερα, εκτός από τη βασική παρουσίαση κάποιας έννοιας, αυτή είναι συσχετισμένη και με κάποιες επιπλέον πληροφορίες, οι οποίες παρουσιάζονται μόνο στην ομάδα χρηστών για την οποία είναι ειδικά προσαρμοσμένες. Κάποια συστήματα που χρησιμοποιούν αυτή την προσέγγιση είναι το MetaDoc (Boyle & Encarnacion 1994) και το Anatom-Tutor (Beaumont 1994).

Σύμφωνα με τη μέθοδο της εξήγησης των προαπαιτούμενων, πριν την παρουσίαση της έννοιας που σχετίζεται με κάποια ιστοσελίδα που επισκέπτεται κάποιος χρήστης, το σύστημα παρουσιάζει επιπρόσθετα και τις εξηγήσεις όλων των προαπαιτούμενων εννοιών που δεν είναι επαρκώς γνωστά στο συγκεκριμένο χρήστη. Παραδείγματα συστημάτων που ακολουθούν τη μέθοδο της εξήγησης των προαπαιτούμενων είναι το C-book (Kay & Kummerfeld 1994) και το IT (Virvou & Kabassi 2002).

Η βασική ιδέα της μεθόδου των διαφορετικών εξηγήσεων είναι η παρουσίαση στο χρήστη της έκδοσης κάποιας ιστοσελίδας, η οποία είναι η πλέον κατάλληλη για το επίπεδο γνώσης του. Συγκεκριμένα, το σύστημα διατηρεί έναν αριθμό διαφορετικών εκδόσεων για κάθε ιστοσελίδα. Όταν κάποιος χρήστης επισκέπτεται μία ιστοσελίδα, το σύστημα διαλέγει κάποια από τις διαφορετικές εκδόσεις με βάση το μοντέλο του συγκεκριμένου χρήστη. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται από τα συστήματα Anatom-Tutor (Beaumont 1994) και Hypadapter (Hohl et al. 1996).

2.3.2 Προσαρμοστική Υποστήριξη κατά την Πλοήγηση

Εξαιτίας της επιπλέον ελευθερίας που προσφέρει το υπερκείμενο κατά την πλοήγηση ενός χρήστη, πολλές φορές οδηγεί σε σύγχυση. Συχνά, οι χρήστες «βομβαρδίζονται» από πληθώρα πληροφοριών και επιλογών σε αντίθεση με τα κείμενα που παρουσιάζονται ακολουθιακά (π.χ. τα βιβλία σε χαρτί ή στο διαδίκτυο) (Calvi & De Bra 1997). Κατά συνέπεια, παρόλο που ο καλός σχεδιασμός του πεδίου πλοήγησης παραμένει σημαντικός, πολλές φορές δεν είναι αρκετός. Δεν είναι λίγες οι φορές που είναι αναγκαίο να παρέχεται και κάποιος πιο εξειδικευμένος μηχανισμός, ο οποίος να τροποποιεί τις εναλλακτικές επιλογές πλοήγησης με κάποιο προσαρμοστικό τρόπο (Caro et al. 1999).

Ένας τρόπος για να υποστηριχθεί ένας χρήστης καθώς πλοηγείται σε ένα δομημένο σύνολο ιστοσελίδων είναι η προσαρμογή των διαφόρων συνδέσμων των ιστοσελίδων στις ανάγκες του συγκεκριμένου χρήστη, με βάση το μοντέλο που έχει σχηματίσει η εφαρμογή για το χρήστη (Brusilovsky 2001). Η τεχνική της προσαρμογής των συνδέσμων έχει ως στόχο την απλοποίηση της εκτεταμένης δομής των συνδέσμων ώστε να μειωθούν τυχόν προβλήματα προσανατολισμού του χρήστη, χωρίς όμως να περιορίζεται η ελευθερία πλοήγησης του χρήστη (De Bra et al. 1999). Μερικές από τις πλέον σημαντικές μεθόδους που έχουν χρησιμοποιηθεί για την προσαρμογή συνδέσμων είναι η άμεση καθοδήγηση, η ταξινόμηση συνδέσμων, η αφαίρεση συνδέσμων και η επισημείωση συνδέσμων.

Σύμφωνα με τη μέθοδο της άμεσου καθοδήγησης, σε κάθε σελίδα στην οποία πλοηγείται κάποιος χρήστης, υπάρχει ένα κουμπί «Επόμενο», το οποίο οδηγεί στην ιστοσελίδα που το σύστημα θεωρεί ως την πλέον κατάλληλη για να επισκεφτεί στη συνέχεια ο συγκεκριμένος χρήστης. Η μέθοδος αυτή είναι σαφής και δεν υπερφορτώνει το χρήστη με επιπλέον πληροφορίες που χρησιμοποιούνται ειδικά για την πλοήγηση στο συγκεκριμένο υπερκείμενο. Παρόλα αυτά, περιορίζει το χρήστη στο ότι ή θα ακολουθήσει τις προτάσεις του συστήματος ή δεν θα λάβει καμία βοήθεια. Κάποια από τα ΠΣΥ που χρησιμοποιούν τη μέθοδο της άμεσου καθοδήγησης για την υποστήριξη μαθητών είναι το ELM-ART (Brusilovsky et al. 1996), το TANGOW (Carro et al. 2001) και το KBS (Henze & Nejd1 2001).

Η μέθοδος της ταξινόμησης συνδέσμων (sorting technique) αλλάζει τη διάταξη των συνδέσμων ώστε οι πλέον προτεινόμενοι σύνδεσμοι να εμφανίζονται στην αρχή. Η μέθοδος αυτή μπορεί να οδηγήσει σε σύγχυση του μαθητή αφού η εμφάνιση των ιστοσελίδων είναι διαφορετική κάθε φορά που πραγματοποιείται κάποια αλλαγή στο

μοντέλο του μαθητή (Brusilovsky & Eklund 1998). Ένα σύστημα που ταξινομεί τους συνδέσμους των διαφόρων ιστοσελίδων είναι το HYPADAPTER (Hohl et al. 1996).

Σύμφωνα με τη μέθοδο της αφαίρεσης συνδέσμων (link removal), οι σύνδεσμοι που το σύστημα θεωρεί ότι ο μαθητής δεν είναι σε θέση να επισκεφτεί αφαιρούνται από τη λίστα των διαθέσιμων συνδέσμων. Έρευνες έχουν δείξει ότι οι χρήστες νιώθουν αμήχανα σχετικά με την αφαίρεση συνδέσμων, εξαιτίας του γεγονότος ότι γνωρίζουν ότι υπάρχουν και άλλες πληροφορίες τις οποίες όμως δεν μπορούν να δουν (Calvi & De Bra 1997). Παραδείγματα συστημάτων που χρησιμοποιούν τη μέθοδο αυτή είναι το C-book (Kay & Kummerfeld 1994) το AHA (Calvi & De Bra 1997) και το ISIS Tutor (Brusilovsky & Pesin 1998).

Τέλος, η βασική ιδέα της μεθόδου της επισημείωσης συνδέσμων είναι η παροχή επιπλέον σχολίων για κάθε έναν από τους συνδέσμους της ιστοσελίδας. Τα σχόλια αυτά γνωστοποιούν στο χρήστη την κατάσταση της κάθε ιστοσελίδας στην οποία οδηγεί ο σύνδεσμος, σε σχέση με την κατάσταση του χρήστη (Brusilovsky 1996). Η επισημείωση των συνδέσμων μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με τη βοήθεια επεξηγηματικού κειμένου, είτε με τη χρήση κάποιων οπτικών ενδείξεων. Για παράδειγμα, δίπλα σε κάθε σύνδεσμο μπορεί να υπάρχει κείμενο που να επεξηγεί την κατάσταση του συνδέσμου αναφορικά με τη γνώση του μαθητή, ή μπορεί οι σύνδεσμοι να έχουν διαφορετικά στυλ γραμματοσειράς για τη διαφοροποίησή τους. Ένα πρόβλημα με τη συγκεκριμένη μέθοδο είναι ότι προσθέτει ένα επιπλέον στοιχείο στο σύστημα διεπαφής, το οποίο μπορεί να αποσπά την προσοχή του χρήστη από το περιεχόμενο των ιστοσελίδων (Brusilovsky & Eklund 1998). Κάποια από τα συστήματα που χρησιμοποιούν την τεχνική της επισημείωσης συνδέσμων είναι το de La Passadiere & Durfesne (1992), το ELM-ART II (Weber & Specht 1997) και το KBS (Henze & Nejd1 2001).

2.4 Τεχνολογίες Επικεντρωμένες στον Παγκόσμιο Ιστό

Με την πάροδο του χρόνου και τη δημιουργία διαδικτυακών εκπαιδευτικών εφαρμογών προέκυψαν κάποιες νέες τεχνολογίες, οι οποίες βασίζονται στη φύση του παγκοσμίου ιστού (Web). Ο Brusilovsky (1999) εντοπίζει την ύπαρξη μίας τέτοιας τεχνολογίας στα διαδικτυακά εκπαιδευτικά συστήματα, συγκεκριμένα την τεχνολογία του συνταιριασμού μοντέλων μαθητών (student model matching). Η τεχνολογία αυτή προέκυψε από τη δυνατότητα των διαδικτυακών εκπαιδευτικών εφαρμογών να διατηρούν στοιχεία για το σύνολο των μαθητών που αλληλεπιδρούν

με το σύστημα. Κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό σε περιπτώσεις αυτόνομων ΕΔΣ, τα οποία διατηρούν πληροφορίες τοπικά για έναν συγκεκριμένο μαθητή. Η δυνατότητα συνταιριασμού μοντέλων μαθητών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να μπορεί το ΕΔΣ να παρέχει προσαρμοστική υποστήριξη συνεργασίας (adaptive collaboration support) και ευφυή παρακολούθηση τάξης (intelligent class monitoring),

Η βασική ιδέα της προσαρμοστικής υποστήριξης συνεργασίας είναι να χρησιμοποιεί το ΕΔΣ τη γνώση του σχετικά με τους διάφορους μαθητές, ώστε να σχηματίζει ομάδες μαθητών για διάφορες μορφές συνεργασίας (Brusilovsky 1999). Για παράδειγμα, το ΕΔΣ θα μπορούσε να υποστηρίζει τη συνεργατική επίλυση ενός προβλήματος (π.χ. Horpe 1995, Ikeda et al. 1997), να καθορίζει ομάδες μαθητών με κοινά ενδιαφέροντα, κ.λπ. Άλλα παραδείγματα ΕΔΣ που παρέχουν τη δυνατότητα προσαρμοστικής υποστήριξης συνεργασίας είναι το Belvedere (Suthers et al. 1995) και το WebDL (Boticario et al. 2000).

Όμοια με την προσαρμοστική υποστήριξη συνεργασίας, η ευφυής παρακολούθηση κάποιας τάξης βασίζεται στην ικανότητα ενός διαδικτυακού εκπαιδευτικού συστήματος να συγκρίνει τα μοντέλα διαφόρων μαθητών. Παρόλα αυτά, στην περίπτωση αυτή το ΕΔΣ αναζητεί μαθητές, των οποίων τα μοντέλα παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές σε σχέση με τα μοντέλα άλλων μαθητών. Οι μαθητές αυτοί μπορεί να είναι πολύ καλύτεροι ή πολύ χειρότεροι από τους άλλους. Με βάση αυτή την πληροφορία, το ΕΔΣ μπορεί να ενημερώσει το δάσκαλο σχετικά με τις ιδιαιτερότητες αυτών των μαθητών. Ένα σύστημα που παρέχει τη δυνατότητα ευφυούς παρακολούθησης της τάξης είναι το HyperClassroom (Oda et al. 1998).

2.5 Αρχιτεκτονική Διαδικτυακών ΕΔΣ

Η ανάπτυξη των ΕΔΣ που διατίθενται μέσω του διαδικτύου βασίζεται στην αρχιτεκτονική πελάτη-εξυπηρετητή (client-server architecture). Η αρχιτεκτονική αυτή επιτρέπει σε έναν υπολογιστή (πελάτης) να συνδεθεί με κάποιον απομακρυσμένο υπολογιστή (εξυπηρετητής), ο οποίος διαθέτει ένα σύνολο πληροφοριών. Στην περίπτωση των διαδικτυακών ΕΔΣ (ΔΕΔΣ), οι πελάτες είναι οι υπολογιστές των μαθητών, ενώ ο εξυπηρετητής είναι ο απομακρυσμένος υπολογιστής μέσω του οποίου διατίθεται το ΔΕΔΣ.

Οι Mitrovic & Hausler (2000) ομαδοποιούν τις αρχιτεκτονικές των διαδικτυακών ΕΔΣ σε τρεις βασικές κατηγορίες, ανάλογα με τη θέση (εξυπηρετητής ή πελάτης) στην οποία πραγματοποιούνται οι παιδαγωγικές διαδικασίες του ΔΕΔΣ:

❖ *Επικεντρωμένη Αρχιτεκτονική (Centralized Architecture)*: σύμφωνα με την οποία, τα συστατικά του συστήματος διαμοιράζονται μεταξύ ενός διακομιστή (Web server), ενός εξυπηρετητή της εφαρμογής (application server) και του συστήματος διεπαφής (user interface). Ο εξυπηρετητής της εφαρμογής και ο διακομιστής εκτελούνται στην πλευρά του εξυπηρετητή, ενώ το σύστημα διεπαφής παρουσιάζεται σε κάποιο πρόγραμμα πλοήγησης (Web browser) στην πλευρά του πελάτη. Ο μαθητής αλληλεπιδρά με το σύστημα μέσω ιστοσελίδων ή φορμών της HTML. Στη συνέχεια, οι ενέργειες του μαθητή αποστέλλονται στο διακομιστή, ο οποίος με τη σειρά του τα μεταφέρει στον εξυπηρετητή της εφαρμογής. Ο εξυπηρετητής της εφαρμογής επεξεργάζεται τις πληροφορίες και πραγματοποιεί τις απαιτούμενες παιδαγωγικές ενέργειες (π.χ. ενημέρωση του μοντέλου του μαθητή, έλεγχος απάντησης σε άσκηση, κ.λπ.). Στην περίπτωση που ο εξυπηρετητής της εφαρμογής θεωρεί ότι πρέπει να αποσταλεί στο μαθητή κάποια πληροφορία (π.χ. ιστοσελίδα ή φόρμα της HTML), μεταφέρει την πληροφορία στο διακομιστή, ο οποίος στη συνέχεια είναι υπεύθυνος για την παρουσίασή της στο πρόγραμμα πλοήγησης στον υπολογιστή του μαθητή.

Σε μία τέτοια προσέγγιση, η οποία είναι επικεντρωμένη στον εξυπηρετητή, η εγκατάσταση και η διαχείριση του ΔΕΔΣ πραγματοποιείται στην πλευρά του εξυπηρετητή. Κατά συνέπεια, οι κατασκευαστές του ΔΕΔΣ μπορούν να ενημερώνουν και να τροποποιούν το σύστημα, χωρίς να υπάρχει ανάγκη επαναδιανομής του στους τελικούς χρήστες. Ένα από τα προβλήματα της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής είναι το γεγονός ότι δεν υπάρχει απευθείας επικοινωνία μεταξύ του πελάτη και του εξυπηρετητή της εφαρμογής. Αυτό έχει ως συνέπεια να καθυστερεί σε κάποιες περιπτώσεις το ΔΕΔΣ να παράγει αποκρίσεις στις ενέργειες του μαθητή. Επιπλέον, η HTML περιορίζει τη δημιουργία περίπλοκων πολυμεσικών συστημάτων διεπαφής. Παραδείγματα συστημάτων που ακολουθούν την «επικεντρωμένη» προσέγγιση είναι το ELM-ART (Brusilovsky et al. 1996), το PAT Online (Ritter 1997), το SmexWeb (Albrecht et al. 2000) και το WEAR (Virvou & Moundridou 2001a).

❖ *Αρχιτεκτονική Αντιγραφής (Replicated Architecture)*: σύμφωνα με την οποία, το ΔΕΔΣ στο σύνολό του είναι ένα applet της Java, το οποίο πρέπει να εγκατασταθεί στον ηλεκτρονικό υπολογιστή του μαθητή πριν αυτός αρχίσει

να αλληλεπιδρά με το σύστημα. Στη συνέχεια, όλη η λειτουργία του ΔΕΔΣ πραγματοποιείται στην πλευρά του πελάτη, ενώ ο εξυπηρετητής χρησιμεύει μόνο ως αποθήκη των νέων εκδόσεων ή προσθηκών του συστήματος.

Ένα βασικό πλεονέκτημα της προσέγγισης αυτής είναι ότι δεν υπάρχουν καθυστερήσεις στην αλληλεπίδραση του μαθητή με το σύστημα. Αυτό συμβαίνει διότι αφού το ΔΕΔΣ εγκατασταθεί, στη συνέχεια εκτελείται τοπικά στον υπολογιστή του μαθητή, όμοια με μία αυτόνομη (standalone) εφαρμογή. Παρόλα αυτά, τα συστήματα που βασίζονται σε αυτή την αρχιτεκτονική πρέπει να εγκαθίστανται εξ αρχής κάθε φορά που υπάρχει κάποια προσθήκη στο ΔΕΔΣ. Επιπρόσθετα, εξαιτίας του γεγονότος ότι το μοντέλο του εκάστοτε μαθητή αποθηκεύεται στον πελάτη και όχι στον εξυπηρετητή, το σύστημα δεν μπορεί να εκμεταλλευτεί τις πληροφορίες που έχουν καταγραφεί για κάποιο συγκεκριμένο μαθητή, εάν αυτός χρησιμοποιήσει το ΔΕΔΣ από κάποιον άλλο ηλεκτρονικό υπολογιστή. Παραδείγματα συστημάτων που βασίζονται στην αρχιτεκτονική αντιγραφής είναι το ADIS (Warendorf & Tan 1997) και το DGC (Vassileva 1997a).

- ✧ *Κατανεμημένη Αρχιτεκτονική (Distributed Architecture)*: όπου η λειτουργικότητα του ΕΔΣ διαμοιράζεται μεταξύ του εξυπηρετητή και του πελάτη. Η επιλογή των λειτουργιών που πραγματοποιούνται στην πλευρά του εξυπηρετητή και στην πλευρά του πελάτη εξαρτάται από το εκάστοτε σύστημα. Τις περισσότερες φορές, το συστατικό του ΔΕΔΣ που βρίσκεται εγκατεστημένο στον ηλεκτρονικό υπολογιστή του μαθητή (πελάτη) είναι το σύστημα διεπαφής (που είναι συνήθως ένα applet της Java), ενώ όλα τα υπόλοιπα συστατικά βρίσκονται στην πλευρά του εξυπηρετητή.

Τα συστήματα που βασίζονται στην κατανεμημένη αρχιτεκτονική συνήθως δεν παρουσιάζουν μεγάλες καθυστερήσεις στις αποκρίσεις του συστήματος σε κάποιες ενέργειες του μαθητή, διότι ένα μέρος της λειτουργικότητας του συστήματος πραγματοποιείται τοπικά στην πλευρά του πελάτη. Παρόλα αυτά, για κάποιες ενέργειες, τα ΔΕΔΣ που χρησιμοποιούν την προσέγγιση αυτή απαιτούν την αλληλεπίδραση του applet που βρίσκεται στον πελάτη με τον εξυπηρετητή της εφαρμογής. Σε αυτές τις περιπτώσεις, όμοια με την περίπτωση της επικεντρωμένης αρχιτεκτονικής, μπορούν να παρουσιαστούν καθυστερήσεις στις αποκρίσεις του συστήματος. Όμοια με την αρχιτεκτονική

αντιγραφής, και στην περίπτωση της κατανεμημένης προσέγγισης, ο μαθητής πρέπει να εγκαταστήσει ένα τμήμα του ΔΕΔΣ στον ηλεκτρονικό του υπολογιστή, κάθε φορά που γίνεται κάποια τροποποίηση στο σύστημα. Συστήματα που ακολουθούν αυτή την προσέγγιση είναι το AlgeBrain (Applet et al. 1999), το WADEIn (Brusilovsky & Su 2002) και το VC PROLOG Tutor (Peylo et al. 2000b).

2.6 Διαδικτυακά ΕΔΣ για τη Διδασκαλία Γλωσσών

Τα τελευταία χρόνια, αυξανόμενο ενδιαφέρον παρουσιάζεται για την ανάπτυξη εκπαιδευτικού λογισμικού για τη διδασκαλία κάποιας φυσικής γλώσσας. Μία αιτία γι' αυτό είναι ο εκτεταμένος αριθμός ασκήσεων που πρέπει να λύσει κάποιος μαθητής για την εκμάθηση κάποιων στοιχείων της φυσικής γλώσσας (π.χ. γραμματικοί κανόνες), που απαιτεί πολύ διδακτικό χρόνο ενώ οι μαθητές πρέπει να περιμένουν ανάδραση στις απαντήσεις τους μόνο εφόσον αυτές διορθωθούν από κάποιο δάσκαλο (Nagata 1998). Με τη βοήθεια κάποιου πακέτου λογισμικού η συγκεκριμένη διαδικασία θα μπορούσε να αυτοματοποιηθεί, οδηγώντας σε εξοικονόμηση χρόνου και σε άμεση ανάδραση σε περιπτώσεις λαθών των μαθητών.

Όμοια με την περίπτωση των εκπαιδευτικών εφαρμογών για άλλα γνωστικά αντικείμενα, η πρώτη κατηγορία συστημάτων για τη διδασκαλία κάποιας φυσικής γλώσσας αφορούσε στα Συστήματα Διδασκαλίας Γλώσσας Βοηθούμενα από Υπολογιστή-ΣΔΓΒΥ (Computer Assisted Language Learning-CALL). Τα συστήματα αυτά συχνά αποτελούσαν απλές μεταφορές ενός βιβλίου στον υπολογιστή και τον εμπλουτισμό του παιδαγωγικού υλικού με κάποια είδη ασκήσεων. Οι ασκήσεις αυτές στις περισσότερες περιπτώσεις ήταν είτε ασκήσεις πολλαπλών επιλογών είτε ασκήσεις εισαγωγής απάντησης με βάση ένα περιορισμένο σύνολο δυνατών απαντήσεων. Το σύστημα διόρθωνε τις απαντήσεις χωρίς όμως να έχει τη δυνατότητα συμπερασματολογίας ως προς τα λάθη του μαθητή (Barker & Yeates 1985). Κατά συνέπεια, ο μαθητής απλά πληροφορούνταν για το εάν η απάντησή του ήταν σωστή ή λανθασμένη, χωρίς το σύστημα να μπορεί να τον βοηθήσει στην κατανόηση της αιτίας του σφάλματος.

Για τους παραπάνω λόγους, η έρευνα στράφηκε προς τα Ευφυή Συστήματα Διδασκαλίας Γλώσσας - ΕΔΣΓ (Intelligent Computer Assisted Language Learning Systems). Η ερευνητική περιοχή των ΕΔΣΓ εδραιώθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1990, με την έκδοση μίας συλλογής εργασιών από τους Swartz & Yazdani (1992).

Εκτοτε, ένα πλήθος ΕΔΣΓ δημιουργήθηκαν (π.χ. Fum et al. 1992, Bos & Van de Plassche 1994, Krüger & Hamilton 1997, Murphy & McTear 1997), τα οποία έκαναν χρήση μεθόδων των ΕΔΣ, της Επεξεργασίας Φυσικής Γλώσσας, της Αυτοματοποιημένης Αναγνώρισης Φωνής και της Αυτοματοποιημένης Μετάφρασης.

Τα ΕΔΣΓ είναι ένα παράδειγμα ΕΔΣ που θα μπορούσαν να ωφεληθούν ιδιαίτερα από την τεχνολογία του διαδικτύου και του παγκοσμίου ιστού (World Wide Web). Αυτό πηγάζει από το γεγονός ότι η διδασκαλία κάποιας γλώσσας μέσω του διαδικτύου στοχεύει σε μία ευρύτερη και πιο διάσπαρτη γεωγραφικά ομάδα μαθητών, σε σύγκριση με διαδικτυακά συστήματα για την εκμάθηση κάποιου άλλου γνωστικού πεδίου. Η αιτία για αυτό είναι ότι ένα ΕΔΣΓ μπορεί ενδεχομένως να προσελκύσει τους μαθητές, με βάση το ενδιαφέρον τους για την εκμάθηση της συγκεκριμένης γλώσσας, ανεξάρτητα από τη μητρική τους γλώσσα. Το παραπάνω δεν ισχύει όμως σε άλλα γνωστικά αντικείμενα (π.χ. ιστορία, φυσική, κ.λπ.), όπου η γλώσσα που χρησιμοποιείται από το ΔΕΔΣ θέτει έναν περιορισμό ως προς τους πιθανούς μαθητές. Ο περιορισμός αυτός αφορά στο ότι όλοι οι μαθητές που θα χρησιμοποιήσουν το ΔΕΔΣ θα πρέπει να γνωρίζουν τη γλώσσα που αυτό χρησιμοποιεί.

Μέχρι σήμερα, δεν υπάρχουν πολλά ΕΔΣΓ που να λειτουργούν μέσω του παγκοσμίου ιστού. Τα περισσότερα Διαδικτυακά ΕΔΣΓ (ΔΕΔΣΓ) που έχουν αναπτυχθεί χρησιμοποιούν τεχνικές άμεσα υιοθετημένες από τα αυτόνομα ΕΔΣ, ώστε να παρέχουν εξατομικευμένη διδασκαλία. Πολύ λίγα είναι αυτά που κάνουν χρήση τεχνικών των ΠΣΥ ώστε να προσαρμόζουν το περιβάλλον διδασκαλίας στις ανάγκες των μαθητών. Στις επόμενες υπο-ενότητες περιγράφονται κάποια από τα κυριότερα ΔΕΔΣΓ.

2.6.1 German Tutor

Ένα ΔΕΔΣΓ, για την εξάσκηση μαθητών σε εισαγωγικά θέματα της γραμματικής της Γερμανικής γλώσσας είναι το German Tutor (Heift & Nicholson 2000; 2001). Η ευφυΐα του συστήματος έγγειται στην ενσωμάτωση σε αυτό κάποιας γραμματικής και ενός λεκτικού αναλυτή (parser), ο οποίος αναλύει τις προτάσεις που δίνει ως εισοδο στο σύστημα ο μαθητής και αναγνωρίζει τυχόν γραμματικά ή άλλου τύπου σφάλματα. Το German Tutor παρέχει στο μαθητή εξατομικευμένη βοήθεια σε περίπτωση που απαντήσει λανθασμένα σε κάποια άσκηση, με βάση το αποτέλεσμα που παράγεται από το λεκτικό αναλυτή και το μοντέλο που διατηρεί το ΔΕΔΣΓ για

το συγκεκριμένο μαθητή. Επιπλέον, οι εκπαιδευτικοί μπορούν να πραγματοποιούν αλλαγές στα μηνύματα βοήθειας που παρέχει το σύστημα, ώστε αυτό να ανταπεξέρχεται στις παιδαγωγικές ανάγκες του κάθε εκπαιδευτικού.

Για τη μοντελοποίηση των μαθητών, το German Tutor διατηρεί μία βαθμολογία για κάθε γραμματική έννοια, καθώς και μία εκτίμηση της τάσης του μαθητή να κάνει σφάλματα σε κάθε μία από ένα σύνολο προκαθορισμένων κατηγοριών λαθών. Το ΔΕΔΣΓ κατηγοριοποιεί επίσης τους μαθητές σε τρία στερεότυπα σχετικά με το γνωστικό τους επίπεδο, συγκεκριμένα «αρχάριος», «με μέτρια γνώση» και «ειδήμων». Όταν κάποιος μαθητής αλληλεπιδρά για πρώτη φορά με το German Tutor, το σύστημα θεωρεί ότι αυτός ανήκει στην κατηγορία «με μέτρια γνώση». Στη συνέχεια, ανάλογα με την επίδοση του μαθητή κατά την αλληλεπίδρασή του με το ΔΕΔΣΓ, το στερεότυπο στο οποίο ανήκει μπορεί να αλλάξει.

Το μοντέλο ενός μαθητή χρησιμοποιείται από το German Tutor για την εξατομικευση των μηνυμάτων λάθους που παρουσιάζονται στο μαθητή στην περίπτωση που επιλύσει εσφαλμένα κάποια άσκηση, καθώς και για την παρουσίαση στο μαθητή κατάλληλων «διορθωτικών» ασκήσεων. Συγκεκριμένα, το ΔΕΔΣΓ χρησιμοποιεί τα στοιχεία που έχουν καταγραφεί για κάποιο συγκεκριμένο μαθητή, ώστε να πραγματοποιεί διάγνωση της αιτίας των σφαλμάτων που μπορεί να οφείλονται σε παραπάνω από έναν λόγους. Επιπλέον, ανάλογα με το επίπεδο γνώσης του μαθητή, τα μηνύματα λάθους είναι περισσότερο ή λιγότερο λεπτομερή (όσο πιο αδύναμος είναι ο μαθητής, τόσο πιο λεπτομερής βοήθεια του παρέχεται). Οι «διορθωτικές» ασκήσεις από την άλλη πλευρά, στοχεύουν στην εξάσκηση του μαθητή σε γραμματικές έννοιες, στις οποίες ο μαθητής φαίνεται να δυσκολεύεται.

Ένα μειονέκτημα του German Tutor είναι το γεγονός ότι αρχικοποιεί το μοντέλο κάθε νέου μαθητή τοποθετώντας τον στο στερεότυπο «με μέτρια γνώση». Στην περίπτωση όμως που κάποιος μαθητής δεν ανήκει σε αυτή την κατηγορία, το σύστημα θα πρέπει να παρατηρήσει την διαδικασία επίλυσης ασκήσεων αυτού του μαθητή και να τροποποιήσει το μοντέλο του ώστε να αντανακλά τις πραγματικές αδυναμίες και το επίπεδο γνώσης του. Κατά συνέπεια, σε τέτοιες περιπτώσεις, το German Tutor χρειάζεται κάποιο χρόνο ώσπου να αρχίσει να παρέχει εξατομικευμένα μηνύματα λάθους και «διορθωτικές» ασκήσεις. Το Web-PVT (το ΔΕΔΣΓ που αποτελεί τμήμα της παρούσας έρευνας), από την άλλη πλευρά χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό των στερεοτύπων και του αλγορίθμου των

σταθμισμένων με βάση την απόσταση k-πλησιέστερων γειτόνων ώστε να πραγματοποιεί εξατομικευμένη αρχικοποίηση του μοντέλου ενός νέου μαθητή.

Επιπλέον, το German Tutor ενημερώνει το μοντέλο κάποιου μαθητή με βάση τις επιδόσεις του κατά την επίλυση ασκήσεων. Στην περίπτωση του Web-PVT για την ενημέρωση του μοντέλου του μαθητή λαμβάνονται υπ' όψη και οι ενέργειες που αυτός πραγματοποιεί κατά τη μελέτη της θεωρίας. Τέλος, σε αντίθεση με το Web-PVT, το German Tutor δεν έχει κάποιο μηχανισμό για την υποστήριξη του μαθητή όταν αυτός μελετά θεωρία.

2.6.2 MyEnglishTeacher

Ένα άλλο ΔΕΔΣΓ αναπτύχθηκε από τους Cristea et al. (2000). Το ΔΕΔΣΓ ονομάζεται MyEnglishTeacher και στοχεύει στη διδασκαλία του Αγγλικού λεξιλογίου ακαδημαϊκού επιπέδου. Το γνωστικό πεδίο του συστήματος συνίσταται σε ένα σύνολο θεωρητικών εννοιών, οι οποίες είναι οργανωμένες ιεραρχικά με βάση το βαθμό δυσκολίας που τους έχει αποδοθεί. Ο μαθητής μπορεί να μελετήσει θεωρητικά ζητήματα σχετικά με κάθε θεωρητική έννοια του γνωστικού πεδίου με τη βοήθεια ενός πολυμεσικού περιβάλλοντος που αποτελείται από κείμενο, εικόνες και ήχους. Επιπλέον, ο μαθητής μπορεί να επιλύσει ασκήσεις. Ο έλεγχος των ασκήσεων και η παραγωγή των εξηγήσεων σε τυχόν λάθη γίνεται από το ΔΕΔΣΓ λαμβάνοντας υπ' όψη τις ιδιαίτερες γνώσεις και αδυναμίες του εκάστοτε μαθητή.

Το MyEnglishTeacher κατασκευάζει σταδιακά δύο μοντέλα μαθητών. Το πρώτο είναι το Καθολικό Μοντέλο (Global Student Model), το οποίο αποτελεί ένα γενικό μοντέλο όλων των μαθητών που αλληλεπιδρούν με το σύστημα. Το Καθολικό Μοντέλο περιέχει πληροφορίες σχετικά με τα πλέον συνήθη λάθη που πραγματοποιούν οι μαθητές, τις δημοφιλέστερες ιστοσελίδες, κείμενα, video, ήχους (ανάλογα με τον αριθμό των μαθητών που τα χρησιμοποιούν), το βαθμό δυσκολίας ενός τεστ (ανάλογα με τον αριθμό των μαθητών που είχαν καλή ή κακή επίδοση στο συγκεκριμένο τεστ), καθώς και πρότυπα αναζήτησης (search patterns) και πρότυπα αλληλουχίας πρόσβασης ιστοσελίδων (order of access patterns). Το δεύτερο μοντέλο είναι το Εξατομικευμένο Μοντέλο του μαθητή, το οποίο χρησιμεύει στην καταγραφή και τη διαχείριση δεδομένων από το σύνολο των αλληλεπιδράσεων κάποιου μαθητή με το MyEnglishTeacher. Το μοντέλο αυτό περιέχει πληροφορίες σχετικά με την τελευταία ιστοσελίδα στην οποία είχε πρόσβαση ο μαθητής, τις βαθμολογίες όλων των διαγνωστικών τεστ που έχει επιλύσει ο μαθητής, τα είδη των λαθών που έχει

κάνει ο μαθητής και τη συχνότητα για κάθε είδος λάθους, τη σειρά με την οποία ένας μαθητής είχε πρόσβαση στα κείμενα που περιγράφουν μία θεωρητική έννοια, τη συχνότητα με την οποία ο μαθητής επιλέγει να δει κείμενο ή βίντεο, κ.λπ., καθώς και τα πρότυπα αναζήτησης και τα πρότυπα αλληλουχίας πρόσβασης ιστοσελίδων (order of access patterns) που χρησιμοποιεί ο συγκεκριμένος μαθητής.

Το Εξατομικευμένο Μοντέλο χρησιμοποιείται από το ΔΕΔΣΓ για την επιλογή των «επόμενων βημάτων διδασκαλίας» καθώς και των «υποδείξων επανάληψης». Οι «υποδείξεις επανάληψης» αποτελούν τα τμήματα διδακτικού υλικού που θεωρεί το MyEnglishTeacher ότι ο μαθητής πρέπει να μελετήσει ξανά. Η επιλογή των θεωρητικών τμημάτων πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπ' όψη τα λάθη του εκάστοτε μαθητή στα διάφορα διαγνωστικά τεστ. Το Καθολικό Μοντέλο χρησιμοποιείται από το MyEnglishTeacher, σε περιπτώσεις που το σύστημα αδυνατεί να εξάγει κάποιο συμπέρασμα με βάση τα στοιχεία που είναι καταγεγραμμένα στο Εξατομικευμένο Μοντέλο. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση που το σύστημα αδυνατεί να εξηγήσει το σφάλμα ενός μαθητή, εξαιτίας ελλειπών δεδομένων στο Εξατομικευμένο Μοντέλο αυτού, το MyEnglishTeacher χρησιμοποιεί τα στοιχεία του Καθολικού Μοντέλου ώστε να αποδώσει το λάθος του μαθητή σε κάποια αιτία.

Ένα μειονέκτημα του MyEnglishTeacher είναι ότι δεν επιτρέπει στο μαθητή να υπερβεί κάποιο επίπεδο δυσκολίας εάν δεν ολοκληρώσει επιτυχώς τα τεστ που σχετίζονται με το συγκεκριμένο επίπεδο δυσκολίας. Η συγκεκριμένη επιλογή μπορεί σε κάποιες περιπτώσεις να περιορίσει τους μαθητές που δεν επιθυμούν να διδαχθούν όλες τις θεματικές ενότητες του γνωστικού πεδίου. Στο Web-PVT, από την άλλη πλευρά, ο μαθητής έχει τη δυνατότητα να επιλέγει από μόνος του την ενότητα που επιθυμεί να μελετήσει ανεξαρτήτως του βαθμού δυσκολίας της.

2.6.3 Japanese Passive Voice Tutoring System

Οι Yang & Akahori (1997; 1999) έχουν αναπτύξει ένα ΕΔΣΓ που διατίθεται μέσω του παγκοσμίου ιστού και πραγματοποιείται τη διδασκαλία της παθητικής φωνής της Ιαπωνικής γλώσσας. Το Japanese Passive Voice Tutor επιτρέπει στους μαθητές να παρέχουν απαντήσεις σε ασκήσεις χρησιμοποιώντας φυσική γλώσσα. Η έμφαση του συστήματος αυτού βρίσκεται στην ενσωμάτωση αποτελεσματικών τεχνικών επεξεργασίας φυσικής γλώσσας (natural language processing), οι οποίες χρησιμεύουν στην ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών.

Συγκεκριμένα, το ΔΕΔΣΓ για τη διδασκαλία της παθητικής φωνής της Ιαπωνικής γλώσσας μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους μαθητές για την επίλυση ασκήσεων σχετικών με το διδασκόμενο αντικείμενο. Κάθε φορά που κάποιος μαθητής δώσει μία απάντηση σε μία άσκηση, η απάντηση αυτή αποστέλλεται στο υποσύστημα «Ανάλυσης Προτάσεων» του Japanese Passive Voice Tutor, ώστε να εξεταστεί ή ορθότητα της και σε περίπτωση λάθους να γίνει διάγνωση αυτού. Το υποσύστημα «Ανάλυσης Προτάσεων» αρχικά εξετάζει αν η πρόταση που έχει δώσει ο μαθητής είναι σωστή. Σε αυτή την περίπτωση, ο μαθητής ενημερώνεται για την ορθότητα της απάντησής του και καλείται να επιλύσει μία άλλη άσκηση. Στην περίπτωση που η πρόταση που έχει πληκτρολογήσει ο μαθητής είναι λανθασμένη, το υποσύστημα «Ανάλυσης Προτάσεων» πραγματοποιεί ανάλυση της απάντησης χρησιμοποιώντας τεχνικές επεξεργασίας φυσικής γλώσσας.

Το Japanese Passive Voice Tutor με τη χρήση των ειδικών τεχνικών επεξεργασίας φυσικής γλώσσας, έχει τη δυνατότητα να αναγνωρίζει ένα μεγάλο αριθμό σφαλμάτων. Παρόλα αυτά, το ΔΕΔΣΓ αυτό, σε αντίθεση με το Web-PVT, δεν διατηρεί κάποιο ιστορικό στο οποίο να καταγράφονται η πρόοδος και οι αδυναμίες του μαθητή στο σύνολο των αλληλεπιδράσεών του με το σύστημα. Κατά συνέπεια, τα μηνύματα που εμφανίζονται στο μαθητή δεν είναι προσαρμοσμένα στις ατομικές του ανάγκες. Επιπλέον, το Japanese Passive Voice Tutor δεν αντιμετωπίζει την περίπτωση όπου κάποιο σφάλμα μπορεί να οφείλεται σε πάνω από μία αιτίες. Συγκεκριμένα, μόλις το υποσύστημα «Ανάλυσης Προτάσεων» εντοπίσει κάποιο σφάλμα στην απάντηση του μαθητή, ο κωδικός του σφάλματος που αναγνωρίστηκε αποστέλλεται στο υποσύστημα «Παραγωγής Μηνυμάτων Λάθους», το οποίο παρουσιάζει στο μαθητή το μήνυμα λάθους που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο κωδικό. Το Web-PVT από την άλλη πλευρά, σε περιπτώσεις που ένα λάθος μπορεί να αποδοθεί σε περισσότερες από μία αιτίες λαμβάνει υπ' όψη τα στοιχεία του μοντέλου του μαθητή για να παράγει το κατάλληλο μήνυμα λάθους.

2.7 Συμπεράσματα

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μεγάλη ερευνητική δραστηριότητα στον τομέα των εκπαιδευτικών εφαρμογών που διατίθενται μέσω του παγκοσμίου ιστού. Το πρόβλημα με την πλειοψηφία αυτών των εφαρμογών είναι ότι δεν είναι τίποτε παραπάνω από ένα δίκτυο στατικών σελίδων υπερκειμένου με περιορισμένη αλληλεπιδραστικότητα και προσαρμοστικότητα. Η ανάγκη για προσαρμοστικότητα

ώθησε τα τελευταία χρόνια ένα μεγάλο αριθμό ερευνητικών ομάδων ανά τον κόσμο να ασχοληθούν με την ανάπτυξη διαδικτυακού εκπαιδευτικού λογισμικού που προσαρμόζεται στις ανάγκες του εκάστοτε μαθητή. Ως αποτέλεσμα, σήμερα υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός προσαρμοστικών διδακτικών συστημάτων που διατίθενται μέσω του διαδικτύου, και τα οποία κάνουν χρήση μίας πληθώρας μεθόδων και τεχνικών από τον τομέα των ΕΔΣ και των ΠΣΥ.

Όμως, όπως τονίζεται από τον Brusilovsky (1999), τα ΔΕΔΣ αποτελούν ακόμη ένα πολύ μικρό τμήμα της ευρύτερης περιοχής των ΕΔΣ. Μία αιτία γι' αυτό είναι το μεγάλο κόστος σε χρόνο και κόπο που απαιτείται για την κατασκευή ενός ΔΕΔΣ. Μια λύση στο πρόβλημα αυτό θα μπορούσε να δοθεί με την επαναχρησιμοποίηση τμημάτων των υπαρχόντων ΕΔΣ για την κατασκευή κάποιου νέου ΔΕΔΣ. Στην πραγματικότητα, πολλά από τα ΔΕΔΣ που έχουν αναπτυχθεί βασίζονται σε προηγούμενες, αυτόνομες εφαρμογές (π.χ. Alpert et al. 1999, Mitrovic & Hausler 2000). Παρόλα αυτά, μέχρι σήμερα δεν υπάρχει κάποιο κοινά αποδεκτό πρότυπο (standard) για τη μεταφορά ενός ΕΔΣ στο διαδίκτυο.

3 Μοντελοποίηση της Εξατομικευμένης Μαθησιακής Διαδικασίας

3.1 Εισαγωγή

Τα ΕΔΣ, ήταν ο πρώτος ερευνητικός τομέας που αναγνώρισε την αναγκαιότητα μοντελοποίησης των χρηστών ενός πακέτου λογισμικού και στη συνέχεια την προσαρμογή της εφαρμογής στα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου χρήστη (Self 1999). Σήμερα πλέον, τόσο ο τομέας της μοντελοποίησης μαθητών, όσο και ο γενικότερος τομέας της μοντελοποίησης χρηστών έχουν εδραιωθεί στην ερευνητική *περιοχή των ευφύων συστημάτων*.

Η μοντελοποίηση μαθητών είναι ένα πολύ σημαντικό ζήτημα όταν πρόκειται για εκπαιδευτικό λογισμικό που στοχεύει στην προώθηση της μάθησης, διότι τα μοντέλα των μαθητών αποτελούν το μέσο για την υποστήριξη ευφύους και προσαρμοστικής διδασκαλίας (Dillenbourg & Self 1992). Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, το υποσύστημα μοντελοποίησης του μαθητή είναι υπεύθυνο για τη δυναμική αναπαράσταση της εξελισσόμενης γνώσης του μαθητή (Nwana 1991) καθώς και για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη γνώση και τις παρανοήσεις του μαθητή με βάση τη συμπεριφορά του ως προς το ΕΔΣ (Dillenbourg & Self 1992).

Ο Kass (1989) προσδιορίζει τρία πολύ βασικά ζητήματα στο σχεδιασμό και την υλοποίηση του υποσυστήματος μοντελοποίησης μαθητών:

- ❖ Ποιά χαρακτηριστικά του μαθητή πρέπει να μοντελοποιηθούν;
- ❖ Ποιός τρόπος αναπαράστασης αυτών των χαρακτηριστικών πρέπει να χρησιμοποιηθεί;
- ❖ Ποιός μηχανισμός θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του μοντέλου του μαθητή;

Στις ακόλουθες ενότητες, αρχικά γίνεται μία ανασκόπηση των μεθόδων και των τεχνικών μοντελοποίησης μαθητών με βάση τα τρία ζητήματα που αναφέρθηκαν. Συγκεκριμένα, στην ενότητα 3.2 γίνεται μία αναφορά στις κατηγοριοποιήσεις των ΕΔΣ με βάση τα χαρακτηριστικά του μαθητή που μοντελοποιούν. Η ενότητα 3.3 αναφέρεται στους διάφορους τρόπους αναπαράστασης των μοντέλων των μαθητών, ενώ στην ενότητα 3.4 γίνεται μία σύντομη περιγραφή των μηχανισμών που χρησιμοποιούν τα ΕΔΣ τόσο για την αρχικοποίηση, όσο και για την ενημέρωση των μοντέλων των μαθητών. Στην ενότητα 3.5 γίνεται μία αναφορά στη χρήση μεθόδων μηχανικής μάθησης για τη μοντελοποίηση μαθητών και τέλος (ενότητα 3.6) παρατίθενται κάποια ανοικτά ζητήματα στον τομέα της μοντελοποίησης μαθητών.

3.2 Χαρακτηριστικά του Μαθητή που Λαμβάνονται υπ' Όψη στη Μοντελοποίηση

Στην ιδεατή περίπτωση, το μοντέλο ενός μαθητή θα πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες σχετικά με τη συμπεριφορά του μαθητή, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν την επίδοσή του στη μάθηση (Nwana 1991). Παρόλα αυτά, δεν υπάρχει καμία χρησιμότητα στην καταγραφή χαρακτηριστικών του μαθητή τα οποία δεν χρησιμοποιούνται από το ΕΔΣ. Όπως τονίζεται από τον Self (1990), θα πρέπει να υπάρχει μεγάλη συσχέτιση μεταξύ του μοντέλου του μαθητή και της διδακτικής διαδικασίας. Κάθε χαρακτηριστικό του μοντέλου του μαθητή θα πρέπει να χρησιμοποιείται από το υποσύστημα λήψης διδακτικών αποφάσεων.

Σύμφωνα με τους Anderson et al. (1995), τα μοντέλα μαθητών μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του μαθητή που προσπαθούν να μοντελοποιήσουν. Η πρώτη είναι τα *μοντέλα καταγραφής γνώσης* (knowledge tracing), τα οποία έχουν ως στόχο να αναγνωρίζουν τι γνωρίζει ο μαθητής στο διδασκόμενο αντικείμενο, συμπεριλαμβάνοντας την ορθή και τη λανθασμένη γνώση. Η δεύτερη κατηγορία μοντέλων μαθητών είναι τα *καταγραφής μοντέλου* (model tracing), τα οποία προσπαθούν να ιχνηλατήσουν την ικανότητα του μαθητή στη διαδικασία επίλυσης προβλημάτων καθώς αυτός λύνει κάποια άσκηση.

Όσον αφορά στη χρονική διάρκειά τους, τα μοντέλα του μαθητή μπορούν να διαχωριστούν σε μοντέλα μικρής (short term) και μακράς (long term) διάρκειας (Rich 1979, Jones & Virvou 1991). Αν το μοντέλο ισχύει για μία μόνο αλληλεπίδραση με το σύστημα, τότε ονομάζεται μοντέλο μικρής διάρκειας, ενώ εάν αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί σε περισσότερες από μία αλληλεπιδράσεις, τότε ονομάζεται

μοντέλο μακράς διάρκειας. Μία άλλη κατηγοριοποίηση των μοντέλων των μαθητών που αφορά στο χρόνο, η οποία έχει γίνει από τους Giangrandi & Tasso (1996, 1997) και έχει υιοθετηθεί από τους Chiu & Webb (1998), είναι ο διαχωρισμός των μοντέλων σε στατικά (static) και χρονικά (temporal). Ως στατικά, χαρακτηρίζονται τα μοντέλα που καταγράφουν τη γνώση του μαθητή, χωρίς όμως να εξετάζουν την εξέλιξη αυτής της γνώσης στο χρόνο. Χρονικά, από την άλλη πλευρά, είναι τα μοντέλα των μαθητών που επεκτείνουν τις πληροφορίες που διατηρούν για τους μαθητές, ώστε να μπορούν να περιγράψουν το γνωστικό επίπεδο του μαθητή σε διάφορες χρονικές στιγμές και κατ' επέκταση την εξέλιξη της γνώσης του μαθητή.

3.3 Αναπαράσταση της Γνώσης του Μαθητή

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση του μοντέλου του μαθητή έχει μεγάλη επίδραση στις δυνατότητες προσαρμοστικότητας του ΕΔΣ. Κατά συνέπεια, στη βιβλιογραφία των ΕΔΣ έχουν χρησιμοποιηθεί πολλοί τρόποι για την αναπαράσταση της γνώσης του μαθητή. Καμία από τις μεθόδους αυτές δεν θεωρείται η καλύτερη δυνατή. Αντ' αυτού, υπάρχουν ενδείξεις ότι ο συνδυασμός διαφορετικών τρόπων αναπαράστασης μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα στην ικανότητα μοντελοποίησης μαθητών του ΕΔΣ (Stevens & Collins 1980). Οι πιο συχνές αναπαραστάσεις είναι με τη χρήση *μοντέλων επίστρωσης* (overlay model), με τη βοήθεια *μοντέλων παρεκκλίσεων* (perturbation models) και με *μοντέλα περιορισμών* (constraint-based models).

3.3.1 Μοντέλα Επίστρωσης

Τα *μοντέλα επίστρωσης* (Carr & Goldstein 1977) είναι ο πιο διαδεδομένος τρόπος αναπαράστασης του μοντέλου ενός μαθητή. Σε ένα μοντέλο επίστρωσης, ο μαθητής μοντελοποιείται μόνο σε σχέση με το γνωστικό πεδίο του ΕΔΣ. Συγκεκριμένα, η γνώση του μαθητή θεωρείται ως ένα υποσύνολο της γνώσης ενός εμπειρογνώμονα και ο στόχος της διδακτικής διαδικασίας είναι να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή σύγκλιση αυτών των δύο συνόλων. Η συγκεκριμένη προσέγγιση βασίζεται στην υπόθεση ότι οι διαφορές στη συμπεριφορά του μαθητή σε σχέση με το γνωστικό πεδίο του ΕΔΣ μπορούν να ερμηνευτούν με βάση κάποια έλλειψη στη γνώση του μαθητή.

Καθώς ο μαθητής πραγματοποιεί κάποιες ενέργειες, οι οποίες υποδηλώνουν στο ΕΔΣ ότι έχει κατανοήσει κάποια θεωρητική έννοια του γνωστικού πεδίου, αυτό

καταγράφεται στο μοντέλο του μαθητή. Κάποια πιο σύνθετα μοντέλα επιστροφής μπορούν επίσης να διατηρούν διαφορετικές τιμές, οι οποίες υποδηλώνουν το βαθμό στον οποίο ο μαθητής έχει κατανοήσει τη συγκεκριμένη έννοια. Μία διαγραμματική αναπαράσταση του τρόπου με τον οποίο αναπαρίσταται το μοντέλο του μαθητή με βάση τα μοντέλα επιστροφής παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1: Αναπαράσταση γνώσης του μαθητή σε μοντέλο επιστροφής.

Το βασικό πλεονέκτημα της αναπαράστασης αυτής είναι η απλότητα του μοντέλου. Παρόλα αυτά, τα μοντέλα επιστροφής θέτουν ένα πολύ ισχυρό περιορισμό στις ικανότητες συμπερασματολογίας του ΕΔΣ. Συγκεκριμένα, το ΕΔΣ μπορεί να μοντελοποιήσει μόνο ελλείψεις στη γνώση του μαθητή και όχι την πιθανότητα ο μαθητής να έχει μία λανθασμένη άποψη της γνώσης. Επιπρόσθετα, τα μοντέλα αυτά βασίζονται στη μοντελοποίηση του γνωστικού πεδίου. Στην περίπτωση που το γνωστικό πεδίο είναι ατελές, περιορίζεται και η ικανότητα του ΕΔΣ να ερμηνεύει τη συμπεριφορά του μαθητή (Bertels 1994). Παραδείγματα συστημάτων που χρησιμοποιούν μοντέλα επιστροφής για την αναπαράσταση της γνώσης του μαθητή είναι το SCHOLAR (Carbonell 1970), τα συστήματα SOPHIE (Brown et al. 1982), το WUSOR (Goldstein 1982), το GUIDON (Clansey 1987), και το SAFARI (Nkambou et al. 1996).

Μία διαφοροποίηση του μοντέλου επιστροφής είναι η *διαφορική μοντελοποίηση*. Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή, το μοντέλο του μαθητή συγκρίνεται με κάποιο μοντέλο που περιγράφει τι θα έκανε ένας ειδικός στο διδασκόμενο αντικείμενο σε κάποια ανάλογη κατάσταση. Στην περίπτωση αυτή, το γνωστικό πεδίο χωρίζεται σε δύο κατηγορίες: α) τη γνώση που πρέπει να κατέχει ο μαθητής και β) τη γνώση που το ΕΔΣ δεν περιμένει να κατέχει ο μαθητής. Με βάση αυτό το διαχωρισμό, τα μοντέλα των μαθητών που βασίζονται σε διαφορική μοντελοποίηση δε δίνουν τον

ίδιο βαθμό ποινής για λανθασμένη συμπεριφορά του μαθητή, όταν αυτός δεν αναμενόταν να γνωρίζει κάποια θεωρητική έννοια.

Όμοια με τα μοντέλα επίστρωσης, και η διαφορική μοντελοποίηση θεωρεί τη γνώση του μαθητή ως υποσύνολο του γνωστικού πεδίου και κατά συνέπεια θέτει τους ίδιους περιορισμούς στη διαγνωστική ικανότητα του ΕΔΣ. Ένα σύστημα που χρησιμοποιεί διαφορική μοντελοποίηση για την αναπαράσταση της γνώσης του μαθητή είναι το WEST (Burton & Brown 1982).

3.3.2 Μοντέλα Παρεκκλίσεων

Τα μοντέλα παρεκκλίσεων προέκυψαν ως μία προσπάθεια να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα των μοντέλων επίστρωσης και συγκεκριμένα η αδυναμία τους να μοντελοποιούν τυχόν λανθασμένη γνώση του μαθητή. Τα μοντέλα παρεκκλίσεων βασίζονται στη θεωρία λαθών (theory of bugs). Η βασική ιδέα της θεωρίας λαθών είναι ότι τα σφάλματα προκύπτουν εξαιτίας κάποιας σωστής εκτέλεσης μίας λανθασμένης διαδικασίας. Η υπόθεση ότι ο μαθητής, εκτός του γεγονότος ότι κατέχει λιγότερες γνώσεις, έχει το ίδιο σκεπτικό με τον εμπειρογνώμονα καταρripτεται με βάση τη συγκεκριμένη θεωρία. Έτσι, σύμφωνα με τα μοντέλα παρεκκλίσεων, η γνώση του μαθητή θεωρείται ως μία διαταραγμένη μετατόπιση της γνώσης του εμπειρογνώμονα (Εικόνα 3.2), οδηγώντας συνεπώς το μαθητή σε λανθασμένη ή αναποτελεσματική συμπεριφορά κατά την επίλυση προβλημάτων.



Εικόνα 3.2: Αναπαράσταση γνώσης του μαθητή σύμφωνα με το μοντέλο παρεκκλίσεων.

Μία συνήθης υλοποίηση αυτής της μεθόδου αναπαράστασης του μαθητή προϋποθέτει αρχικά την κωδικοποίηση του γνωστικού πεδίου και στη συνέχεια την προσθήκη γνώσης σχετικά με τα συνήθη λάθη των μαθητών (Kass 1989). Η γνώση που αφορά στα συνήθη λάθη των μαθητών αποθηκεύεται σε βιβλιοθήκες σφαλμάτων

(bug libraries). Υπάρχουν τρεις βασικές προσεγγίσεις στην κατασκευή και την αναπαράσταση της βιβλιοθήκης οφθαλμάτων: α) η *απαριθμητική* (enumerative), β) η *παραγωγική* (generative) και γ) η *επανακατασκευαστική* (reconstructive) προσέγγιση.

Απαριθμητική Προσέγγιση

Σύμφωνα με την απαριθμητική προσέγγιση πριν την κατασκευή της βιβλιοθήκης οφθαλμάτων πραγματοποιούνται εκτενείς εμπειρικές μελέτες, με βάση τις οποίες αναγνωρίζονται τα συνηθέστερα λάθη που πραγματοποιούν οι μαθητές κατά την επίλυση προβλημάτων του διδασκόμενου γνωστικού αντικείμενου. Στη συνέχεια τα λάθη αυτά κωδικοποιούνται χειρωνακτικά από τον κατασκευαστή του ΕΔΣ στη βιβλιοθήκη οφθαλμάτων του συστήματος. Κατά συνέπεια, η γνώση του μαθητή θεωρείται ως ένα υποσύνολο του συνδυασμού της ορθής γνώσης που περιέχεται στο γνωστικό πεδίο και της γνώσης που αφορούν στα συνηθισμένα λάθη των μαθητών που περιέχεται στη βιβλιοθήκη οφθαλμάτων. Σύμφωνα με τη Ragnemalm (1996), η προσέγγιση έχει ονομαστεί και εκτεταμένο μοντέλο επίστρωσης (extended overlay model).

Εάν ένα σύστημα αυτής της μορφής είναι ικανό να αναπαράγει τις εσφαλμένες συμπεριφορές του μαθητή κατά την επίλυση ενός προβλήματος, θεωρείται ότι έχει κατασκευαστεί ένα βαθιά δομημένο μοντέλο, το οποίο επεξηγεί τα σφάλματα του μαθητή από την άποψη των εσωτερικά μοντελοποιημένων οφθαλμάτων. Παρόλα αυτά, η κατασκευή μιας πλήρους βιβλιοθήκης οφθαλμάτων είναι σχεδόν αδύνατη, αφού παρουσιάζεται ιδιαίτερη δυσκολία στη συλλογή του συνόλου των οφθαλμάτων που δύνανται να εμφανιστούν κατά την επίλυση κάποιου προβλήματος. Επιπλέον, η διεξαγωγή εμπειρικών μελετών για την κατασκευή τέτοιων βιβλιοθηκών είναι μία επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία. Τέλος, η ποιότητα της ανάλυσης των οφθαλμάτων για την κατασκευή του μοντέλου του μαθητή σύμφωνα με το μοντέλο απαρίθμησης λαθών εξαρτάται άμεσα τόσο από τα πολλαπλά μονοπάτια επίλυσης ενός προβλήματος, όσο και από την πληρότητα της βιβλιοθήκης οφθαλμάτων. Παρόλα αυτά, με την προσεκτική κατασκευή της βιβλιοθήκης οφθαλμάτων, η συγκεκριμένη προσέγγιση είναι αρκετά αποδοτική, ιδιαίτερα όταν το διδασκόμενο αντικείμενο είναι σχετικά απλό (π.χ. αριθμητικές πράξεις, δυνάμεις αριθμών).

Κάποια παραδείγματα ΕΔΣ που υιοθέτησαν το μοντέλο απαρίθμησης λαθών είναι το BUGGY (Brown & Burton 1978), το PROUST (Johnson & Soloway 1984), και το EasyMath (Virvou & Tsiriga 2000a).

Σύμφωνα με την παραγωγική προσέγγιση, η παραγωγή και η επεξήγηση των σφαλμάτων των μαθητών γίνεται με βάση κάποιο γνωστικό μοντέλο (cognitive model). Για παράδειγμα, το σύστημα SIERRA (VanLehn 1983) βασίζεται στη θεωρία REPAIR, για να εξάγει γενικούς κανόνες σχετικά με τις διαδικασίες που ακολουθούν οι μαθητές όταν κάνουν λάθος. Συγκεκριμένα, με βάση τη θεωρία αυτή, η λανθασμένη συμπεριφορά προκύπτει από κάποια εσφαλμένη βασική διαδικασία που ακολουθεί ο μαθητής. Όταν η διαδικασία που ακολουθεί ο μαθητής αποτύχει, τότε αυτός οδηγείται σε κάποιο αδιέξοδο, το οποίο προσπαθεί να ξεπεράσει επινοώντας μία τοπική «διόρθωση» (repair).

Οι εσφαλμένες βασικές διαδικασίες προκύπτουν από λανθασμένη επαγωγική διαδικασία, η οποία λαμβάνει χώρα όταν τα παραδείγματα που παρέχονται στο μαθητή δεν ικανοποιούν κάποιες «συνθήκες ευστοχίας» (felicity conditions). Η θεωρία REPAIR του VanLehn περιγράφει τις συνθήκες διδασκαλίας, οι οποίες οδηγούν σε κατάλληλη συμπερασματολογία από την πλευρά του μαθητή, έτσι ώστε ο μαθητής να μην οδηγείται στη χρησιμοποίηση λανθασμένων βασικών κανόνων.

Ενώ το SIERRA χρησιμοποιεί ίσως την πιο πλήρη θεωρία σχετικά με τον τρόπο που οι μαθητές οδηγούνται σε λάθη, στοχεύει μόνο στην εδραίωση ενός γνωστικού μοντέλου και είναι κατά συνέπεια μία προσομοίωση του τρόπου που οι μαθητές οδηγούνται σε εσφαλμένη συμπεριφορά.

Ένα άλλο παράδειγμα παραγωγικής μοντελοποίησης έχει προταθεί από τη Marz (1982). Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία παραγωγής λαθών, τα σφάλματα των μαθητών οφείλονται στην εφαρμογή κάποιων γενικών τεχνικών συμπερασματολογίας που είναι ορθές για ένα πεδίο το οποίο είναι γνωστό στο μαθητή, αλλά όχι για κάποιο άλλο πεδίο. Οι συγκεκριμένες τεχνικές συμπερασματολογίας μπορεί να ήταν σωστές αν ο μαθητής τις εφάρμοζε υπό διαφορετικές συνθήκες.

Παρόλο που σύμφωνα με την παραγωγική προσέγγιση δεν απαιτούνται εκ των προτέρων ορισμένες βιβλιοθήκες σφαλμάτων, θεωρείται απαραίτητο τα ΕΔΣ που χρησιμοποιούν τέτοιες μεθόδους να ενσωματώνουν κάποιο μηχανισμό φιλτραρίσματος (που είναι προσανατολισμένος στο διδασκόμενο αντικείμενο). Αυτός ο μηχανισμός θα περιορίζει την εμφάνιση απίθανων σφαλμάτων. Επιπλέον, ο ορισμός κάποιας παραγωγικής θεωρίας σφαλμάτων είναι μια ιδιαίτερα δύσκολη εργασία, κυρίως εξαιτίας της έλλειψης κάποιας θεμελιωμένης θεωρίας του τρόπου με τον οποίο οι άνθρωποι μαθαίνουν (de Koning et al. 2000).

Η επιανακατασκευαστική προσέγγιση στην κατασκευή βιβλιοθήκης σφαλμάτων, βασίζεται σε γενικά μοντέλα του γνωστικού πεδίου μέσω των οποίων μπορεί να παραχθεί τόσο η ορθή όσο και η λανθασμένη συμπεριφορά των μαθητών (Horpe 1994). Συνήθως η προσέγγιση αυτή χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση μοντέλων μαθητών σε γνωστικά αντικείμενα που μπορούν να περιγραφούν με τη μορφή ενός συνόλου διαδικασιών. Στην περίπτωση αυτή, στο γνωστικό πεδίο αποθηκεύονται πληροφορίες σχετικά με τα βασικά βήματα μιας διαδικασίας, καθώς και με την ακολουθία αυτών των βημάτων που πρέπει να χρησιμοποιηθεί ώστε να οδηγηθεί ο μαθητής σε ορθή συμπεριφορά.

Τα συστήματα που χρησιμοποιούν αυτή την προσέγγιση έχουν τη δυνατότητα να αναπαράγουν σφάλματα που εμφανίζονται στη συμπεριφορά κάποιου μαθητή δυναμικά, με την τροποποίηση ενός ή περισσότερων βασικών βημάτων μιας διαδικασίας, ή με την τροποποίηση της ορθής ακολουθίας βημάτων. Το βασικό πρόβλημα της επιανακατασκευαστικής προσέγγισης είναι ότι το γνωστικό πεδίο πρέπει να διασπαστεί σε ένα σύνολο πρωτογενών βημάτων που είναι μία δύσκολη εργασία και ίσως να μην είναι εφαρμόσιμη σε ΕΔΣ που έχουν μη διαδικαστικό γνωστικό αντικείμενο.

Παραδείγματα ΕΔΣ που χρησιμοποιούν την επιανακατασκευαστική προσέγγιση είναι το ACM (Langley & Ohlsson 1984, Langley et al. 1987), το English Tutor (Fum et al. 1992) και το INSTRUCT (Mitrović et al. 1996).

3.3.3 Μοντέλα Περιορισμών

Μια πιο πρόσφατη προσέγγιση στην αναπαράσταση του μοντέλου ενός μαθητή είναι τα μοντέλα περιορισμών (Ohlsson 1994). Σύμφωνα με τη μοντελοποίηση βάσει περιορισμών, τόσο το γνωστικό πεδίο, όσο και το μοντέλο του μαθητή αναπαρίστανται με τη μορφή περιορισμών. Ένας περιορισμός χαρακτηρίζεται από έναν *όρο συνάφειας* (relevance clause) και από έναν *όρο ικανοποίησης* (satisfaction clause). Για να συσχετιστεί ένας περιορισμός με τη λύση σε κάποιο πρόβλημα, θα πρέπει ο όρος συνάφειας να αληθεύει. Στην περίπτωση αυτή, εάν ο όρος ικανοποίησης είναι και αυτός αληθής, τότε η συγκεκριμένη λύση είναι σωστή. Διαφορετικά (εάν ο όρος ικανοποίησης δεν αληθεύει), παρουσιάζεται παραβίαση του περιορισμού και κατά συνέπεια ο μαθητής έχει οδηγηθεί σε εσφαλμένη συμπεριφορά.

Οι περιορισμοί που συνθέτουν το γνωστικό πεδίο μπορούν να θεωρηθούν ως ένα σύνολο κανόνων της μορφής «Εάν ο όρος *συνάφειας* είναι αληθής, τότε ο όρος *ικανοποίησης* πρέπει να είναι επίσης αληθής». Εναλλακτικά, οι περιορισμοί μπορούν να θεωρηθούν και ως μία έμμεση βιβλιοθήκη ασφαμάτων. Σε αυτή την περίπτωση, οι περιορισμοί είναι κανόνες της μορφής «Εάν ο όρος *ικανοποίησης* δεν αληθεύει, παρόλο που ο όρος *συνάφειας* είναι αληθής, τότε ο μαθητής έχει κάνει λάθος».

Με βάση τα μοντέλα περιορισμών, το μοντέλο του εκάστοτε μαθητή περιλαμβάνει το σύνολο των περιορισμών που έχει παραβιάσει ο μαθητής και οι οποίοι είναι συσχετισμένοι με τις θεματικές ενότητες του γνωστικού πεδίου που δεν γνωρίζει σε ικανοποιητικό βαθμό ο μαθητής. Ο Ohlsson αναφέρει επίσης ότι είναι επικίνδυνο να θεωρεί το ΕΔΣ ότι όλοι οι περιορισμοί που δεν έχουν παραβιαστεί αντιστοιχούν σε θεματικές ενότητες που γνωρίζει καλά ο μαθητής. Αυτό συμβαίνει διότι ο μαθητής μπορεί να μην έχει παραβιάσει κάποιους περιορισμούς με βάση κάποιες εικασίες, χωρίς να έχει πλήρη κατανόηση της σχετικής θεματικής ενότητας. Παρόλα αυτά, όταν ένας περιορισμός έχει παραβιαστεί, τότε αυτό συνεπάγεται πάντοτε είτε μια ασυνεπή πεποίθηση, είτε ένα λάθος του μαθητή (Martin 1999).

Παραδείγματα ΕΔΣ που χρησιμοποιούν την προσέγγιση των περιορισμών για την αναπαράσταση των μοντέλων μαθητών είναι το SQL-Tutor (Mitrovic & Ohlsson 1999), το CAPIT (Mayo & Mitrovic 2001), το DiscoverNet (Belkada et al. 2001) και το KERMIT (Suraweera & Mitrovic 2002).

3.4 Μηχανισμοί Κατασκευής Μοντέλων

Το υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών ενός ΕΔΣ πραγματοποιεί δύο βασικές λειτουργίες (Nwana, 1991):

- ✧ αρχικοποίηση του μοντέλου ενός μαθητή που χρησιμοποιεί για πρώτη φορά το ΕΔΣ και
- ✧ ενημέρωση του μοντέλου του μαθητή με βάση τις ενέργειές του καθώς αλληλεπιδρά με το ΕΔΣ.

3.4.1 Αρχικοποίηση του Μοντέλου

Η αρχικοποίηση του μοντέλου ενός μαθητή έχει εξαιρετικά μεγάλη σημασία για ένα ΕΔΣ. Η σημασία της αρχικοποίησης έγκειται στο γεγονός ότι είναι παράλογο να θεωρείται ότι όλοι οι μαθητές που καλούνται να χρησιμοποιήσουν το σύστημα έχουν

αρχικά το ίδιο επίπεδο γνώσης όσον αφορά στο διδασκόμενο αντικείμενο. Επιπλέον, κάποιος μαθητής μπορεί να αποθαρρυνθεί εάν ένα ΕΔΣ που έχει ως στόχο να τον βοηθή απαιτεί πολύ χρόνο έως ότου αρχίσει να του παρουσιάζει βοηθητικά μηνύματα που είναι προσαρμοσμένα στο πραγματικό του γνωστικό επίπεδο και τις αδυναμίες του.

Οι Aïmeur et al. (2002) διακρίνουν τρεις δυνατές προσεγγίσεις στην διαδικασία αρχικοποίησης του μοντέλου ενός μαθητή:

- ❖ Το ΕΔΣ μπορεί να θεωρήσει ότι ο μαθητής δεν γνωρίζει τίποτε ή έχει κάποια συγκεκριμένη γνώση (ίδια για όλους τους μαθητές) όσον αφορά στο γνωστικό αντικείμενο που διδάσκεται.
- ❖ Η προηγούμενη γνώση του μαθητή μπορεί να αξιολογηθεί με τη βοήθεια ενός διαγνωστικού τεστ.
- ❖ Το ΕΔΣ μπορεί να χρησιμοποιήσει κάποια πρότυπα μαθητών, με σκοπό την ομαδοποίηση των μαθητών που έχουν παρόμοιο επίπεδο γνώσης σε κατηγορίες.

Για λόγους απλότητας, υπάρχουν πολλά ΕΔΣ που αντιμετωπίζουν το θέμα της αρχικοποίησης του μοντέλου ενός μαθητή, κάνοντας την υπόθεση ότι όλοι οι μαθητές που χρησιμοποιούν για πρώτη φορά το ΕΔΣ ξεκινούν με το ίδιο γνωστικό υπόβαθρο. Συγκεκριμένα, τα περισσότερα ΕΔΣ που ακολουθούν αυτή την προσέγγιση, θεωρούν ότι οι μαθητές είτε δεν γνωρίζουν τίποτε είτε έχουν κάποιο συγκεκριμένο επίπεδο γνώσης σχετικά με το διδασκόμενο αντικείμενο. Παραδείγματα συστημάτων που αρχικοποιούν το μοντέλο ενός νέου μαθητή κάνοντας την υπόθεση ότι αυτός δεν γνωρίζει τίποτε σχετικά με το γνωστικό αντικείμενο που διδάσκεται είναι αυτά που περιγράφονται στις εργασίες da Silva et al. (1997, 1998) και Tchétagní & Nkambou (2002). Ένα παράδειγμα συστήματος που θεωρεί ότι όλοι οι μαθητές που το χρησιμοποιούν για πρώτη φορά έχουν κάποια συγκεκριμένη γνώση σχετικά με το διδασκόμενο αντικείμενο είναι το German Tutor (Heift & Nicholson 2000, 2001).

Ο άμεσος τρόπος αρχικοποίησης του μοντέλου ενός μαθητή πραγματοποιείται με τη χρήση εκτενών διαγνωστικών τεστ, τα οποία περιέχουν ερωτήσεις που σχετίζονται με το σύνολο των εννοιών του γνωστικού πεδίου που διδάσκεται. Η προσέγγιση αυτή θα μπορούσε να είναι εφαρμόσιμη σε περιπτώσεις που το διδασκόμενο αντικείμενο είναι αρκετά περιορισμένο. Παρόλα αυτά σε περιπτώσεις ευρύτερων γνωστικών πεδίων, η χρήση της μεθόδου αυτής θα απαιτούσε από το μαθητή να απαντά σε

ερωτήσεις για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα πριν μπορέσει να χρησιμοποιήσει το σύστημα. Αυτό είναι ανεπιθύμητο, διότι απαιτεί από τους χρήστες αρκετή επιπλέον προσπάθεια πριν από τη χρήση του συστήματος, με κίνδυνο πολλές φορές ο χρήστης να βαρεθεί (Schwab & Kobsa 2002). Μία εναλλακτική προσέγγιση που μειώνει τον αριθμό των ερωτήσεων που απαιτούνται για την εκτίμηση του γνωστικού επιπέδου του μαθητή είναι η χρήση προσαρμοστικών διαγνωστικών τεστ. Τα προσαρμοστικά διαγνωστικά τεστ λαμβάνουν αποφάσεις σχετικά με το ποιά επόμενη ερώτηση πρέπει να τεθεί και πότε πρέπει να ολοκληρωθεί το τεστ, με βάση τις απαντήσεις του μαθητή σε προηγούμενες ερωτήσεις (Guzman & Conejo 2002). Εξαιτίας του γεγονότος ότι με τα προσαρμοστικά διαγνωστικά τεστ, το σύστημα εξάγει συμπεράσματα αναφορικά με τη γνώση του μαθητή σε μία θεωρητική έννοια, βάσει της απάντησής του σε ερωτήσεις που σχετίζονται με κάποιες άλλες έννοιες, τα τεστ αυτά θα πρέπει να είναι πολύ προσεκτικά σχεδιασμένα. Στην περίπτωση που τα συμπεράσματα που εξάγονται δεν ισχύουν για κάποιο μαθητή, ή αν οι απαντήσεις που δίνει είναι εικασίες ή λάθη απροσεξίας, τότε η ακρίβεια του αρχικού μοντέλου του μαθητή μειώνεται αισθητά. Παραδείγματα ΕΔΣ που χρησιμοποιούν προσαρμοστικό τεστ για την ανάθεση αρχικών τιμών στο μοντέλο του μαθητή είναι το MATHPERT (Beeson 1989) και το EDUCO (Kurhila et al. 2001).

Μία πολύ διαδεδομένη προσέγγιση για την αρχικοποίηση του μοντέλου μαθητή είναι η χρήση στερεοτύπων. Τα στερεότυπα πρωτοπαρουσιάστηκαν στο σύστημα GRUNDY (Rich 1979, 1983), το οποίο βάσει των πεποιθήσεων που έχει για τον χρήστη, προσπαθεί να του προτείνει ένα βιβλίο που θα έβρισκε ενδιαφέρον. Έκτοτε, τα στερεότυπα έχουν χρησιμοποιηθεί σε ένα μεγάλο αριθμό ΕΔΣ για την αρχικοποίηση του μοντέλου μαθητή (π.χ. Bontcheva 2002, Garofalakis et al. 2002, Prentzas et al. 2001, Virvou & Moundridou 2001b). Σύμφωνα με τη μέθοδο των στερεοτύπων, το σύστημα χρησιμοποιεί κάποιες αρχικές εντυπώσεις ώστε να κατασκευάσει ένα λεπτομερές μοντέλο για το μαθητή (Kay 2000). Αυτό πραγματοποιείται με τη χρήση κάποιων προκαθορισμένων υποθέσεων (default assumptions). Παρόλο που τα στερεότυπα είναι πολύ αποτελεσματικά στην παροχή αρκετής πληροφορίας με βάση πολύ μικρό αριθμό παρατηρήσεων, δεν επιτρέπουν την κατασκευή μοντέλων μαθητή με μεγάλη ακρίβεια. Η αποτελεσματικότητα της προσέγγισης αυτής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των στερεοτύπων, την ακρίβεια με την οποία κατηγοριοποιείται κάποιος χρήστης σε κάποιο στερεότυπο και την ποιότητα των συμπερασμάτων που εξάγονται (Kobsa et al. 2001).

Κατά συνέπεια, πριν την ενσωμάτωση των στερεοτύπων, οι κατασκευαστές ενός ΕΔΣ θα πρέπει να διεξάγουν εκτενείς εμπειρικές μελέτες για να εξασφαλίσουν την καταλληλότητα των στερεοτύπων. Επιπρόσθετα, ένα άλλο πρόβλημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η έλλειψη ευελιξίας της. Αυτό έγκειται στο γεγονός ότι τα στερεότυπα, στις περισσότερες περιπτώσεις, κατασκευάζονται χειρωνακτικά πριν τη χρήση του ΕΔΣ από τελικούς χρήστες και δεν ενημερώνονται εκτός και αν τα τροποποιήσει ρητά κάποιος από τους κατασκευαστές του ΕΔΣ.

Μία ενδιαφέρουσα παραλλαγή της προσέγγισης των στερεοτύπων είναι αυτή που παρουσιάζεται στο Aïmeur et al. (2002). Συγκεκριμένα, παρουσιάζουν ένα εργαλείο μηχανικής μάθησης για την αρχικοποίηση του μοντέλου ενός νέου μαθητή που ονομάζεται CLARISSE. Το εργαλείο αυτό χρησιμοποιεί μια προσέγγιση θεμελιώδους ομαδοποίησης (conceptual clustering) για να καθορίζει κατηγορίες σε ένα αρχικό σύνολο μαθητών. Με βάση τις κατηγορίες που ορίζονται, το σύστημα εξάγει συμπεράσματα σχετικά με γενικευμένους κανόνες που ισχύουν για το σύνολο των μαθητών της συγκεκριμένης κατηγορίας και χρησιμοποιεί τους κανόνες αυτούς για την κατηγοριοποίηση νέων μαθητών.

3.4.2 Ενημέρωση του Μοντέλου

Εξαιτίας της εξελισσόμενης φύσης της διαδικασίας της μάθησης, είναι αναμενόμενο η γνώση του μαθητή να τροποποιείται καθώς αυτός διδάσκεται το αντικείμενο μέσω της αλληλεπίδρασής του με το ΕΔΣ. Κατά συνέπεια, το μοντέλο του μαθητή θα πρέπει να ενημερώνεται κάθε φορά που η συμπεριφορά του μαθητή υποδηλώνει κάποια αλλαγή στις πεποιθήσεις και το γνωστικό επίπεδο αυτού.

Σύμφωνα με τη Vassileva (1997b), η ενημέρωση του μοντέλου του μαθητή συνίσταται σε δύο βασικά προβλήματα:

- ✧ *διάγνωση της γνώσης του μαθητή* (student knowledge diagnosis) και
- ✧ *διατήρηση της συνέπειας* (consistency maintenance) στο μοντέλο του μαθητή.

Η Ragnemalm (1996) θεωρεί τη διάγνωση της γνώσης του μαθητή ως μία διαδικασία κατά την οποία επιχειρείται μία γεφύρωση του χάσματος μεταξύ της πληροφορίας που εισάγει ο μαθητής στο ΕΔΣ και της πληροφορίας που διατηρείται στο γνωστικό πεδίο αυτού. Επιπρόσθετα, χωρίζει αυτή τη διαδικασία σε τρεις φάσεις:

1. *Απόκτηση δεδομένων (data acquisition)*. Σε αυτή τη φάση, το ΕΔΣ συλλέγει τα δεδομένα που αποτελούν την πηγή για την πραγματοποίηση της διάγνωσης. Σύμφωνα με τους Kobsa et al. (2001), υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός πηγών από τις οποίες μπορεί να αποκτηθεί πληροφορία σχετικά με το χρήστη:
 - ❖ Υποθέσεις εξ ορισμού (Default Assumptions), οι οποίες είναι πεποιθήσεις σχετικά με συγκεκριμένα γεγονότα, γενική γνώση και στόχους που μπορούν να αποδοθούν σε οποιονδήποτε χρήστη, εκτός αν υπάρχει κάποια ένδειξη για το αντίθετο.
 - ❖ Άμεση έκφραση κάποιας πεποίθησης, ενός στόχου ή ενδιαφέροντος από τον ίδιο το χρήστη.
 - ❖ Έμμεση έκφραση κάποιας πεποίθησης, ενός στόχου ή ενδιαφέροντος. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, το σύστημα παρακολουθεί τις κινήσεις του χρήστη και προσπαθεί να εξάγει κάποια συμπεράσματα γι' αυτόν.
2. *Μετασχηματισμός (transformation)*. Αυτή η φάση αναφέρεται στη διαδικασία ανάλυσης των δεδομένων που αποκτήθηκαν ώστε να εξαχθεί κάποια πληροφορία που θα χρησιμεύσει στην αξιολόγηση των ικανοτήτων του μαθητή.
3. *Αξιολόγηση (Evaluation)*. Στη φάση της αξιολόγησης, με βάση την ανάλυση που έγινε στη συμπεριφορά του μαθητή, το ΕΔΣ προσπαθεί να αξιολογήσει το γνωστικό επίπεδο αυτού σε σχέση με την προσποθηκευμένη πληροφορία για την ορθή και τη λανθασμένη γνώση. Στην ενότητα 3.3 έγινε μία εκτενής παρουσίαση των τρόπων που χρησιμοποιούνται από διάφορα ΕΔΣ για την πραγματοποίηση αυτής της διάγνωσης (απαριθμητική, παραγωγική, επανακατασκευαστική μοντελοποίηση).

Μία δυσκολία που προκύπτει κατά την ενημέρωση του μοντέλου του μαθητή είναι η εμφάνιση αντιφάσεων στις πεποιθήσεις του μαθητή. Σύμφωνα με τους Koro et al. (1994), οι αντιφάσεις στη συμπεριφορά του μαθητή μπορούν να προκαλούνται από τις εξής αιτίες:

- ❖ *Ο μαθητής μπορεί να μαθαίνει ή να ξεχνά:* όταν ο μαθητής μάθει κάτι νέο ή ξεχάσει κάποια γνώση που κατείχε, τότε παρουσιάζεται ασυνέπεια στη συμπεριφορά του και στη συμπεριφορά που αναμένεται από το ΕΔΣ με βάση το μοντέλο του.

- ❖ *Ανακρίβειες στο μοντέλο του μαθητή*: οι υποθέσεις που έχει κάνει το σύστημα σε σχέση με τις ενέργειες του μαθητή μπορεί να μην ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα (π.χ. το αρχικό μοντέλο του μαθητή μπορεί να μην ανταποκρίνεται στο πραγματικό).
- ❖ *Λάθη απροσεξίας*: στην περίπτωση που κάποια συμπεριφορά του μαθητή δεν ανταποκρίνεται στο μοντέλο αυτού, η συμπεριφορά αυτή θα μπορούσε να προκληθεί από κάποιο λάθος απροσεξίας.
- ❖ *Ασυνέπεια του μαθητή*: ο μαθητής μπορεί να έχει πραγματικά αντιφατικές πεποιθήσεις.

Κάθε φορά που το ΕΔΣ εντοπίζει την ύπαρξη κάποιας ασυνέπειας, τότε πρέπει να αναθεωρεί τις υποθέσεις του σχετικά με το μαθητή και να ενημερώνει κατάλληλα το προσωπικό του μοντέλου. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται διατήρηση του μοντέλου του μαθητή (*student model maintenance*).

Εξαιτίας του γεγονότος ότι το πρόβλημα της διατήρησης συνέπειας του μοντέλου του μαθητή μπορεί να θεωρηθεί ως ένα πρόβλημα αναθεώρησης ενός συνόλου πεποιθήσεων (*belief set*) ώστε να αποκατασταθεί η συνέπεια, έχει αντιμετωπιστεί από πολλά ΕΔΣ με τη χρήση επεκτάσεων των κλασικών μεθόδων της τεχνητής νοημοσύνης για τη διατήρηση της αλήθειας (π.χ. Huang et al 1991, Kono et al. 1994). Τα συστήματα διατήρησης της αλήθειας (*truth maintenance systems*) έχουν τη δυνατότητα να εντοπίζουν τον τρόπο με τον οποίο κάποια νέα πληροφορία συγκρούεται με υπάρχουσες πληροφορίες σε ένα μοντέλο κάποιου μικρόκοσμου (που αναπαρίσταται με τη βοήθεια προτασιακής λογικής). Επιπλέον, το πρόβλημα της κατασκευής ενός συνεπούς μοντέλου με βάση το σύνολο των συμπεριφορών ενός μαθητή έχει αντιμετωπιστεί και με τη βοήθεια τεχνικών μηχανικής μάθησης. Ο τρόπος που οι τεχνικές αυτές έχουν ενσωματωθεί σε κάποια ΕΔΣ περιγράφεται εκτενέστερα στην ενότητα 3.5.

Το γεγονός ότι ένα ΕΔΣ προσπαθεί να εξάγει συμπεράσματα σχετικά με κάποιο μαθητή βασιζόμενο πολλές φορές σε «αβέβαια» γεγονότα, οδηγεί πολλά ΕΔΣ στη χρήση στατιστικών και πιθανοτικών μεθόδων για να εξάγουν συμπεράσματα υπό συνθήκες αβεβαιότητας. Για παράδειγμα, τα ΕΔΣ HYDRIVE (Milsevy & Gitomer 1996), ANDES (Conati et al. 1997) και CAPIT (Mayo & Mitrovic 2000) χρησιμοποιούν δίκτυα Bayes για τη μοντελοποίηση των μαθητών, ενώ τα SYPROS (Herzog 1994) και

INSPIRE (Grigoriadou et al. 2002) χρησιμοποιούν τεχνικές ασαφούς λογικής (fuzzy logic) για τη συμπερασματολογία υπό συνθήκες αβεβαιότητας.

3.5 Μοντελοποίηση μέσω Μηχανικής Μάθησης

Οι Sison & Shimura (1998) παρέχουν μία πολύ εκτενή ανασκόπηση των τεχνικών μηχανικής μάθησης και των συστημάτων που τις χρησιμοποιούν για τη μοντελοποίηση μαθητών. Σύμφωνα με αυτούς, διάφορες τεχνικές μηχανικής μάθησης έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα σε δύο βασικούς τομείς της μοντελοποίησης μαθητών:

- ❖ για την κατασκευή ενός συνεπούς μοντέλου του μαθητή με βάση το σύνολο των ενεργειών του μαθητή, όπως τις έχει καταγράψει το ΕΔΣ, και
- ❖ για την αυτοματοποιημένη επέκταση ή κατασκευή εξ αρχής της βιβλιοθήκης σφαλμάτων που χρησιμοποιεί το υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών ενός ΕΔΣ.

Παραδείγματα συστημάτων που χρησιμοποιούν μηχανική μάθηση για την κατασκευή ενός μοντέλου από πολλές παρατηρήσεις της χρήσης του ΕΔΣ από κάποιο μαθητή είναι το DEBUGGY (Burton 1982), το ACM (Langley & Ohlsson 1984, Langley et al. 1987) και το THEMIS (Kono et al. 1994). Κάποια από τα συστήματα που χρησιμοποιούν τεχνικές μηχανικής μάθησης για την κατασκευή ή την επέκταση της βιβλιοθήκης σφαλμάτων είναι το PIXIE (Sleeman 1987), το σύστημα που περιγράφεται στο (Hoppe 1994) και το MEDD (Sison et al. 1998; 2000). Επιπλέον, το σύστημα ASSERT (Baffes & Mooney 1996) χρησιμοποιεί μηχανική μάθηση τόσο για την κατασκευή ενός συνεπούς μοντέλου, όσο και για τη δυναμική κατασκευή της βιβλιοθήκης σφαλμάτων που χρησιμοποιεί.

Σύμφωνα με κάποιες πιο πρόσφατες αναφορές, μέθοδοι μηχανικής μάθησης έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί ώστε να μπορεί το ΕΔΣ να εξάγει συμπεράσματα σχετικά με πληροφορίες που αφορούν στο μαθητή και είναι «υψηλότερου» επιπέδου αφαιρεσης. Για παράδειγμα, το AnimalWatch (Beck & Woolf 2000) χρησιμοποιεί τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης (linear regression) ώστε να «μαθαίνει» να κάνει προβλέψεις σχετικά με το πόσο πιθανό είναι να απαντήσει σωστά ένας μαθητής σε κάποια άσκηση, καθώς και το χρόνο που θα χρειαστεί ο μαθητής για να δώσει τη συγκεκριμένη απάντηση. Οι Moriarty et al. (2001), από την άλλη πλευρά

χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο των k -πλησιέστερων γειτόνων (k -nearest neighbor algorithm) ώστε να προβλέψουν την απάντηση που θα δώσει κάποιος συγκεκριμένος μαθητής σε μία ερώτηση που καλείται να απαντήσει για πρώτη φορά. Αυτό γίνεται με βάση την πληροφορία που διατηρεί το σύστημα σχετικά με τις απαντήσεις γειτονικών μαθητών στη συγκεκριμένη ερώτηση. Ως γειτονικοί μαθητές θεωρούνται αυτοί που έχουν δώσει παρόμοιες απαντήσεις με το μαθητή σε άλλες ερωτήσεις.

3.6 Ανοικτά Ερευνητικά Θέματα στη Μοντελοποίηση της Εξατομικευμένης Μαθησιακής Διαδικασίας

Παρόλο που το ζήτημα της μοντελοποίησης μαθητών απασχόλησε τους ερευνητές της περιοχής από τις πρώτες κιόλας προσπάθειες κατασκευής ΕΔΣ, υπάρχουν ακόμη αρκετά ανοικτά ερευνητικά θέματα σε διάφορα προβλήματα που σχετίζονται με την κατασκευή του μοντέλου ενός μαθητή. Κάποια από τα θέματα αυτά που σχετίζονται άμεσα με την έρευνα της παρούσας διατριβής είναι η αρχικοποίηση του μοντέλου του μαθητή και η αναπαράσταση της εξέλιξης της γνώσης του μαθητή μέσα από τη διδασκαλία. Επιπρόσθετα, ένα άλλο πολύ σημαντικό ζήτημα είναι ότι δεν υπάρχουν πολλά γενικευμένα μοντέλα μαθητών που να μπορούν να εφαρμοστούν σε ΕΔΣ για διαφορετικά γνωστικά πεδία.

Η μοντελοποίηση του μαθητή συνίσταται στην αρχική κατασκευή του μοντέλου ενός μαθητή που αλληλεπιδρά για πρώτη φορά με ένα ΕΔΣ και στην ενημέρωση του μοντέλου αυτού με βάση τις ενέργειες του μαθητή στις επακόλουθες αλληλεπιδράσεις του με το σύστημα (Ragnemalm 1996). Ενώ το θέμα της ενημέρωσης του μοντέλου του μαθητή αποτελεί ζήτημα μείζονος ενδιαφέροντος για τον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης στην Εκπαίδευση (Artificial Intelligence in Education), το ζήτημα της αρχικοποίησης του μοντέλου του μαθητή έχει παραμεληθεί και συχνά αντιμετωπίζεται με τη χρήση τετριμμένων μεθόδων (π.χ. θεώρηση ότι όλοι οι μαθητές έχουν το ίδιο αρχικό μοντέλο). Η χρήση αυτών των μεθόδων δεν είναι κατάλληλη ιδιαίτερα στην περίπτωση των ΔΕΔΣ. Αυτό συμβαίνει γιατί το κοινό στο οποίο απευθύνεται ένα ΔΕΔΣ είναι ευρύτερο από αυτό ενός αυτόνομου ΕΔΣ. Κατά συνέπεια είναι δύσκολο όλοι οι μαθητές να έχουν το ίδιο υπόβαθρο στο διδασκόμενο αντικείμενο.

Επιπλέον, ένα άλλο πολύ σημαντικό ζήτημα κατά τη διαδικασία ενημέρωσης του μοντέλου ενός μαθητή είναι ο παράγοντας χρόνος. Παρόλο που έχει αναγνωριστεί η σημασία της χρονικής παραμέτρου εξαιτίας της εξελικτικής φύσης της διαδικασίας

της μάθησης, πολύ λίγα ΕΔΣ πραγματοποιούν κάποιο διαχωρισμό μεταξύ της «παλιάς» και της «νέας» γνώσης του μαθητή (Giangrandi & Tasso 1996, Chiu & Webb 1998, Webb & Kuzmycz 1998).

Τέλος, μέχρι σήμερα, ο τομέας της μοντελοποίησης μαθητών χαρακτηρίζεται από μία έλλειψη προτυποποίησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην υπάρχουν πολλά γενικευμένα πλαίσια (frameworks) μοντελοποίησης μαθητών. Επιπλέον, τα περισσότερα από τα πλαίσια που έχουν θεσμοθετηθεί είναι είτε άμεσα συσχετισμένα με το αντικείμενο που διδάσκεται από το ΕΔΣ, είτε πολύ γενικά. Τα πλαίσια που είναι συσχετισμένα με το διδασκόμενο αντικείμενο δεν μπορούν εύκολα να εφαρμοστούν σε άλλα γνωστικά πεδία. Τα πολύ γενικά πλαίσια από την άλλη πλευρά, δεν αντιμετωπίζουν τις ιδιαιτερότητες του γνωστικού πεδίου που διδάσκεται από το ΕΔΣ.

4 Από το PVT στο Web-PVT: Μεταφορά ενός ΕΔΣΓ στο Διαδίκτυο

4.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον για την κατασκευή εκπαιδευτικών συστημάτων για τη διδασκαλία κάποιας γλώσσας, ειδικά στην περίπτωση που η γλώσσα που διδάσκεται δεν είναι η μητρική γλώσσα του μαθητή (π.χ. *Bos & van de Plassche 1994, Murphy & McTear 1997, Kunichike et al. 1998, Virvou et al. 2000a*). Παρόλα αυτά, όπως τονίζεται από τους *Murphy & McTear (1997)*, πολλά πακέτα λογισμικού για τη διδασκαλία κάποιας γλώσσας αποτυγχάνουν να παρέχουν εξατομικευμένη διδασκαλία και ευέλικτα διαγνωστικά μηνύματα. Αυτό ισχύει ακόμη περισσότερο για τα συστήματα διδασκαλίας γλωσσών που διατίθενται μέσω του παγκοσμίου ιστού. Όπως προαναφέρθηκε, μέχρι σήμερα, δεν υπάρχουν πολλά ΕΔΣΓ που να λειτουργούν μέσω του παγκοσμίου ιστού, παρόλο που ο τομέας της διδασκαλίας κάποιας ξένης γλώσσας θα μπορούσε να ωφεληθεί ιδιαίτερα από την τεχνολογία του διαδικτύου.

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται ένα ΔΕΔΣΓ, το οποίο ονομάζεται *Web-Passive Voice Tutor (Web-PVT)*. Το *Web-PVT* βασίζεται σε ένα αυτόνομο ΕΔΣΓ που ονομάζεται *Passive Voice Tutor (PVT)*. Στις ενότητες που ακολουθούν, αρχικά περιγράφεται περιληπτικά το *PVT* (ενότητα 4.2). Στη συνέχεια (ενότητα 4.3) παρουσιάζεται η βασική αρχιτεκτονική του *Web-PVT* και οι διάφορες σχεδιαστικές αποφάσεις που ελήφθησαν για τη μεταφορά του αυτόνομου συστήματος στο διαδίκτυο. Στην ενότητα 4.4 περιγράφεται ο τρόπος αναπαράστασης του γνωστικού πεδίου του *Web-PVT*, και η συσχέτισή του με το αντίστοιχο τμήμα του αυτόνομου ΕΔΣΓ. Η ενότητα 4.5 ασχολείται με τη λειτουργικότητα του συστήματος και τις διάφορες προσαρμοστικές αποφάσεις που λαμβάνονται για την υποστήριξη του μαθητή κατά τη μελέτη της θεωρίας και την επίλυση ασκήσεων. Τέλος, παρατίθενται κάποια συμπεράσματα.

4.2 Passive Voice Tutor

Το PVT είναι ένα πολυμεσικό, ευφυές σύστημα διδασκαλίας για την εκμάθηση της παθητικής φωνής της Αγγλικής γραμματικής σε μαθητές που έχουν ως μητρική γλώσσα τα Ελληνικά (Virvou & Maras 1999a, 1999b, Virvou et al. 2000a). Το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους μαθητές ώστε να μελετήσουν θεωρητικά ζητήματα σχετικά με την παθητική φωνή της Αγγλικής γλώσσας, για την παρουσίαση ασκήσεων, τις οποίες καλούνται οι μαθητές να επιλύσουν, καθώς και για την παροχή από τους μαθητές κάποιων ασκήσεων, τις οποίες επιλύει το ΕΔΣΓ.

Η αρχιτεκτονική του PVT βασίζεται στην αρχιτεκτονική των ΕΔΣ που έχει επικρατήσει και τμηματοποιεί το ΕΔΣΓ σε τέσσερα βασικά συστατικά στοιχεία, συγκεκριμένα το γνωστικό πεδίο, το υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών, το υποσύστημα λήψης διδακτικών αποφάσεων και το σύστημα διεπαφής.

Το γνωστικό πεδίο του PVT περιλαμβάνει τη γνώση σχετικά με τις διαδικασίες που απαιτούνται για την μετατροπή μίας πρότασης από την ενεργητική στην παθητική φωνή και το αντίστροφο καθώς και ένα λεξικό Αγγλικών λέξεων που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ασκήσεων από το ΕΔΣΓ. Επιπλέον, στο γνωστικό πεδίο του PVT καταγράφονται κάποια στοιχεία σχετικά με τη σημασιολογική συσχέτιση των λέξεων που περιλαμβάνονται στο λεξικό. Τέλος, τμήμα του γνωστικού πεδίου του ΕΔΣΓ αποτελούν και κάποια πρότυπα ασκήσεων που χρησιμοποιούνται για τη δυναμική κατασκευή ασκήσεων που καλείται να επιλύσει ο μαθητής.

Το PVT εστιάζει κυρίως στη διαδικασία διάγνωσης λαθών των μαθητών, η οποία πραγματοποιείται από του υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών. Συγκεκριμένα, όταν κάποιος μαθητής δώσει κάποια λύση σε μία άσκηση, το σύστημα αρχικά εξετάζει το εάν η απάντηση του μαθητή είναι σωστή. Στην περίπτωση που η απάντηση του μαθητή είναι λανθασμένη, το σύστημα προσπαθεί να διαγνώσει την αιτία που προκάλεσε το λάθος. Αυτό πραγματοποιείται με τη χρήση κάποιων προκαθορισμένων κανόνων παρεκκλίσεων της ορθής διαδικασίας. Για να μπορεί το σύστημα να παρέχει εξατομικευμένη βοήθεια, διατηρεί κάποιο προφίλ για κάθε μαθητή, το οποίο και αποτελεί το μοντέλο μακράς διάρκειας του μαθητή (long term student model). Η πρόοδος καθώς και τα πλέον συνήθη λάθη του μαθητή καταγράφονται στο μακροπρόθεσμο μοντέλο του. Οι πληροφορίες που είναι καταγεγραμμένες στο μακροπρόθεσμο μοντέλο του μαθητή χρησιμοποιούνται για

την εξατομίκευση της διάγνωσης λαθών σε επόμενες αλληλεπιδράσεις του μαθητή με το σύστημα και συγκεκριμένα για την επιλογή της αιτίας ενός σφάλματος, το οποίο μπορεί να έχει προκληθεί από περισσότερες από μία αιτίες.

Το υποσύστημα λήψης διδακτικών αποφάσεων του PVT είναι υπεύθυνο για την παροχή εξατομικευμένων διαγνωστικών μηνυμάτων στην περίπτωση που κάποιος μαθητής κάνει κάποιο λάθος. Επιπρόσθετα, το υποσύστημα αυτό κατασκευάζει δυναμικά νέες ασκήσεις με βάση τη γνώση του ΕΔΣΓ σχετικά με τα πρότυπα ασκήσεων και τη σημασιολογική εξάρτηση των λέξεων που εμπεριέχονται στο λεξικό. Τέλος, το PVT χρησιμοποιεί ένα πολυμεσικό σύστημα διεπαφής και περιορισμένη φυσική γλώσσα ώστε να προσελκύσει το ενδιαφέρον των μαθητών.

Ο λόγος για τον οποίο αναπτύχθηκε το PVT είναι η παροχή εξατομικευμένης διδασκαλίας. Εξαιτίας του γεγονότος ότι το ΕΔΣ εστιάζει κυρίως στην παροχή εξατομικευμένων διαγνωστικών μηνυμάτων σε περιπτώσεις λάθους ενός μαθητή, πραγματοποιήθηκε κάποια αξιολόγηση του PVT όσον αφορά στη διαγνωστική του ικανότητα (Virvou et al. 2000b). Συγκεκριμένα, σε 10 καθηγητές Αγγλικών δόθηκε ένα ερωτηματολόγιο, το οποίο περιείχε ασκήσεις σχετικές με τη μετατροπή μίας ενεργητικής πρότασης στην παθητική φωνή, οι οποίες είχαν απαντηθεί λανθασμένα. Επιπλέον, για κάθε μία από τις λανθασμένες απαντήσεις, υπήρχε και η επεξήγηση του σφάλματος, όπως προκύπτει από το PVT. Για κάθε μία από τις ερωτήσεις, οι καθηγητές κλήθηκαν να αξιολογήσουν την ορθότητα της επεξήγησης του σφάλματος. Επιπλέον, ζητήθηκε από τους καθηγητές να απαντήσουν στο εάν κατά τη γνώμη τους το σφάλμα αυτό προέρχεται από την απροσεξία ή από κάποια βαθύτερη παρανόηση του μαθητή.

Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζεται ένα δείγμα του ερωτηματολογίου και των αποτελεσμάτων αυτής της φάσης αξιολόγησης. Στην πρώτη στήλη του πίνακα παρουσιάζεται η ερώτηση του συστήματος καθώς και η λανθασμένη απάντηση ενός υποτιθέμενου μαθητή. Η δεύτερη στήλη αντιστοιχεί στην εξήγηση που δίνει το PVT στο μαθητή για το συγκεκριμένο σφάλμα, ενώ στην τρίτη στήλη παρουσιάζεται το ποσοστό συμβατότητας της εξήγησης του ΕΔΣ με αυτή που θα έδιναν οι καθηγητές Αγγλικών. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης έδειξαν ότι σε γενικές γραμμές το PVT είχε ικανοποιητική διαγνωστική ικανότητα. Παρόλα αυτά, οι καθηγητές φάνηκαν να θεωρούν το PVT αρκετά «αυστηρό», μιας και σε πολλές περιπτώσεις απέδιδαν το λάθος σε απροσεξία και όχι σε κάποια πιο σοβαρή αιτία, όπως το PVT. Επιπλέον, εντοπίστηκαν κάποιοι περιορισμοί στη δυνατότητα του ΕΔΣ να επιλέγει την αιτία

ενός οφάλατος, το οποίο μπορεί να αποδοθεί σε περισσότερους από έναν λόγους (π.χ. τρίτη ερώτηση του πίνακα).

Λανθασμένες απαντήσεις	Εξήγηση του PVT	Συμβατότητα με την εξήγηση των καθηγητών
PVT: My father will buy a book. Μαθητής: My father will be bought by a book.	Λάθος μετατροπής. Στη μετατροπή πρότασης στην παθητική φωνή, το υποκείμενο και το αντικείμενο ανταλλάζουν θέση.	100%
PVT: My sister reads magazines. Μαθητής: Magazines are readed by my sister.	Λάθος ανώμαλου ρήματος. Προσέξτε ότι ένα ανώμαλο ρήμα δεν σχηματίζει τον αόριστο και την παθητική μετοχή με την κατάληξη "ed".	100%
PVT: Jim drives expensive cars. Μαθητής: Expensive cars are drive by Jim.	Σφάλμα μετατροπής. Στη μετατροπή πρότασης στην παθητική φωνή, χρησιμοποιούμε την παθητική μετοχή του ρήματος.	80%
PVT: Columbus discovered America. Μαθητής: America is discovered by Columbus.	Λάθος μετατροπής. Προσέξτε ότι το ρήμα της ενεργητικής πρότασης είναι στον αόριστο.	95%
PVT: John has painted my car. Μαθητής: My car has be painted by John.	Λάθος μετατροπής. Λανθασμένος χρόνος του ρήματος "to be".	90%
PVT: Peter wrote a poem. Μαθητής: A poem was writen by Peter.	Τυπογραφικό λάθος του μαθητή λόγω απροσεξίας.	100%

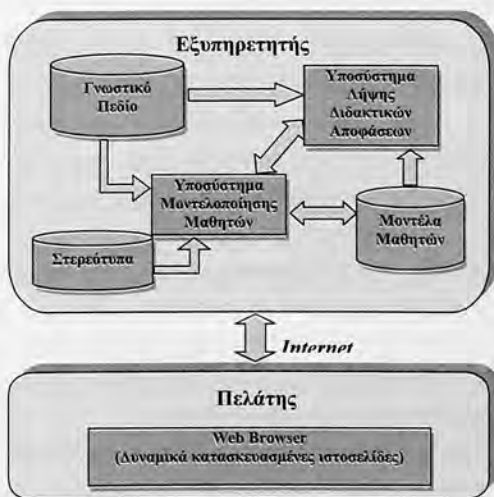
Πίνακας 4.1: Αξιολόγηση διαγνωστικής ικανότητας του PVT.

4.3 Αρχιτεκτονική του Web-PVT

Το Web-PVT είναι ένα υπερμεσικό σύστημα διδασκαλίας της παθητικής φωνής της Αγγλικής γλώσσας, το οποίο κάνει χρήση τεχνικών από τον τομέα των ΕΔΣ και των ΠΣΥ για την παροχή εξατομικευμένου περιβάλλοντος εκμάθησης για κάθε μαθητή (Virvou & Tsiiriga 2001a, 2001b). Το Web-PVT βασίζεται σε κάποιο βαθμό στο αυτόνομο ΕΔΣΓ που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα. Κατά συνέπεια, αρκετές από τις αποφάσεις του σχεδιασμού του διαδικτυακού συστήματος ελήφθησαν με βάση την ικανότητα ενσωμάτωσης τμημάτων του PVT. Παρόλα αυτά, εξαιτίας αρκετών ελλειψεων που εντοπίστηκαν στην αυτόνομη εφαρμογή, ένα μεγάλο μέρος του Web-PVT σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε εξ αρχής.

Η βασική αρχιτεκτονική του Web-PVT αποτελεί μία προσαρμογή της κλασικής αρχιτεκτονικής των ΕΔΣ ώστε να είναι κατάλληλη για τη φύση του διαδικτύου. Συγκεκριμένα, το Web-PVT ακολουθεί την προσέγγιση της επικεντρωμένης αρχιτεκτονικής των διαδικτυακών συστημάτων. Η επιλογή της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής βασίστηκε (εκτός από τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 2) σε κάποιο βαθμό στην ανάγκη για επαναχρησιμοποίηση τμημάτων του PVT.

Όμοια με την περίπτωση της αυτόνομης εφαρμογής, το Web-PVT τμηματοποιείται σε τέσσερα βασικά μέρη (Εικόνα 4.1): (α) το γνωστικό πεδίο, (β) το υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών, (γ) το υποσύστημα λήψης διδακτικών αποφάσεων και (δ) το σύστημα διεπαφής. Τα περισσότερα από τα τμήματα του ΔΕΔΣΓ έχουν τροποποιηθεί σε μεγάλο βαθμό σε σχέση με τα αντίστοιχα του PVT. Παρόλα αυτά, κάποια τμήματα, χρησιμοποιήθηκαν ως είχαν ή με μικρές επεκτάσεις. Τα τμήματα αυτά αφορούν κυρίως στις διαδικασίες για τη δυναμική κατασκευή ασκήσεων καθώς και στη διάγνωση λαθών των μαθητών.



Εικόνα 4.1: Αρχιτεκτονική του Web-PVT.

Το τμήμα της εφαρμογής που βρίσκεται στον εξυπηρετητή, έχει υλοποιηθεί ως ISAPI/NSAPI dynamic link library (DLL). Η τεχνολογία αυτή, σε αντίθεση με τις απλές CGI εφαρμογές δεν απαιτεί την έναρξη μιας διαφορετικής διαδικασίας

(process) για κάθε αίτηση (request) που αποστέλλεται στον εξυπηρετητή. Αντ' αυτού, το DLL της εφαρμογής φορτώνεται μία φορά και στη συνέχεια αποτελεί τμήμα των διεργασιών του εξυπηρετητή, απαντώντας σε οποιονδήποτε αριθμό αιτήσεων. Το σύστημα διεπαφής του Web-PVT, από την άλλη πλευρά, συνίσταται σε ένα σύνολο δυναμικά κατασκευασμένων HTML σελίδων. Η επικοινωνία του εξυπηρετητή του συστήματος με τους πελάτες επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του πρωτοκόλλου HTTP. Συγκεκριμένα, κάθε φορά που ο μαθητής πραγματοποιεί κάποια ενέργεια στην πλευρά του πελάτη, αποστέλλεται κάποια αίτηση στον εξυπηρετητή της εφαρμογής. Με βάση το είδος της αίτησης, ο εξυπηρετητής πραγματοποιεί κάποια συγκεκριμένη εργασία (π.χ. ενημέρωση του μοντέλου του μαθητή) και στη συνέχεια το σύστημα αποκρίνεται με την δυναμική κατασκευή κάποιας ιστοσελίδας, η οποία παρουσιάζεται στον πελάτη. Το περιεχόμενο των σελίδων αυτών δεν είναι στατικό και επιλέγεται από το υποσύστημα λήψης διδακτικών αποφάσεων με βάση τα στοιχεία που λαμβάνει από το υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών.

4.4 Γνωστικό Πεδίο του Web-PVT

Το γνωστικό πεδίο του PVT κατείχε γνώση σχετικά με τη δυναμική κατασκευή ασκήσεων καθώς και το συσχετισμό τους με τις διάφορες έννοιες του γνωστικού πεδίου. Παρόλα αυτά, δεν υπήρχε κάποια ιεραρχική δομή στις έννοιες που καταρτιζούν το γνωστικό πεδίο. Στη διαδικτυακή έκδοση του ΕΔΣΓ κρίθηκε αναγκαίος ο εμπλουτισμός του γνωστικού πεδίου με τις συσχετίσεις των εννοιών.

Κατά συνέπεια, η αναπαράσταση του γνωστικού πεδίου του Web-EasyMath πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενός σημασιολογικού δικτύου, που απεικονίζει τις ενδοσυσχετίσεις μεταξύ των γραμματικών εννοιών της παθητικής φωνής της Αγγλικής γλώσσας. Η δομημένη αναπαράσταση του γνωστικού πεδίου διασφαλίζει το ότι το ΔΕΔΣΓ «γνωρίζει» τις εξαρτήσεις μεταξύ των εννοιών και χρησιμοποιεί τη γνώση αυτή στη λήψη διαφόρων διδακτικών αποφάσεων.

Όπως τονίζουν οι Mark & Greer (1993), η ακριβής και ορθή αναπαράσταση της γνώσης ενός ΕΔΣ είναι ιδιαίτερα μεγάλης σημασίας και πρέπει να επιβεβαιώνεται πριν την υλοποίηση του συστήματος. Ένας από τους πλέον κατάλληλους τρόπους απόκτησης ορθής γνώσης σχετικά με το διδασκόμενο αντικείμενο είναι με τη συμμετοχή ειδικών (Vίνου & Tσίριγα 2000α). Κατά συνέπεια, για την απόφαση σχετικά με τις διάφορες σχέσεις των εννοιών, ζητήθηκε η γνώμη 4 καθηγητών της Αγγλικής γλώσσας. Οι περισσότεροι από τους καθηγητές είχαν όμοια άποψη σχετικά

με τη δομή που θα έπρεπε να έχει το σημασιολογικό δίκτυο. Παρόλα αυτά, για να διασφαλιστεί η ορθότητα, το σημασιολογικό δίκτυο που διαμορφώθηκε δόθηκε εκ νέου στους καθηγητές ώστε να εξεταστεί. Συγκεκριμένα, οι καθηγητές κλήθηκαν να βαθμολογήσουν την αναπαράσταση σε μία κλίμακα από 1 έως 10, με το 1 να υποδηλώνει πλήρη ασυμφωνία και το 10 πλήρη συμφωνία. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εξέτασης, οι καθηγητές έκριναν ως πλήρη και ορθή την αναπαράσταση του γνωστικού πεδίου (μέσος όρος βαθμολογίας 9,25).

Στο σημασιολογικό δίκτυο που προέκυψε με βάση τη μελέτη αυτή, οι κόμβοι αναπαριστούν θεματικές ενότητες ή έννοιες. Ένας ειδικός τύπος κόμβων είναι οι κόμβοι του πρώτου επιπέδου διάσπασης. Συγκεκριμένα, οι κόμβοι του πρώτου επιπέδου καθορίζουν το βαθμό δυσκολίας (απλό, μέτριας δυσκολίας, και δύσκολο) των θεματικών εννοιών ή εννοιών που αναπαρίστανται στους κόμβους κατώτερου επιπέδου που είναι συνδεδεμένοι με το συγκεκριμένο κόμβο. Οι υπόλοιποι μη-τερματικοί κόμβοι του δικτύου αναπαριστούν θεματικές ενότητες, οι οποίες μπορεί στη συνέχεια να διασπώνται σε μία ή περισσότερες θεματικές ενότητες ή έννοιες. Οι τερματικοί κόμβοι του δικτύου αναπαριστούν έννοιες. Οι έννοιες αποτελούν τα βασικά συστατικά του γνωστικού πεδίου και δεν μπορούν να διασπαστούν περαιτέρω. Οι διάφοροι κόμβοι του δικτύου δύνανται να ενώνονται μεταξύ τους με τις ακόλουθες σχέσεις:

- ❖ «*τμήμα-του*» (part of): που ξεκινά από μία πιο γενική θεματική ενότητα και δείχνει σε μία πιο ειδική θεματική ενότητα ή έννοια, η οποία αποτελεί ένα από τα τμήματα που τη συνιστούν. Για παράδειγμα, ένας σύνδεσμος «*τμήμα-του*» ξεκινά από τη θεματική ενότητα «*μετατροπή χρόνου ρήματος στην παθητική φωνή*» και καταλήγει στην έννοια «*μετατροπή ρήματος αορίστου χρόνου στην παθητική φωνή*».
- ❖ «*προαπαιτούμενο*» (prerequisite): η οποία ξεκινά από κάποια έννοια και δείχνει σε κάποια άλλη, η οποία είναι προαπαιτούμενή της. Για παράδειγμα, για να μπορεί ο μαθητής να λύνει ασκήσεις μετατροπής μίας πρότασης με αόριστο υποκείμενο (π.χ. *Someone stole my car*), θα πρέπει να γνωρίζει τη θεματική ενότητα «*μετατροπή χρόνου ρήματος στην παθητική φωνή*».

4.5 Προσαρμογή Διδακτικών Αποφάσεων στις Ανάγκες του Μαθητή

Το Web-PVT χρησιμοποιεί τεχνικές υιοθετημένες από τον τομέα των ΕΔΣ και των ΠΣΥ για την παροχή προσαρμοστικής διδασκαλίας. Συγκεκριμένα, το ΔΕΔΣΓ χρησιμοποιεί μεθόδους που προέρχονται από τα ΠΣΥ για την υποστήριξη του μαθητή καθώς μελετά θεωρία. Επιπρόσθετα, το Web-PVT υιοθετεί τεχνικές των ΕΔΣ τόσο για να παρουσιάζει στο μαθητή προτεινόμενες ασκήσεις προς επίλυση, όσο και για να παρέχει εξατομικευμένη ανάδραση σε σφάλματα των μαθητών. Οι διάφορες διδακτικές αποφάσεις που λαμβάνει το Web-PVT βασίζονται στο μοντέλο που διατηρεί για κάθε έναν από τους μαθητές που το χρησιμοποιούν. Ο τρόπος που το ΔΕΔΣΓ κατασκευάζει το μοντέλο του εκάστοτε μαθητή αποτελεί το αντικείμενο του επόμενου κεφαλαίου και γι' αυτό το λόγο δεν θα γίνει περαιτέρω αναφορά σε αυτό στο συγκεκριμένο σημείο της διατριβής. Παρόλα αυτά, θεωρείται σκόπιμο να αναφερθεί ότι για κάθε μία από τις θεωρητικές έννοιες του γνωστικού πεδίου, στο μοντέλο του μαθητή καταγράφονται στοιχεία σχετικά με το κατά πόσο ο μαθητής γνωρίζει τη συγκεκριμένη έννοια (στο χαρακτηριστικό «Επίπεδο_Γνώσης» του μοντέλου) και την τάση του μαθητή να κάνει σφάλματα καθώς χρησιμοποιεί την έννοια αυτή σε ασκήσεις (στο χαρακτηριστικό «Λάθη» του μοντέλου).

Το υποσύστημα λήψης διδακτικών αποφάσεων του ΔΕΔΣΓ επεκτάθηκε σημαντικά σε σχέση με την αυτόνομη εφαρμογή. Στο PVT ο μαθητής επέλεγε από μόνος του, χωρίς κάποια υποστήριξη από το ΕΔΣ, κάποια ενότητα θεωρίας την οποία ήθελε να μελετήσει όπως και τις ασκήσεις προς επίλυση. Επιπρόσθετα, στη διαδικτυακή έκδοση του συστήματος, εκτός από τα διαγνωστικά μηνύματα, προσαρμόζεται και το επίπεδο υποβοήθησης σε περιπτώσεις σφαλμάτων των μαθητών. Στις υπο-ενότητες που ακολουθούν, αναλύονται οι διάφορες αποφάσεις που λαμβάνει το Web-PVT, για την παροχή εξατομικευμένης διδασκαλίας.

4.5.1 Υποστήριξη κατά τη Μελέτη της Θεωρίας

Το Web-PVT υποστηρίζει το μαθητή καθώς μελετά θεωρία μέσω ενός προσαρμοστικού ηλεκτρονικού βιβλίου (adaptive electronic textbook). Συγκεκριμένα, με βάση τις πληροφορίες σχετικά με τη συσχέτιση των θεωρητικών εννοιών όπως αυτές καταγράφονται στο γνωστικό πεδίο και τις πληροφορίες που

διατηρούνται στο μοντέλο του εκάστοτε μαθητή, το ΔΕΔΣΓ προσαρμόζει κατάλληλα τον πίνακα περιεχομένων της θεωρίας.

Το Web-PVT χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό δύο τεχνικών προσαρμογής συνδέσμων, για την εξατομίκευση του πίνακα περιεχομένων της θεωρίας: α) τη μέθοδο της επισημείωσης συνδέσμων (link annotation) και β) τη μέθοδο της άμεσου καθοδήγησης (direct guidance). Χρησιμοποιώντας τον συνδυασμό αυτό, αποφεύγονται τα προβλήματα που σχετίζονται με κάθε μια από αυτές τις μεθόδους όταν χρησιμοποιούνται μεμονωμένα. Στην περίπτωση που ο μαθητής δεν επιθυμεί να ακολουθήσει τη ρητή εντολή του συστήματος (άμεσος καθοδήγηση), συνεχίζει να λαμβάνει βοήθεια από το ΔΕΔΣ υπό τη μορφή της επισημείωσης των συνδέσμων.

Το Web-PVT επισημαίνει τους συνδέσμους του πίνακα περιεχομένων της θεωρίας, ώστε να υποδηλώνει στο μαθητή την καταλληλότητα της ιστοσελίδας στην οποία οδηγούν σε σχέση με το γνωστικό του επίπεδο. Η επισημείωση των συνδέσμων πραγματοποιείται με τη βοήθεια εικονιδίων και με διαφορετικά στυλ γραμματοσειρών. Το Web-PVT διαχωρίζει μεταξύ τεσσάρων διαφορετικών καταστάσεων συνδέσμων:

- ❖ «Γνωστοί»: αντιστοιχούν σε έννοιες που ο μαθητής γνωρίζει σε ικανοποιητικό βαθμό (Επίπεδο_Γνώσης > προκαθορισμένο κατώφλι, το οποίο μετά από συνεννόηση με τους καθηγητές ορίστηκε ως 0.9).
- ❖ «Πλέον προτεινόμενοι»: οδηγούν σε ιστοσελίδες θεωρίας που έχει ξαναεπισκεφτεί ο μαθητής αλλά αντιστοιχούν σε έννοιες τις οποίες ο μαθητής δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει ικανοποιητικά κατά την επίλυση ασκήσεων ($0 < \text{Επίπεδο_Γνώσης} < \text{προκαθορισμένο κατώφλι}$).
- ❖ «Ίκανά προτεινόμενοι»: οδηγούν σε ιστοσελίδες που δεν έχει διαβάσει ο μαθητής σε κάποια προηγούμενη αλληλεπίδρασή του με το ΔΕΔΣΓ και αντιστοιχούν σε έννοιες για τις οποίες ο μαθητής γνωρίζει σε ικανοποιητικό βαθμό όλες τις έννοιες που θεωρούνται προαπαιτούμενες (οι αντίστοιχοι σύνδεσμοι είναι επισημειωμένοι ως «γνωστοί»).
- ❖ «Όχι προτεινόμενοι»: οι σύνδεσμοι αυτοί αντιστοιχούν σε έννοιες, για τις οποίες υπάρχουν μία ή περισσότερες προαπαιτούμενες έννοιες τις οποίες δεν γνωρίζει σε ικανοποιητικό βαθμό ο μαθητής.

Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται οι διάφορες καταστάσεις των συνδέσμων καθώς και ο τρόπος με τον οποίο επισημαίνονται τόσο όσον αφορά στο εικονίδιο

που εμφανίζεται μπροστά από το σύνδεσμο, όσο και στο στυλ της γραμματοσειράς που χρησιμοποιείται.

Κατάσταση Συνδέσμου	Εικονίδιο Επισημείωσης	Στυλ Γραμματοσειράς
Γνωστός		Πλάγια Γράμματα
Πλέον Προτεινόμενος		Έντονα Γράμματα
Ικανά Προτεινόμενος		Έντονα και Πλάγια Γράμματα
Όχι Προτεινόμενος		Γκριζα Γράμματα

Πίνακας 4.2: Τρόποι επισημείωσης συνδέσμων.

Με τη μέθοδο της αμέσου καθοδήγησης, από την άλλη πλευρά, ο μαθητής οδηγείται στην ιστοσελίδα την οποία το σύστημα θεωρεί ως καταλληλότερη προς μελέτη για το συγκεκριμένο μαθητή. Στον πίνακα περιεχομένων του προσαρμοστικού ηλεκτρονικού βιβλίου υπάρχει και ένας σύνδεσμος «Next», ο οποίος και αποτελεί την υλοποίηση της μεθόδου της αμέσου καθοδήγησης. Η επιλογή της ιστοσελίδας θεωρίας, στην οποία οδηγεί ο συγκεκριμένος σύνδεσμος βασίζεται στο γνωστικό επίπεδο του μαθητή όπως αυτό έχει καταγραφεί στο προσωπικό του μοντέλο. Συγκεκριμένα, μέσω του κουμπιού «Next», ο μαθητής οδηγείται σε κάποια από τις ιστοσελίδες θεωρίας που θεωρούνται ως «πλέον προτεινόμενες». Εάν δεν υπάρχει κάποια ιστοσελίδα, η οποία να είναι «πλέον προτεινόμενη» για το συγκεκριμένο μαθητή, το Web-PVT επιλέγει κάποιον από τους «ικανά προτεινόμενους» συνδέσμους. Τέλος, στην περίπτωση που ο μαθητής έχει ολοκληρώσει τη μελέτη της θεωρίας, το ΔΕΔΣΓ τον ενημερώνει σχετικά και τον προτρέπει να εξασκηθεί στην επίλυση ασκήσεων.



Εικόνα 4.2: Πίνακας περιχομένων θεωρίας του Web-PVT.

Ένα παράδειγμα του πίνακα περιχομένων της θεωρίας όπως αυτή εμφανίζεται σε κάποιον μαθητή που αλληλεπιδρά με το Web-PVT παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.2. Ο συγκεκριμένος μαθητής, σύμφωνα με το μοντέλο που έχει κατασκευάσει το ΔΕΑΣΓ γι' αυτόν, γνωρίζει σε ικανοποιητικό βαθμό τις προαπαιτούμενες έννοιες για την παθητική φωνή, π.χ. "Indefinite article", "Irregular Verbs" και "Verb Tenses", καθώς επίσης έχει επαρκή γνώση του βασικού μηχανισμού μετατροπής μίας πρότασης στην παθητική φωνή ("Simple transformation steps"). Επίσης, ο μαθητής έχει επισκεφτεί την ιστοσελίδα που παρουσιάζει τη θεωρία που αντιστοιχεί στην έννοια "Tense Transformation", όμως δεν κατάφερε να λύσει ασκήσεις σχετικές με αυτή την έννοια σε ικανοποιητικό βαθμό (Επίπεδο_Γνώσης < προκαθορισμένο κατώφλι). Ο συγκεκριμένος μαθητής δεν έχει επισκεφτεί ποτέ την ιστοσελίδα που αντιστοιχεί στην έννοια "Agent Connecting Word", όμως γνωρίζει σε ικανοποιητικό βαθμό όλες τις έννοιες που είναι προαπαιτούμενες της. Τέλος, οι σύνδεσμοι που οδηγούν στις υπόλοιπες ιστοσελίδες θεωρίας είναι επισημειωμένες ως «όχι προτεινόμενοι», διότι ο μαθητής δεν έχει επαρκή γνώση των προαπαιτούμενων εννοιών (π.χ. ο σύνδεσμος που οδηγεί στην ιστοσελίδα που αντιστοιχεί στην έννοια "Passive of modal verbs" είναι «όχι προτεινόμενος», διότι ο μαθητής δεν γνωρίζει την έννοια "Tense Transformation" που είναι προαπαιτούμενη).

Στην περίπτωση που ο μαθητής που προαναφέραμε αποφασίσει να ακολουθήσει την πρόταση του ΔΕΔΣΓ και να μεταφερθεί στην πλέον κατάλληλη ιστοσελίδα μέσω του συνδέσμου “Next”, τότε σε αυτόν παρουσιάζεται η ιστοσελίδα θεωρίας που αντιστοιχεί στην έννοια “Tense Transformation”, μιας και ο συγκεκριμένος σύνδεσμος ήταν ο μόνος επισημειωμένος ως «πλέον προτεινόμενος» (Εικόνα 4.3).

The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying a URL. The main content area is titled "Forming the Passive Voice - Tense Transformation". Below the title, there is a section for "SIMPLE PRESENT and SIMPLE PAST" with the text: "The active subject becomes the passive subject" and "am/is/are + past participle" and "was/were + past participle".

Active:	Passive:
Simple Present The movie inspired me. The movie inspired Jack. The movie inspired them.	Simple Present I am inspired by the movie. Jack is inspired by the movie. They are inspired by the movie.
Simple Past The movie inspired me. The movie inspired Jack. The movie inspired them.	Simple Past Passive I was inspired by the movie. Jack was inspired by the movie. They were inspired by the movie.

Below the table, there is a section for "PRESENT and PAST CONTINUOUS (PROGRESSIVE)" with the text: "Passive form: am/is/are + being + past participle" and "was/were + being + past participle".

Εικόνα 4.3: Ιστοσελίδα θεωρίας του Web-PVT.

Στην περίπτωση που ο συγκεκριμένος μαθητής καταφέρει επιπλέον να λύσει ασκήσεις που σχετίζονται με την έννοια “Tense Transformation” σε ικανοποιητικό βαθμό, τότε, το μοντέλο του ενημερώνεται και την επόμενη φορά που θα επισκεφτεί τον πίνακα περιεχομένων της θεωρίας, ο συγκεκριμένος σύνδεσμος θα είναι επισημειωμένος ως «γνωστός», ενώ ο σύνδεσμος που αντιστοιχεί στην έννοια “Passive of Modal Verbs” θα έχει επισημειωθεί ως «ικανά προτεινόμενος», μιας και ο μαθητής έχει μάθει όλες τις προσαπαιτούμενες έννοιες (Εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.4: Ενημερωμένος πίνακας περιεχομένων θεωρίας του Web-PVT.

4.5.2 Υποστήριξη του Μαθητή στις Ασκήσεις

Εκτός από την προσαρμοστική υποστήριξη του μαθητή καθώς αυτός μελετά θεωρία, το Web-PVT χρησιμοποιεί τα στοιχεία που έχουν καταγραφεί για ένα μαθητή στο μοντέλο του για να τον βοηθά όταν λύνει ασκήσεις. Ο μαθητής μπορεί να ζητήσει από το σύστημα να τον βοηθήσει στην επιλογή κάποιας άσκησης προς επίλυση, η οποία να είναι κατάλληλη για το γνωστικό του επίπεδο όπως αυτό αναπαρίσταται στο μοντέλο του. Επιπλέον, όταν ο μαθητής δίνει μία απάντηση σε κάποια άσκηση, το Web-PVT πραγματοποιεί ευφυή ανάλυση της λύσης του μαθητή και προσαρμόζει κατάλληλα το διαγνωστικό μήνυμα που παρουσιάζεται στο μαθητή σε περίπτωση λάθους.

Το Web-PVT παρουσιάζει στους μαθητές τρεις τύπους ασκήσεων προς επίλυση. Σε κάθε τύπο ασκήσεων έχει αποδοθεί κάποιος βαθμός δυσκολίας (από 1-εύκολες έως 3-δύσκολες). Οι ασκήσεις που υποστηρίζονται είναι:

- ❖ *Ασκήσεις πολλαπλών επιλογών*: οι οποίες έχουν βαθμό δυσκολίας 1. Στις ασκήσεις αυτές, κάποιος μαθητής καλείται να επιλέξει μεταξύ ενός αριθμού εναλλακτικών επιλογών ώστε να συμπληρώσει μία παθητική πρόταση ή να μετατρέψει μία ενεργητική πρόταση στην παθητική φωνή και το αντίστροφο.

Οι ασκήσεις αυτές θεωρούνται εύκολες διότι ο μαθητής μπορεί να δει την απάντηση χωρίς να χρειάζεται να θυμάται επακριβώς τους γραμματικούς κανόνες που χρησιμοποιήθηκαν για να καταληξουμε στη συγκεκριμένη απάντηση. Οι εναλλακτικές απαντήσεις που παρουσιάζονται στο μαθητή επιλέγονται τυχαία από ένα σύνολο λανθασμένων απαντήσεων που είναι συσχετισμένες με τη συγκεκριμένη άσκηση. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η παρουσίαση πανομοιότυπων ασκήσεων.

- ❖ *Ασκήσεις εισαγωγής λέξης:* που έχουν βαθμό δυσκολίας 2, και όπου ο μαθητής καλείται να πληκτρολογήσει κάποια λέξη με σκοπό τη συμπλήρωση μίας πρότασης στην παθητική φωνή. Στην περίπτωση αυτή, σε αντίθεση με τις ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών, ο μαθητής πρέπει να χρησιμοποιήσει ο ίδιος κάποιο γραμματικό κανόνα για να πληκτρολογήσει κάποια απάντηση.
- ❖ *Ασκήσεις μετατροπής πρότασης από την ενεργητική στην παθητική φωνή και το αντίστροφο:* που έχουν βαθμό δυσκολίας 3. Οι ασκήσεις αυτές παρουσιάζουν στο μαθητή μία πρόταση σε κάποια φωνή (π.χ. στην ενεργητική) και ζητούν από το μαθητή να μετατρέψει τη συγκεκριμένη πρόταση στην άλλη φωνή (στο παράδειγμα στην παθητική). Οι συγκεκριμένες ασκήσεις έχουν το μεγαλύτερο βαθμό δυσκολίας, διότι στο μαθητή δεν παρέχεται καμία βοήθεια αλλά καλείται να χρησιμοποιήσει όλους τους απαιτούμενους γραμματικούς κανόνες για τη μετατροπή μίας πρότασης από τη μία φωνή στην άλλη.

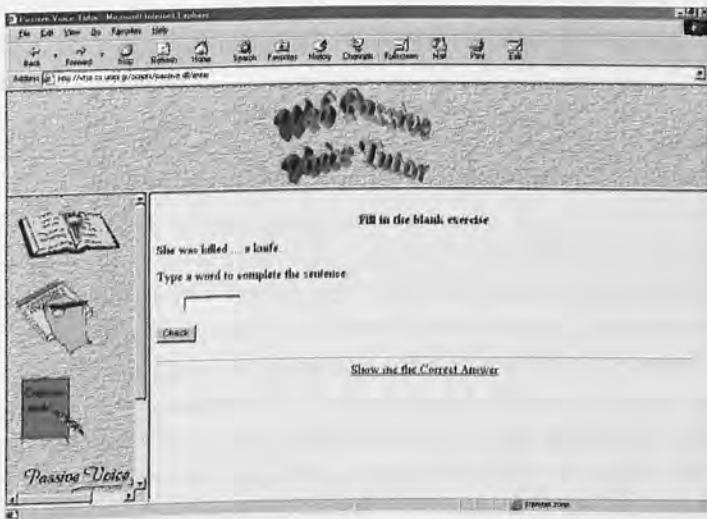
Επιλογή της Κατάλληλης Άσκησης προς Επίλυση

Όταν ο μαθητής καλείται να επιλέξει κάποια άσκηση προς επίλυση, το Web-PVT του παρέχει δύο επιλογές. Στην πρώτη περίπτωση ο μαθητής μπορεί να επιλέξει από μόνος του κάποια άσκηση με βάση τη θεωρητική έννοια που εξετάζει καθώς και το επίπεδο δυσκολίας της. Εναλλακτικά, ο μαθητής μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα σύνδεσμο "Next Best Exercise", μέσω του οποίου το ΔΕΔΣΓ επιλέγει την άσκηση που θεωρεί ως την πλέον κατάλληλη για το επίπεδο γνώσης του μαθητή. Για την επιλογή της καταλληλότερης άσκησης προς επίλυση, το Web-PVT χρησιμοποιεί τις πληροφορίες που είναι καταγεγραμμένες στο μοντέλο του μαθητή.

Συγκεκριμένα, το ΔΕΔΣΓ επιλέγει κάποια άσκηση που εξετάζει κάποια από τις θεωρητικές έννοιες οι οποίες θεωρούνται ως πλέον προτεινόμενες. Δηλαδή, η άσκηση που επιλέγεται σχετίζεται με κάποια έννοια για την οποία ο μαθητής έχει διαβάσει

την αντίστοιχη ιστοσελίδα της θεωρίας αλλά δεν έχει επιλύσει ασκήσεις που σχετίζονται με αυτήν σε ικανοποιητικό βαθμό.

Επιπλέον, ανάλογα με το επίπεδο γνώσης του μαθητή σε κάποια έννοια που επιλέγεται, το Web-PVT καθορίζει το επίπεδο δυσκολίας που πρέπει να έχει η άσκηση που θα παρουσιαστεί στο μαθητή. Όσο μεγαλύτερο είναι το επίπεδο γνώσης του μαθητή, τόσο πιο δύσκολη θα είναι και η άσκηση που επιλέγεται προς επίλυση (αν $\text{Επίπεδο_Γνώσης} < 0.6$ τότε επιλέγεται μία άσκηση επιπέδου δυσκολίας 1, αν $\text{Επίπεδο_Γνώσης} < 0.8$ τότε επιλέγεται μία άσκηση επιπέδου δυσκολίας 2, ενώ αν $\text{Επίπεδο_Γνώσης} < 0.9$ τότε επιλέγεται μία άσκηση επιπέδου δυσκολίας 3). Για παράδειγμα, εάν κάποιος μαθητής έχει διαβάσει την ιστοσελίδα της θεωρίας που σχετίζεται με τη θεωρητική έννοια “Agent connecting word” και το γνωστικό του επίπεδο στη συγκεκριμένη έννοια είναι 0.5, τότε το σύστημα θα παρουσιάσει στο μαθητή μία άσκηση εισαγωγής λέξης, όμοια με αυτή που παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.5.



Εικόνα 4.5: Παράδειγμα άσκησης εισαγωγής λέξης.

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει καμία θεωρητική έννοια που να θεωρείται από το σύστημα ως πλέον προτεινόμενη σύμφωνα με το μοντέλο του μαθητή, τότε το

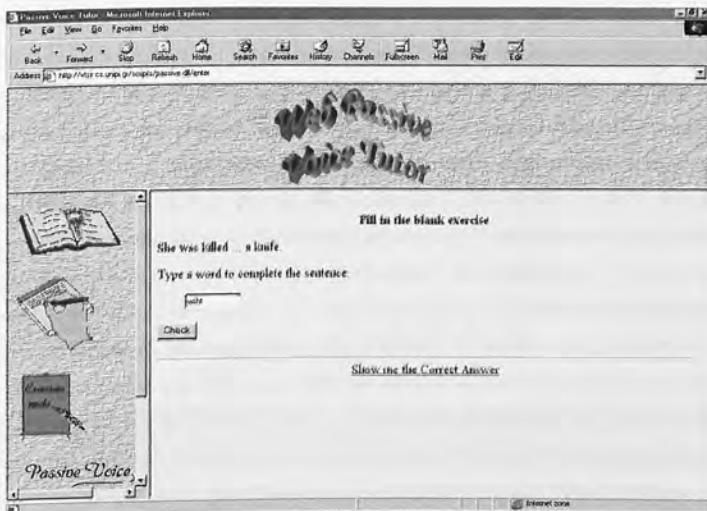
Web-PVT επιλέγει μία άσκηση που εξετάζει κάποια έννοια που είναι «γνωστή» και στην οποία ο μαθητής έχει την μεγαλύτερη τάση να κάνει λάθη.

Ευφυής Ανάλυση της Απάντησης του Μαθητή

Όταν κάποιος μαθητής επιλέξει να ελέγξει την απάντησή του σε κάποια άσκηση, τότε αυτή αποστέλλεται στο server για ανάλυση. Αν η απάντηση είναι ορθή, τότε παρουσιάζεται στο μαθητή ένα μήνυμα που τον συγχαίρει για την ορθή του απάντηση. Στην αντίθετη περίπτωση, πραγματοποιείται διάγνωση του λάθους του μαθητή από το Web-PVT, λαμβάνοντας υπ' όψη το μοντέλο του όπου είναι απαραίτητο.

Η πιο εύκολη περίπτωση διάγνωσης του λάθους ενός μαθητή είναι όταν έχει γίνει μία εσφαλμένη επιλογή σε κάποια άσκηση πολλαπλών επιλογών. Συγκεκριμένα, με κάθε μία από τις πιθανές εναλλακτικές απαντήσεις κάποιας ερώτησης, είναι συσχετισμένη και μία επεξήγηση της αιτίας του σφάλματος που αντιστοιχεί στην απάντηση αυτή. Κατά συνέπεια, ανάλογα με την εσφαλμένη επιλογή του μαθητή, το σύστημα την αποδίδει στην αντίστοιχη αιτία.

Στην περίπτωση των ασκήσεων εισαγωγής λέξης και των ασκήσεων μετατροπής πρότασης, το σύστημα πραγματοποιεί μία λίγο πιο περίπλοκη διαδικασία για τη διάγνωση της αιτίας του σφάλματος ενός μαθητή. Συγκεκριμένα, αρχικά η απάντηση που έχει εισάγει ο μαθητής ελέγχεται για τυχόν τυπογραφικά σφάλματα που μπορεί να οφείλονται στην απροσεξία του μαθητή (π.χ. αναγραμματισμούς, διαγραφή ενός χαρακτήρα, πληκτρολόγηση ενός γειτονικού χαρακτήρα, κλπ.). Τα λάθη αυτά δεν θεωρούνται σημαντικά για το Web-PVT. Παρόλα αυτά, καταγράφονται ώστε να μπορεί το σύστημα να εξάγει συμπεράσματα σχετικά με το βαθμό προσεκτικότητας του μαθητή κατά την επίλυση ασκήσεων. Αν ο μαθητής έχει κάνει μόνο τυπογραφικά λάθη, τότε η απάντησή του θεωρείται ορθή και απλά ενημερώνεται ότι έχει κάνει κάποια ορθογραφικά λάθη τα οποία διορθώνονται από το ΔΕΔΣΓ. Μία περίπτωση τέτοιου λάθους είναι να απαντήσει κάποιος μαθητής στην άσκηση της Εικόνας 4.5 εισάγοντας τη λέξη *wiht* (Εικόνα 4.6). Σε αυτή την περίπτωση, η απάντηση του μαθητή θεωρείται ορθή και το λάθος αυτό θεωρείται ως λάθος απροσεξίας. Η απόκριση του Web-PVT σε αυτό το σφάλμα εμφανίζεται στην Εικόνα 4.7.



Εικόνα 4.6: Τυπογραφικό λάθος του μαθητή σε άσκηση εισαγωγής λέξης.



Εικόνα 4.7: Απόκριση του Web-PVT στην απάντηση της άσκησης της Εικόνας 4.6.

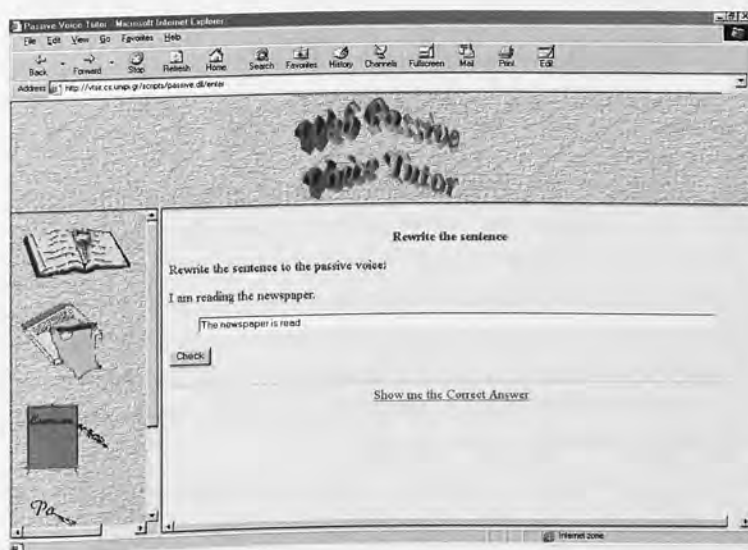
Στην περίπτωση που το λάθος του μαθητή δεν οφείλεται στην απροσεξία του, τότε το Web-PVT αναζητά κάποια βαθύτερη αιτία του σφάλματος με βάση τη γνώση του για τις εοφαλμένες διαδικασίες που χρησιμοποιούν οι μαθητές κατά τη μετατροπή μιας πρότασης στην παθητική φωνή και το αντίστροφο. Συγκεκριμένα, το ΔΕΔΣΤ διατηρεί μία βιβλιοθήκη των πλέον συνηθισμένων εοφαλμένων διαδικασιών των μαθητών. Όταν κάποιος μαθητής δώσει μια λανθασμένη απάντηση, το σύστημα την συγκρίνει με τις απαντήσεις που προκύπτουν από τις εοφαλμένες διαδικασίες που γνωρίζει. Αν κάποια από τις λανθασμένες διαδικασίες βρεθεί να δίνει την ίδια πρόταση με αυτή του μαθητή, το σύστημα παρουσιάζει το αντίστοιχο συμβουλευτικό μήνυμα και καταγράφει το σφάλμα στο μοντέλο μακράς διάρκειας του συγκεκριμένου μαθητή.

Σε κάποιες περιπτώσεις το σφάλμα ενός μαθητή μπορεί να αποδίδεται σε περισσότερες από μία αιτίες. Σε τέτοιες περιπτώσεις, το σύστημα λαμβάνει υπ' όψη τα χαρακτηριστικά του μαθητή όπως προκύπτουν από το μοντέλο του για να επιλέξει μία από τις πιθανές αιτίες. Έστω ότι κάποιος μαθητής που καλείται να μετατρέψει την πρόταση "Jim drives expensive cars" στην παθητική φωνή (ορθή απάντηση "Expensive cars are driven by Jim") δώσει την απάντηση "Expensive cars are *drive* by Jim" (όπου το ρήμα "drive" δεν είναι στην παθητική μετοχή). Το συγκεκριμένο σφάλμα μπορεί να αποδοθεί σε δύο αιτίες: είτε μπορεί να είναι ένα λάθος απροσεξίας, είτε μπορεί να οφείλεται στη βαθύτερη αιτία ότι ο μαθητής δεν γνωρίζει την έννοια της μετατροπής του χρόνου του ρήματος στην παθητική φωνή (Verb Tense Conversion). Εάν ο συγκεκριμένος μαθητής θεωρείται από το σύστημα ότι κάνει συχνά λάθη απροσεξίας, ενώ δεν συνηθίζει να κάνει λάθη στη μετατροπή του χρόνου του ρήματος στην παθητική φωνή, τότε το σύστημα θα υποθέσει ότι το λάθος του μαθητή οφείλεται στην απροσεξία του.

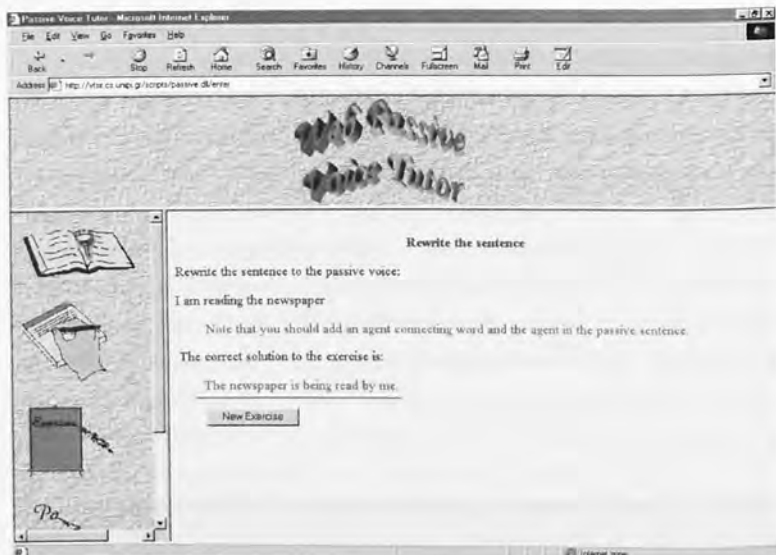
Παραγωγή Εξατομικευμένων Μηνυμάτων Λάθους

Εκτός από τη διαδικασία διάγνωσης λαθών, το Web-PVT, χρησιμοποιεί στοιχεία σχετικά με το γνωστικό επίπεδο του μαθητή για να καθορίσει το επίπεδο λεπτομέρειας των διαγνωστικών μηνυμάτων που παρουσιάζονται στο μαθητή όταν κάνει λάθη κατά την επίλυση ασκήσεων. Όσο μεγαλύτερο είναι το γνωστικό επίπεδο του μαθητή στην έννοια που έχει χρησιμοποιηθεί λανθασμένα, τόσο λιγότερο λεπτομερές είναι το διαγνωστικό μήνυμα που παρουσιάζεται.

Το Web-PVT υποστηρίζει τρία επίπεδα βοήθειας στην περίπτωση μιας λανθασμένης απάντησης. Το πιο λεπτομερές διαγνωστικό μήνυμα παρουσιάζεται στους μαθητές που έχουν χαμηλό γνωστικό επίπεδο στην έννοια με την οποία σχετίζεται κάποιο λάθος (Επίπεδο_Γνώσης < 0.6). Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα παρουσιάζει στο μαθητή την ορθή λύση της άσκησης και ενημερώνει το μαθητή σχετικά με το λάθος που έχει κάνει. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι κάποιος μαθητής καλείται να λύσει μία άσκηση μετατροπής πρότασης από την ενεργητική στην παθητική φωνή και δίνει την απάντηση που παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.8. Στην περίπτωση αυτή, αν το επίπεδο γνώσης του μαθητή στην έννοια «Εισαγωγή του πράκτορα της ενέργειας στην παθητική πρόταση» είναι χαμηλό, το Web-PVT θα παρέχει στο μαθητή την εξήγηση του σφάλματος που έκανε και θα του παρουσιάσει την ορθή λύση στην άσκηση (Εικόνα 4.9).

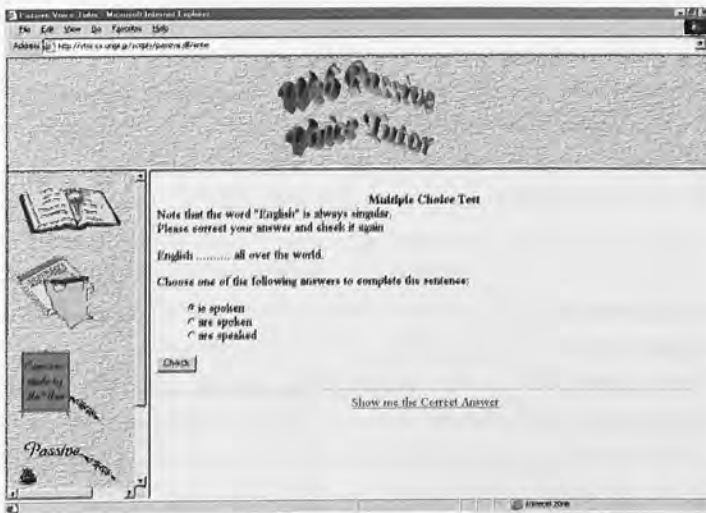


Εικόνα 4.8: Παράδειγμα λανθασμένης απάντησης σε άσκηση μετατροπής πρότασης από την ενεργητική στην παθητική φωνή.



Εικόνα 4.9: Βοήθεια πρώτου επιπέδου στη λανθασμένη απάντηση της Εικόνας 4.8.

Στο δεύτερο επίπεδο βοήθειας (που παρουσιάζεται σε μαθητές για τους οποίους ισχύει ότι το γνωστικό τους επίπεδο στην έννοια που έχει χρησιμοποιηθεί λανθασμένα είναι μικρότερο από 0.8), ο μαθητής ενημερώνεται από το ΔΕΔΣΓ σχετικά με το είδος του λάθους που έχει κάνει και καλείται από το σύστημα να διορθώσει το λάθος και να ελέγξει ξανά την απάντησή του (Εικόνα 4.10). Τέλος, οι μαθητές που το γνωστικό τους επίπεδο είναι μεγαλύτερο από 0.8 στην έννοια που έχει χρησιμοποιηθεί λανθασμένα, ενημερώνονται απλά ότι η απάντησή τους είναι λανθασμένη και καλούνται να τη διορθώσουν.



Εικόνα 4.10: Βοήθεια δευτέρου επιπέδου σε άσκηση πολλαπλών επιλογών.

Εάν κάποιος μαθητής δεν μπορέσει να διορθώσει το λάθος του με βάση το διαγνωστικό μήνυμα που έχει λάβει, τότε την επόμενη φορά που ελέγχει την απάντησή του, το σύστημα παρουσιάζει το μήνυμα που αντιστοιχεί στο αμέσως μεγαλύτερο επίπεδο λεπτομέρειας. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που κάποιος μαθητής που έχει ενημερωθεί ότι η απάντησή του περιέχει κάποιο λάθος δεν καταφέρει να το διορθώσει, την επόμενη φορά που θα ελέγξει την απάντησή του θα λάβει το διαγνωστικό μήνυμα που θα τον ενημερώνει σχετικά με το είδος του λάθους που έχει κάνει. Επιπλέον, όλοι οι μαθητές μπορούν ανά πάσα στιγμή να ζητήσουν από το Web-PVT να τους εμφανίσει τη λύση της άσκησης.

4.6 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκε η μεταφορά ενός αυτόνομου ΕΔΣΓ (PVT) στο διαδίκτυο καθώς και η λειτουργικότητα του παραγόμενου ΔΕΔΣΓ (Web-PVT). Το Web-PVT βασίζεται σε κάποιο βαθμό στο αυτόνομο ΕΔΣΓ. Παρόλα αυτά, με βάση τα αποτελέσματα της αξιολόγησης του PVT, ένα μεγάλο μέρος του Web-PVT σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε εξ αρχής. Επιπλέον, εξαιτίας της διαφορετικής φύσης του διαδικτύου, κάποια τμήματα του ΔΕΔΣΓ υλοποιήθηκαν εκ νέου ώστε να

χρησιμοποιούν τεχνικές που είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για διαδικτυακές εφαρμογές (π.χ. προσαρμοστική υποστήριξη κατά την πλοήγηση).

Το ΔΕΔΣΓ που προέκυψε έχει τη δυνατότητα να διατηρεί στοιχεία αναφορικά με το γνωστικό επίπεδο του μαθητή και την τάση αυτού να κάνει σφάλματα. Τα στοιχεία αυτά καταγράφονται στο μοντέλο του μαθητή. Στη συνέχεια, με βάση το μοντέλο του κάθε μαθητή, το Web-PVT υποστηρίζει το μαθητή όταν αυτός μελετά θεωρία ή λύνει ασκήσεις. Συγκεκριμένα, με βάση τις πληροφορίες σχετικά με τη συσχέτιση των θεωρητικών εννοιών όπως αυτές καταγράφονται στο γνωστικό πεδίο και τις πληροφορίες που διατηρούνται στο μοντέλο του εκάστοτε μαθητή, το ΔΕΔΣΓ προσαρμόζει κατάλληλα τον πίνακα περιεχομένων της θεωρίας ώστε να βοηθά το μαθητή όταν αυτός καλείται να επιλέξει κάποια θεωρητική ενότητα για να μελετήσει. Η προσαρμογή του πίνακα περιεχομένων της θεωρίας επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός συνδυασμού δύο τεχνικών από τον τομέα των ΠΣΥ: α) της αμέσου καθοδήγησης και β) της επισημείωσης συνδέσμων.

Εκτός από την προσαρμοστική υποστήριξη του μαθητή καθώς αυτός μελετά θεωρία, το Web-PVT συμβουλευέται το μοντέλο του μαθητή για να τον βοηθά όταν λύνει ασκήσεις. Ο μαθητής μπορεί να ζητήσει από το σύστημα να τον βοηθήσει στην επιλογή κάποιας άσκησης προς επίλυση, η οποία να είναι κατάλληλη για το γνωστικό του επίπεδο όπως αυτό αναπαρίσταται στο μοντέλο του. Επιπλέον, όταν ο μαθητής δίνει μία απάντηση σε κάποια άσκηση, το Web-PVT πραγματοποιεί ευφυή ανάλυση της λύσης του μαθητή και προσαρμόζει κατάλληλα το διαγνωστικό μήνυμα που παρουσιάζεται στο μαθητή σε περίπτωση λάθους.

5 Εξατομίκευση της Διδασκαλίας στο Web-PVT

5.1 Εισαγωγή

Η ευφυΐα και η προσαρμοστικότητα σε ένα εκπαιδευτικό σύστημα παρέχεται με τη βοήθεια του υποσυστήματος μοντελοποίησης μαθητών. Το Web-PVT είναι ένα προσαρμοστικό ΔΕΣΔΓ που στοχεύει στην παροχή εξατομικευμένης διδασκαλίας για το αντικείμενο της παθητικής φωνής της Αγγλικής γλώσσας. Για να προσαρμόζει τις διδακτικές αποφάσεις στις ανάγκες και τις ιδιαιτερότητες ενός μαθητή, το σύστημα κατασκευάζει το ατομικό του μοντέλο και βασίζεται σε αυτό.

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται ο τρόπος που το Web-PVT κατασκευάζει το μοντέλο του κάθε μαθητή. Συγκεκριμένα, η ενότητα 5.2 αναλύει τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των μοντέλων των μαθητών. Ένα σημείο στο οποίο έχει δοθεί μεγάλη έμφαση στο Web-PVT είναι η αρχικοποίηση του μοντέλου του μαθητή. Το ζήτημα αυτό είναι πολύ βασικό για την αρχική αποδοχή ή όχι ενός διδακτικού συστήματος. Παρόλα αυτά, πολύ λίγη ερευνητική προσπάθεια έχει καταβληθεί στον τομέα αυτό μέχρι σήμερα. Το Web-PVT χρησιμοποιεί ένα πρωτότυπο τρόπο για την ανάθεση αρχικών τιμών στο μοντέλο του μαθητή (Tsiriga & Virvou 2002a, 2002b), ο οποίος αποτελεί το αντικείμενο της ενότητας 5.3. Στο κεφάλαιο αυτό (ενότητα 5.4) παρουσιάζεται και η προσέγγιση που ακολουθεί το Web-PVT για να ενημερώνει το μοντέλο του μαθητή με βάση τις ενέργειές του. Τέλος, στην ενότητα 5.5 παρατίθενται κάποια συμπεράσματα.

5.2 Αναπαράσταση του Μοντέλου της Εξατομικευμένης Μαθησιακής Διαδικασίας

Το μοντέλο του κάθε μαθητή αναπαρίσταται στο Web-PVT ως ένα ζεύγος διανυσμάτων. Το πρώτο διάνυσμα περιέχει τις πληροφορίες που λαμβάνονται από τον μαθητή όταν αυτός χρησιμοποιεί για πρώτη φορά το σύστημα. Οι πληροφορίες που εμπεριέχονται στο συγκεκριμένο διάνυσμα δεν είναι συσχετισμένες με το αντικείμενο διδασκαλίας του Web-PVT, όπως αυτό αναπαρίσταται στο γνωστικό

πεδίο του ΔΕΔΣΓ. Το δεύτερο διάνυσμα από την άλλη πλευρά, είναι άμεσα συσχετισμένο με το γνωστικό πεδίο του συστήματος. Σε αντίθεση με το πρώτο διάνυσμα, τα χαρακτηριστικά που καταγράφονται στο δεύτερο διάνυσμα λαμβάνουν αρχικές τιμές κατά την αρχικοποίηση του μοντέλου του μαθητή στην πρώτη αλληλεπίδραση αυτού με το Web-PVT. Στη συνέχεια, καθώς το ΔΕΔΣΓ συγκεντρώνει πληροφορίες με βάση την πραγματική συμπεριφορά του μαθητή, τα στοιχεία του συγκεκριμένου διανύσματος ενημερώνονται ώστε να αντικατοπτρίζουν την τρέχουσα κατάσταση του μαθητή ως προς τις γνώσεις και τις αδυναμίες του στο διδασκόμενο αντικείμενο.

Passive Voice Tutor - New User Information - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Go Favorites Help

Back Stop Refresh Home Search Favorites History Channels Fullscreen Mail Print

Address http://www.ccs.uoi.gr/scripts/passive_id/New_User_Info

Name: Jim

Surname: Kotronakis

Password: [redacted]

Age: 14

Teacher: Dionisia Papadaki

What is your Mother Tongue: Greek

Check the languages that you already know

Chinese Greek

English Italian

Finnish Russian

French Spanish

German Turkish

In what category would you place yourself concerning your
carefulness while solving exercises: Beginner

Before using the Passive Voice Tutor, you have to take a preliminary test

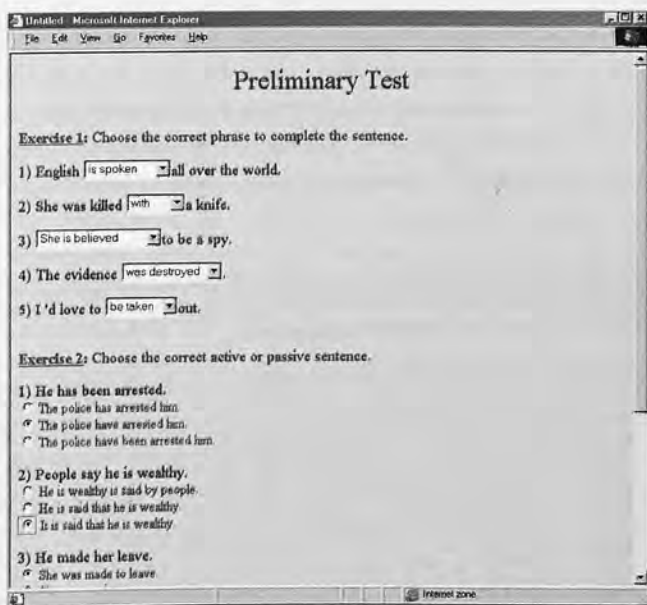
Enter Clear

Internet zone

Εικόνα 5.1 Οθόνη παροχής προσωπικών στοιχείων του μαθητή.

Το Web-PVT λαμβάνει αρχικά πληροφορίες σχετικά με κάποιο νέο μαθητή, κατά την πρώτη αλληλεπίδραση αυτού με το σύστημα. Συγκεκριμένα, ο μαθητής καλείται

να παρέχει κάποια προσωπικά στοιχεία, απαντώντας σε κάποιες ερωτήσεις που του θέτει το ΔΕΔΣΓ. Στην Εικόνα 5.1, παρουσιάζεται η αρχική οθόνη παροχής προσωπικών στοιχείων του Web-PVT. Όπως φαίνεται στην εικόνα, οι πρώτες πέντε ερωτήσεις σχετίζονται με τη δημιουργία ενός «φακέλου» (record) του μαθητή (όνομα, επώνυμο, κωδικός πρόσβασης για το Web-PVT, ηλικία και επιβλέπων εκπαιδευτικός). Στη συνέχεια (ερωτήσεις 6 και 7), ο μαθητής καλείται να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη μητρική του γλώσσα, καθώς και άλλες γλώσσες που γνωρίζει ήδη σε κάποιο βαθμό. Τέλος, στην όγδοη ερώτηση του ερωτηματολογίου, ο μαθητής καλείται να κατατάξει τον εαυτό του σε μία κατηγορία ως προς τον βαθμό προσοχής του κατά την επίλυση ασκήσεων. Οι δυνατές κατηγορίες μεταξύ των οποίων μπορεί να επιλέξει ο μαθητής είναι: α) απρόσεκτος (careless), β) μέτρια προσεκτικός (averagely careful), και γ) προσεκτικός (careful). Για παράδειγμα, αν ο μαθητής έχει διαπιστώσει ότι κάνει αρκετά λάθη απροσεξίας, τότε θα κατέτασσε τον εαυτό του στην κατηγορία «απρόσεκτος».



Εικόνα 5.2 Προκαταρκτικό τεστ εκτίμησης επιπέδου γνώσης του μαθητή στην παθητική φωνή.

Ο πιο εύκολος τρόπος απόκτησης πληροφοριών για το μαθητή είναι η άμεση έκφραση από το μαθητή των πεποιθήσεών του σχετικά με τις ερωτήσεις που του θέτει το σύστημα. Παρόλα αυτά, η μέθοδος αυτή συχνά οδηγεί σε λανθασμένες εκτιμήσεις, διότι σε πολλές περιπτώσεις οι χρήστες δεν έχουν πλήρη επιγνώση των δυνατοτήτων και των αδυναμιών τους (Hothi & Hall 1998; Kobsa et al. 2001). Κατά συνέπεια, το Web-PVT δεν βασίζεται εξ ολοκλήρου στις εκτιμήσεις που κάνει ο κάθε μαθητής για τον εαυτό του. Ειδικά για την εκτίμηση του επιπέδου γνώσης των μαθητών στο αντικείμενο της παθητικής φωνής της Αγγλικής γλώσσας, το Web-PVT χρησιμοποιεί ένα προκαταρκτικό τεστ (Εικόνα 5.2).

Το προκαταρκτικό τεστ κατασκευάστηκε με τη συμμετοχή καθηγητών της Αγγλικής γλώσσας έτσι ώστε να περιλαμβάνει ενδεικτικές ερωτήσεις που καλύπτουν σε ικανοποιητικό βαθμό το φάσμα του διδασκόμενου αντικειμένου. Το προκαταρκτικό τεστ παρέχεται στο μαθητή πριν αυτός αρχίσει να αλληλεπιδρά με το Web-PVT. Στη συνέχεια, με βάση την επίδοση του μαθητή στο προκαταρκτικό τεστ, το σύστημα τον κατατάσσει σε κάποιο στερεότυπο ως προς το γνωστικό του επίπεδο. Τα στερεότυπα που υποστηρίζονται από το ΔΕΔΣΓ είναι: α) αδαής (novice), β) αρχάριος (beginner), γ) με μέτρια γνώση (intermediate) και δ) προχωρημένος (advanced). Μόλις το σύστημα συλλέξει τις αναγκαίες αρχικές πληροφορίες για το μαθητή από το ερωτηματολόγιο και το προκαταρκτικό τεστ, κατασκευάζει ένα πρώτο διάνοσμα αναπαράστασης του μοντέλου του μαθητή, το οποίο έχει την ακόλουθη μορφή:

<Κωδικός_Μαθητή, Όνομα, Στερεότυπο, Βαθμός_Προσοχής, Μητρική_Γλώσσα, Κινιζικά, Αγγλικά, Φινλανδικά, Γαλλικά, Γερμανικά, Ελληνικά, Ιταλικά, Ρώσικα, Ισπανικά, Τούρκικα>

Συγκεκριμένα, η τιμή του πρώτου χαρακτηριστικού του διανόσματος είναι ένας κωδικός που αποδίδεται από το σύστημα ώστε να αντιστοιχεί μοναδιαία σε κάποιο μαθητή. Επιπλέον, με βάση τις απαντήσεις του μαθητή στο ερωτηματολόγιο, λαμβάνουν τιμές όλα τα χαρακτηριστικά του διανόσματος εκτός από το χαρακτηριστικό «Στερεότυπο». Συγκεκριμένα, το χαρακτηριστικό «Όνομα» λαμβάνει τιμές με βάση τις απαντήσεις του μαθητή στις ερωτήσεις 1 και 2 του ερωτηματολογίου της Εικόνας 5.1, το χαρακτηριστικό «Βαθμός_Προσοχής» λαμβάνει τιμές από το σύνολο (απρόσεκτος, μέτρια προσεκτικός, προσεκτικός) με βάση την επιλογή του μαθητή στην ερώτηση 8 του ερωτηματολογίου, ενώ το χαρακτηριστικό

«Μητρική γλώσσα» λαμβάνει τιμή από το σύνολο (Κινέζικα, Αγγλικά, Φινλανδικά, Γαλλικά, Γερμανικά, Ελληνικά, Ιταλικά, Ρώσικα, Ιαπωνικά, Τούρκικα) με βάση τη γλώσσα που επέλεξε ο μαθητής ως μητρική στην όκτη ερώτηση του ερωτηματολογίου. Τέλος τα χαρακτηριστικά «Κινέζικα», «Αγγλικά», «Φινλανδικά», «Γαλλικά», «Γερμανικά», «Ελληνικά», «Ιταλικά», «Ρώσικα», «Ιαπωνικά» και «Τούρκικα» λαμβάνουν τιμές από το σύνολο (ναι, όχι) ανάλογα με το αν ο μαθητής έχει επιλέξει ή όχι τη συγκεκριμένη γλώσσα ως γνωστή στην ερώτηση 7 του ερωτηματολογίου. Επιπλέον, η τιμή «ναι» αποδίδεται και στη μητρική γλώσσα του μαθητή. Για παράδειγμα, στην περίπτωση των απαντήσεων που παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.1, τα χαρακτηριστικά «Ελληνικά» (λόγω της επιλογής της ως μητρική γλώσσα), «Γερμανικά» και «Ρώσικα» θα έχουν την τιμή «ναι», ενώ τα χαρακτηριστικά που αντιστοιχούν στις υπόλοιπες γλώσσες θα έχουν την τιμή «όχι». Η τιμή του χαρακτηριστικού «Στερεότυπο» από την άλλη πλευρά, λαμβάνει μία τιμή από το σύνολο (αδαιξ, αρχάριος, με μέτρια γνώση, προχωρημένος) ανάλογα με το στερεότυπο που ενεργοποιείται για το μαθητή με βάση την επίδοσή του στο προκαταρκτικό τεστ.

Το δεύτερο διάνυσμα αναπαράστασης του μοντέλου του μαθητή σχετίζεται άμεσα με το γνωστικό πεδίο του Web PVT. Συγκεκριμένα, για κάθε θεωρητική έννοια (concept) του γνωστικού πεδίου, υπάρχουν δύο ζεύγη χαρακτηριστικό-τιμή στο δεύτερο διάνυσμα. Το πρώτο ζεύγος αναπαριστά την εκτίμηση του συστήματος σχετικά με το επίπεδο γνώσης του μαθητή στη συγκεκριμένη θεωρητική έννοια, ενώ το δεύτερο ζεύγος αφορά στην τάση του μαθητή να κάνει σφάλματα όταν χρησιμοποιεί τη συγκεκριμένη έννοια κατά την επίλυση ασκήσεων. Οι τιμές των δύο αυτών εκτιμήσεων βρίσκονται εντός του διαστήματος [0..1]. Κατά την εκτίμηση του επιπέδου γνώσης του μαθητή, η τιμή 0 αναπαριστά την πεποίθηση του συστήματος ότι ο μαθητής δεν γνωρίζει καθόλου τη συγκεκριμένη θεωρητική έννοια, ενώ η τιμή 1 απεικονίζει την πεποίθηση του συστήματος ότι ο μαθητής γνωρίζει πολύ καλά την θεωρητική έννοια. Επιπλέον, σχετικά με την τάση του μαθητή να κάνει λάθη, η τιμή 0 αφορά στην πεποίθηση του συστήματος ότι ο μαθητής δεν κάνει ποτέ σφάλματα κατά τη χρήση της έννοιας σε ασκήσεις, ενώ η τιμή 1 αναπαριστά την πεποίθηση του συστήματος ότι ο μαθητής κάνει πάντα λάθη στις ασκήσεις που είναι συσχετισμένες με την έννοια αυτή. Κατά συνέπεια, το δεύτερο διάνυσμα αναπαράστασης του μοντέλου του μαθητή είναι της μορφής:

<Κωδικός_Μαθητή, Επίπεδο_Γνώσης(Έννοια1), Λάθη(Έννοια1),
Επίπεδο_Γνώσης(Έννοια2), Λάθη(Έννοια2), ...>

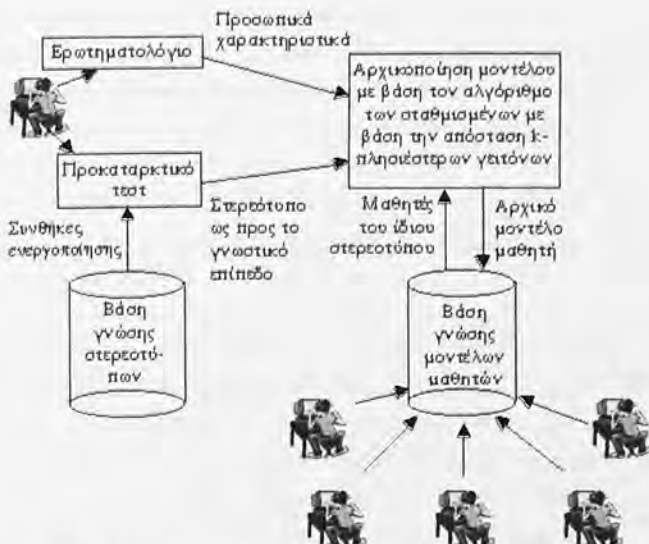
Για παράδειγμα, στην περίπτωση που το γνωστικό πεδίο της παθητικής φωνής της Αγγλικής γλώσσας αποτελείτο μόνο από τις θεωρητικές έννοιες “Tense transformation”, “Passive of modal verbs” και “Agent connecting word”, το ζεύγος διανυσμάτων:

<Stu_1, Δημήτρης Κοτρονάκης, Με μέτρια γνώση, Απρόσεκτος, Ελληνικά, όχι, όχι, όχι, ναι, όχι, ναι, όχι, όχι, όχι, όχι> και
<Stu_1, 1, 0, 0.7, 0.3, 0.8, 0.1>

θα αναπαριστούσε κάποιο μαθητή που ονομάζεται Δημήτρης Κοτρονάκης, και ο οποίος θεωρείται από το σύστημα ότι ανήκει στο στερεότυπο «με μέτρια γνώση» ως προς το επίπεδο γνώσης του στο αντικείμενο της παθητικής φωνής της Αγγλικής γλώσσας, ενώ επίσης έχει αυτοπροοριστεί ως «απρόσεκτος» κατά την επίλυση ασκήσεων. Επιπλέον, η μητρική γλώσσα του μαθητή είναι τα Ελληνικά, ενώ γνωρίζει ως ξένη γλώσσα τη Γαλλική. Σύμφωνα με τα δεδομένα του δεύτερου διανύσματος αναπαράστασης του μοντέλου του μαθητή, ο Δημήτρης έχει πλήρη γνώση (Επίπεδο_Γνώσης= 1) της έννοιας “Tense Transformation”, και δεν κάνει ποτέ λάθη στη χρήση της συγκεκριμένης έννοιας σε ασκήσεις (Λάθη=0). Επιπρόσθετα, το επίπεδο γνώσης του μαθητή σχετικά με την έννοια “Passive of modal verbs” είναι 0.7, ενώ ο μαθητής κάνει λάθη σε ασκήσεις που αντιστοιχούν στην έννοια με ποσοστό 30%. Τέλος, το Web-PVT έχει πραγματοποιήσει την εκτίμηση ότι ο Jim γνωρίζει την έννοια “Agent connecting word” σε βαθμό 0.8 και ότι κάνει λάθη κατά την χρήση της έννοιας σε ασκήσεις με ένα ποσοστό 10%.

5.3 Αρχικοποίηση του Μοντέλου

Το Web-PVT αρχικοποιεί το μοντέλο ενός μαθητή που αλληλεπιδρά για πρώτη φορά με το σύστημα χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό των στερεοτύπων και του αλγορίθμου των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k-πλησιέστερων γειτόνων (distance weighted k-nearest neighbor). Η βασική αρχιτεκτονική του τμήματος του υποσυστήματος μοντελοποίησης μαθητών που είναι υπεύθυνο για την αρχικοποίηση των μοντέλων των μαθητών παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.3.



Εικόνα 5.3 Αρχικοποίηση του μοντέλου ενός μαθητή στο Web-PVT.

Όπως φαίνεται στην εικόνα, αρχικά το σύστημα συλλέγει πληροφορίες σχετικά με τα προσωπικά στοιχεία και το στερεότυπο που ανήκει κάποιος νέος μαθητής, ως προς το γνωστικό του επίπεδο στο αντικείμενο της παθητικής φωνής της Αγγλικής γλώσσας, με τη βοήθεια ενός ερωτηματολογίου και ενός προκαταρκτικού τεστ. Η πληροφορία που συλλέγεται στη φάση αυτή αναπαρίσταται στο πρώτο διάγραμμα αναπαράστασης του μοντέλου του μαθητή, που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα. Στη συνέχεια, το ΔΕΔΣΓ χρησιμοποιεί τα στοιχεία που έχουν καταγραφεί στα μοντέλα άλλων μαθητών που ανήκουν στο ίδιο στερεότυπο με το νέο μαθητή, ώστε να θέσει αρχικές τιμές στο δεύτερο διάγραμμα αναπαράστασης του μοντέλου του μαθητή.

Συγκεκριμένα, το σύστημα πραγματοποιεί μία εκτίμηση του γνωστικού επιπέδου ή της τάσης του νέου μαθητή να κάνει λάθη σχετικά με κάποια θεωρητική έννοια, χρησιμοποιώντας το σταθμισμένο μέσο των γνωστών τιμών του συγκεκριμένου χαρακτηριστικού όπως αυτές προκύπτουν από τα μοντέλα των άλλων μαθητών που ανήκουν στο ίδιο στερεότυπο με το νέο μαθητή. Το βάρος της συνεισφοράς του κάθε γειτονικού μαθητή υπολογίζεται με βάση την ομοιότητα του με το νέο μαθητή. Στην περίπτωση του Web-PVT το μέτρο ομοιότητας εκτιμάται λαμβάνοντας υπ' όψη τη μητρική γλώσσα του μαθητή, το βαθμό προσοχής του στην επίλυση ασκήσεων, καθώς

και τυχόν άλλες γλώσσες που γνωρίζει ήδη ο μαθητής. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν άλλοι μαθητές που ανήκουν στο ίδιο στερεότυπο με το νέο μαθητή, τότε η αρχικοποίηση του μοντέλου του γίνεται με βάση τις προκαθορισμένες υποθέσεις (default assumptions) του στερεοτύπου.

5.3.1 Στερεότυπα ως προς το Γνωστικό Επίπεδο του Μαθητή

Σύμφωνα με την Kay (2000), τα βασικά συστατικά στοιχεία ενός στερεοτύπου είναι:

- ❖ ένα σύνολο *συνθηκών ενεργοποίησης* (trigger conditions), οι οποίες είναι εκφράσεις που λαμβάνουν λογικές τιμές (boolean expressions) και χρησιμεύουν για την ενεργοποίηση του στερεοτύπου,
- ❖ ένα σύνολο *συνθηκών αναίρεσης* (retraction conditions) που είναι υπεύθυνες για την απενεργοποίηση ενός ισχύοντος στερεοτύπου και
- ❖ ένα σύνολο *κανόνων συμπερασμού* του στερεοτύπου, που αποτελούν τις προκαθορισμένες υποθέσεις που θεωρεί το σύστημα ότι ισχύουν για κάθε χρήστη που ανήκει σε κάποιο στερεότυπο.

Όπως προαναφέρθηκε, το Web-PVT κατηγοριοποιεί τους μαθητές σε στερεότυπα όσον αφορά στο γνωστικό τους επίπεδο στο αντικείμενο που διδάσκεται. Τα τέσσερα δυνατά στερεότυπα στα οποία μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ο μαθητής είναι: α) αδαής (novice), β) αρχάριος (beginner), με μέτρια γνώση (intermediate) και γ) προχωρημένος (advanced). Το στερεότυπο στο οποίο κατατάσσεται κάποιος μαθητής προκύπτει με βάση την απόδοσή του στο προκαταρκτικό τεστ που παρουσιάζεται κατά την πρώτη αλληλεπίδρασή του με το ΔΕΔΣΓ.

Οι συνθήκες ενεργοποίησης των στερεοτύπων που σχετίζονται με το προκαταρκτικό τεστ σχετίζονται με τα σφάλματα του μαθητή στις ερωτήσεις του τεστ. Για παράδειγμα, στην περίπτωση ενός αρχάριου μαθητή, μία συνθήκη ενεργοποίησης είναι το ότι ο μαθητής κάνει σφάλματα στο προκαταρκτικό τεστ που σχετίζονται με την έννοια της μετατροπής του χρόνου ενός ρήματος στην παθητική φωνή με ποσοστό μεγαλύτερο από 60%. Αυτό γίνεται έτσι διότι η έννοια της μετατροπής του χρόνου ενός ρήματος είναι μέτριας δυσκολίας σύμφωνα με την ιεραρχία του γνωστικού πεδίου.

Καθώς ο μαθητής διδάσκεται το αντικείμενο μέσω της αλληλεπίδρασής του με το ΔΕΔΣΓ, η γνώση του τροποποιείται και κατά συνέπεια, πρέπει να αλλάξει και το

στερεότυπο στο οποίο ανήκει. Για να μπορεί το σύστημα να πραγματοποιήσει τέτοιες αλλαγές, βασίζεται στις συνθήκες αναίρεσης του στερεοτύπου. Για παράδειγμα, για το στερεότυπο των «αρχαρίων» μαθητών, μία συνθήκη αναίρεσης είναι ότι ο μαθητής κάνει σφάλματα στην έννοια των ανωμάτων ρημάτων με ποσοστό μεγαλύτερο από 30%. Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα αλλάζει το στερεότυπο του μαθητή από «αρχάριος» σε «αδαής». Αυτό γίνεται έτσι διότι η έννοια των ανωμάτων ρημάτων ανήκει στην κατηγορία εννοιών που θεωρούνται απλές (ως προς το βαθμό δυσκολίας τους).

Οι κανόνες συμπερασμού των στερεοτύπων του Web-PVT, αντιστοιχούν στις προκαθορισμένες υποθέσεις του συστήματος σχετικά με το επίπεδο γνώσης και την τάση του μαθητή να κάνει σφάλματα σε κάθε θεωρητική έννοια. Συγκεκριμένα, για κάθε ένα από τα υποστηριζόμενα στερεότυπα, υπάρχουν προκαθορισμένες υποθέσεις που σχετίζονται με τη γνώση του μαθητή αναφορικά με κάθε κατηγορία εννοιών ως προς το βαθμό δυσκολίας (απλή, μέτριας δυσκολίας, δύσκολη). Για παράδειγμα, οι κανόνες συμπερασμού του στερεοτύπου μαθητή «με μέτρια γνώση» είναι οι εξής:

- ❖ Ο μαθητής γνωρίζει σε ικανοποιητικό βαθμό τις θεωρητικές έννοιες που ανήκουν στην κατηγορία «απλές» ως προς το βαθμό δυσκολίας τους (Επίπεδο_Γνώσης(των απλών εννοιών)=1) και δεν κάνει πολλά σφάλματα σε αυτές τις έννοιες (Λάθη(των απλών εννοιών)=0.1).
- ❖ Ο μαθητής γνωρίζει σε κάποιο βαθμό τις έννοιες «μέτριας δυσκολίας» (Επίπεδο_Γνώσης(των εννοιών μέτριας δυσκολίας)=0.5) αλλά κάνει λάθη στη χρήση αυτών των εννοιών (Λάθη(των εννοιών μέτριας δυσκολίας)=0.5).
- ❖ Ο μαθητής δεν γνωρίζει καθόλου τις έννοιες που θεωρούνται δύσκολες (Επίπεδο_Γνώσης(των δύσκολων εννοιών)=0) και κάνει πάντα λάθη στη χρήση τους (Λάθη(των δύσκολων εννοιών)=1).

5.3.2 Σταθμισμένοι με βάση την απόσταση k-πλησιέστεροι γείτονες

Οι βασικές αποφάσεις που πρέπει να ληφθούν κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k-πλησιέστερων γειτόνων είναι οι ακόλουθες:

- ❖ Ποιά χαρακτηριστικά θα χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εισόδου του αλγορίθμου;

- ❖ Ποιά θα είναι η συνάρτηση που θα υπολογίζει την απόσταση μεταξύ δύο παραδειγμάτων;
- ❖ Πόσα γειτονικά παραδείγματα θα λαμβάνονται υπ' όψη κατά τη διαδικασία της κατηγοριοποίησης ενός νέου παραδείγματος;
- ❖ Ποιά θα είναι η συνάρτηση που θα κατηγοριοποιεί τα νέα παραδείγματα;

Δεδομένα Εισόδου του Αλγόριθμου

Στην περίπτωση του Web-PVT, ο αλγόριθμος των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k -πλησιέστερων γειτόνων χρησιμοποιείται για την αρχικοποίηση του μοντέλου ενός νέου μαθητή, λαμβάνοντας υπ' όψη το θέμα της επιρροής στη μάθηση εξαιτίας της γνώσης κάποιας άλλης γλώσσας, καθώς και το βαθμό προσοχής του μαθητή κατά την επίλυση ασκήσεων. Η επιλογή των χαρακτηριστικών που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ μαθητών βασίζεται στο γεγονός ότι οι μαθητές συχνά χρησιμοποιούν την εμπειρία που έχουν από τη γνώση της μητρικής τους γλώσσας (ή κάποιας άλλης γλώσσας που έχουν διδαχθεί) για την οργάνωση της γλώσσας που μαθαίνουν από το ΔΕΔΣΓ (Michaud et al. 2001). Επιπρόσθετα, ο βαθμός προσοχής του μαθητή μπορεί να είναι η αιτία που ο μαθητής κάνει κάποια είδη λαθών (π.χ. ορθογραφικά λάθη). Κατά συνέπεια, τα χαρακτηριστικά που αποτελούν την πηγή για τον υπολογισμό του βαθμού ομοιότητας μεταξύ δύο μαθητών είναι αυτά που καταγράφονται στο πρώτο δάνυσμα αναπαράστασης του μοντέλου του μαθητή. Συγκεκριμένα, τα χαρακτηριστικά που αποτελούν είσοδο για τον αλγόριθμο είναι η μητρική γλώσσα του μαθητή, οι άλλες γλώσσες που γνωρίζει ο μαθητής και ο βαθμός προσοχής του κατά την επίλυση ασκήσεων.

Συνάρτηση Υπολογισμού της Απόστασης Δύο Μαθητών

Τα χαρακτηριστικά του μαθητή που αποτελούν την πηγή για τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ δύο μαθητών λαμβάνουν ονομαστικές τιμές από ένα απαριθμητό σύνολο τιμών. Κατά συνέπεια, η συνάρτηση που υπολογίζει την απόσταση των μαθητών πρέπει να μπορεί να διαχειρίζεται τέτοιου είδους τιμές. Στο Web-PVT χρησιμοποιείται μια απλή συνάρτηση επικάλυψης (*overlap metric*) για τον ορισμό της διαφοράς μεταξύ δύο τιμών που ανήκουν στο ίδιο απαριθμητό σύνολο. Επιπλέον, εάν κάποια τιμή ενός χαρακτηριστικού δεν είναι γνωστή στο σύστημα, τότε η απόστασή της από οποιαδήποτε γνωστή τιμή λαμβάνει την τιμή 1 (μέγιστη

απόσταση). Συνεπώς, η συνάρτηση που χρησιμοποιείται από το Web-PVT για τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ δύο τιμών x και y ενός συγκεκριμένου χαρακτηριστικού a παρουσιάζεται στην Εξίσωση 5.1.

$$d_a(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{αν } x \text{ ή } y \text{ άγνωστα, διαφορετικά} \\ \text{overlap}(x, y) & \end{cases} \quad \text{Εξίσωση 5.1}$$

Επιπλέον, στην Εξίσωση 5.2 ορίζεται η συνάρτηση overlap.

$$\text{overlap}(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{εαν } x = y \\ 1, & \text{διαφορετικά} \end{cases} \quad \text{Εξίσωση 5.2}$$

Η συνολική απόσταση μεταξύ δύο μαθητών μ_a και μ_b υπολογίζεται όπως φαίνεται στην Εξίσωση 5.3, όπου n είναι ο αριθμός των χαρακτηριστικών που λαμβάνονται υπ' όψη κατά τη μέτρηση της απόστασης (τα 12 χαρακτηριστικά του πρώτου διανύσματος αναπαράστασης του μοντέλου του μαθητή που σχετίζονται με το βαθμό προσοχής του μαθητή, τη μητρική του γλώσσα, καθώς και τις άλλες γλώσσες που γνωρίζει ή δεν γνωρίζει ο μαθητής).

$$\Delta(\mu_a, \mu_b) = \sum_{j=1}^n d_j(x, y) \quad \text{Εξίσωση 5.3}$$

Αριθμός Γειτονικών Μαθητών που Συμμετέχουν στην Κατηγοριοποίηση

Μία άλλη σημαντική απόφαση που λαμβάνεται είναι ο καθορισμός του αριθμού των γειτονικών μαθητών, τα μοντέλα των οποίων θα χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το νέο μαθητή. Στην περίπτωση του Web-PVT, ο αριθμός k έχει οριστεί ως ο αριθμός των μαθητών που ανήκουν στο ίδιο στερεότυπο ως προς το γνωστικό τους πεδίο, με το νέο μαθητή. Η επιλογή αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι οι μαθητές που ανήκουν σε διαφορετικά στερεότυπα δεν αναμένεται να έχουν το ίδιο επίπεδο γνώσης, ούτε να κάνουν λάθη στο ίδιο ποσοστό, ανεξαρτήτως της μητρικής τους γλώσσας ή των άλλων γλωσσών που γνωρίζουν ήδη. Για παράδειγμα, οι μαθητές που ανήκουν στο στερεότυπο «με μέτρια γνώση» και οι μαθητές που ανήκουν στο στερεότυπο «προχωρημένος» μπορεί να έχουν το ίδιο επίπεδο γνώσης στις θεωρητικές έννοιες που θεωρούνται απλές σύμφωνα με την ιεραρχία του γνωστικού πεδίου του συστήματος. Παρόλα αυτά, υπάρχει μεγάλη

διαφορά στο επίπεδο της γνώσης των μαθητών αυτών σε έννοιες που ανήκουν στην κατηγορία των «δύσκολων» εννοιών.

Ορισμός Συναρτήσεων Αρχικοποίησης

Στην τελική φάση της εφαρμογής του αλγορίθμου, πρέπει να οριστούν κάποιες συναρτήσεις για την ανάθεση αρχικών τιμών στο μοντέλο του νέου μαθητή. Στην περίπτωση του Web-PVT, το σύστημα προσπαθεί να εκτιμήσει το επίπεδο γνώσης και την τάση του μαθητή να κάνει λάθη σε κάθε μία από τις θεωρητικές έννοιες του γνωστικού πεδίου, με βάση τις γνωστές τιμές των χαρακτηριστικών αυτών, όπως προκύπτουν από τα μοντέλα των γειτονικών μαθητών.

Η εκτίμηση του επιπέδου γνώσης ενός νέου μαθητή (μ_q) σε μία θεωρητική έννοια (Έννοια_z) υπολογίζεται ως ο σταθμισμένος μέσος του επιπέδου γνώσης των υπολοίπων μαθητών που ανήκουν στο ίδιο στερεότυπο με το νέο μαθητή ($\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$), όπως φαίνεται από την Εξίσωση 5.4. Το βάρος της συνεισφοράς του κάθε μαθητή υπολογίζεται με βάση την απόστασή του από το νέο μαθητή (Εξίσωση 5.5).

$$\text{Επίπεδο_Γνώσης(Έννοια}_z, \mu_q) = \frac{\sum_{i=1}^k w_i \text{Επίπεδο_Γνώσης(Έννοια}_z, \mu_i)}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad \text{Εξίσωση 5.4}$$

$$w_i = \frac{1}{\Delta(\mu_q, \mu_i)^2} \quad \text{Εξίσωση 5.5}$$

Εάν ένας μαθητής που ανήκει στο ίδιο στερεότυπο έχει πανομοιότυπα χαρακτηριστικά με το νέο μαθητή και κατά συνέπεια ο παρονομαστής $\Delta(\mu_q, \mu_i)^2$ έχει την τιμή 0, τότε το βάρος συνεισφοράς του συγκεκριμένου μαθητή w_i λαμβάνει την τιμή 1 (μέγιστο βάρος).

Όμοια, η τάση του νέου μαθητή να κάνει λάθη στην χρήση κάποια θεωρητικής έννοιας σε ασκήσεις υπολογίζεται σύμφωνα με την Εξίσωση 5.6.

$$\text{Λάθη(Έννοια}_z, \mu_q) = \frac{\sum_{i=1}^k w_i \text{Λάθη(Έννοια}_z, \mu_i)}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad \text{Εξίσωση 5.6}$$

Κωδικός_Μαθητή	Όνομα	Στερέοτυπο	Βαθμός_Προσοχής	Μητρική_Γλώσσα	Κινέζικα	Αγγλικά	Φινλανδικά	Γαλλικά	Γερμανικά	Ελληνικά	Ιταλικά	Γουόσικα	Ισπανικά	Τουρκικά
Stu_1	Δημήτρης Γεωργίου	Αρχάριος	απόρροϊκός	Ελληνικά	όχι	όχι	όχι	ναι	ναι	Ναι	όχι	όχι	όχι	όχι
Stu_2	Σοφία Μελέτη	με μέτρια γνώση	προσεκτικός	Ελληνικά	όχι	όχι	όχι	όχι	όχι	Ναι	ναι	ναι	όχι	όχι
Stu_3	Μαίτη Σουριδη	Αρχάριος	απόρροϊκός	Ρώσικα	όχι	όχι	όχι	ναι	όχι	Όχι	όχι	ναι	όχι	όχι
Stu_4	Παναγιώτης Γρέκος	Αρχάριος	προσεκτικός	Ισπανικά	όχι	όχι	όχι	ναι	όχι	Όχι	ναι	όχι	ναι	όχι

Πίνακας 5.1 Πρώτα διανύσματα αναπαράστασης μοντέλων μαθητών του Web-PVT.

Κωδικός_Μαθητή	Επίπεδο_Γνώσης(Tense transformation)	Λάθη(Tense transformation)	Επίπεδο_Γνώσης(Passive of modal verbs)	Λάθη(Passive modal verbs)	Επίπεδο_Γνώσης(Agent connecting word)	Λάθη(Agent connecting word)
Stu1	0.5	0.75	0.3	1	0.4	0.8
Stu2	0.9	0.2	0.75	0.4	0.6	0.5
Stu3	0.4	0.8	0.5	0.75	0.3	0.9
Stu4	0.25	1	0.5	0.6	0	1

Πίνακας 5.2 Δεύτερα διανύσματα αναπαράστασης μοντέλων μαθητών του Web-PVT.

5.3.3 Παράδειγμα Αρχικοποίησης Μοντέλου

Ας υποθέσουμε ότι στη βάση γνώσης των μοντέλων των μαθητών του ΔΕΣΔΓ υπάρχουν τα πρώτα διανύσματα αναπαράστασης του μοντέλου του μαθητή που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1. Ας υποθέσουμε επίσης ότι με βάση τις απαντήσεις στο ερωτηματολόγιο και στο προκαταρκτικό τεστ, κάποιος νέος μαθητής περιγράφεται από το ακόλουθο πρώτο διάνυσμα αναπαράστασης του μοντέλου του:

<Stu_5, Αλέξης Κωνσταντίνου, Αρχάριος, Προσεκτικός, Ελληνικά, όχι, όχι, όχι, ναι, όχι, ναι, όχι, όχι, όχι, όχι>

Στην περίπτωση αυτή, το Web-PVT θα αρχικοποιούσε το μοντέλο του νέου μαθητή χρησιμοποιώντας πληροφορίες από τα μοντέλα των μαθητών που έχουν τους κωδικούς "Stu_1" και "Stu_4". Αυτό συμβαίνει διότι αυτοί οι δύο μαθητές είναι οι μόνοι που ανήκουν στο ίδιο στερεότυπο (αρχάριος) ως προς το γνωστικό τους επίπεδο με το νέο μαθητή. Επιπλέον, με βάση την Εξίσωση 5.3, η συνολική απόσταση του νέου μαθητή με το μαθητή που έχει τον κωδικό "Stu_1" υπολογίζεται ως $\Delta(\text{Stu}_5, \text{Stu}_1) = 2$, ενώ η απόσταση μεταξύ των μαθητών με κωδικούς "Stu_5" (νέος μαθητής) και "Stu_4" είναι $\Delta(\text{Stu}_5, \text{Stu}_4) = 4$. Κατά συνέπεια, όπως προκύπτει από την Εξίσωση 5.5, το βάρος της συνεισφοράς των μαθητών με κωδικούς "Stu_1" και "Stu_4" είναι $w_{\text{Stu}_1} = \frac{1}{4}$ και $w_{\text{Stu}_4} = \frac{1}{16}$ αντιστοίχως.

Για λόγους απλούστευσης του παραδείγματος, θα υποθέσουμε ότι το γνωστικό πεδίο της παθητικής φωνής της Αγγλικής γλώσσας συνίσταται μόνο στις θεωρητικές έννοιες "Tense transformation", "Passive of modal verbs" και "Agent connecting word". Έστω επίσης ότι τα δεύτερα διανύσματα αναπαράστασης των μοντέλων των μαθητών του Πίνακα 5.1 είναι αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2. Τότε, όπως υπολογίζεται με βάση την Εξίσωση 5.4 και την Εξίσωση 5.6, το δεύτερο διάνυσμα αναπαράστασης του νέου μαθητή θα αρχικοποιείτο ως ακολούθως:

<Stu_5, 0.45, 0.8, 0.34, 0.92, 0.32, 0.84>

Όπως μπορεί εύκολα να παρατηρήσει κάποιος, το δεύτερο διάνυσμα αναπαράστασης του νέου μαθητή είναι πιο κοντά στο αντίστοιχο διάνυσμα του μαθητή με κωδικό "Stu_1". Αυτό προκύπτει εξαιτίας του γεγονότος ότι ο μαθητής με τον κωδικό "Stu_1" είναι πιο γειτονικός στο νέο μαθητή από το μαθητή με κωδικό

“Stu_4”. Κατά συνέπεια, η συνεισφορά του μαθητή με κωδικό “Stu_1” στην αρχικοποίηση του νέου μαθητή έχει μεγαλύτερο βάρος από τη συνεισφορά του μαθητή με κωδικό “Stu_4”.

5.4 Ενημέρωση του Μοντέλου

Η αρχικοποίηση του μοντέλου ενός μαθητή είναι ένα πολύ βασικό ζήτημα για την διαδικασία της μοντελοποίησης. Παρόλα αυτά, ένα σύστημα που απλά δημιουργεί ένα αρχικό μοντέλο για κάποιο μαθητή και στη συνέχεια χρησιμοποιεί αυτό το μοντέλο σε όλες τις αλληλεπιδράσεις του μαθητή με το σύστημα δεν θα ήταν κατάλληλο για την παροχή εξατομικευμένης διδασκαλίας. Αυτό συμβαίνει διότι η γνώση του μαθητή εξελίσσεται καθώς αυτός διδάσκεται μέσα από την αλληλεπίδρασή του με το εκπαιδευτικό λογισμικό. Επιπλέον, ένα μοντέλο που κατασκευάζεται με βάση κάποια αρχικά δεδομένα που λαμβάνονται άμεσα ή έμμεσα από το μαθητή είναι πολύ πιθανό να μην ανταποκρίνεται στις πραγματικές γνώσεις και αδυναμίες αυτού.

Κατά συνέπεια, το Web-PVT ενημερώνει το μοντέλο του εκάστοτε μαθητή με βάση τις ενέργειες που πραγματοποιεί σε κάθε αλληλεπίδραση του με το ΔΕΔΣΓ (μοντέλο μακράς διάρκειας). Συγκεκριμένα, κάθε φορά που ένας μαθητής επισκέπτεται μία ιστοσελίδα θεωρίας, η οποία σχετίζεται με κάποια θεωρητική έννοια του γνωστικού πεδίου του συστήματος, η πράξη αυτή καταγράφεται στο μοντέλο του συγκεκριμένου μαθητή. Στην περίπτωση αυτή, το χαρακτηριστικό «Επίπεδο_Γνώσης» για τη θεωρητική έννοια στην οποία αντιστοιχεί η ιστοσελίδα θεωρίας λαμβάνει την τιμή 0.4 στο μοντέλο του μαθητή. Η τιμή αυτή υποδηλώνει ότι ο μαθητής έχει διαβάσει το θεωρητικό τμήμα αυτής της έννοιας, αλλά το ΔΕΔΣΓ δεν κρίνει ότι ο μαθητής έχει ικανοποιητική γνώση της έννοιας μέχρις ότου ο μαθητής επιλύσει ασκήσεις που σχετίζονται με αυτήν.

Κάθε μία από τις θεωρητικές έννοιες του γνωστικού πεδίου είναι επίσης συσχετισμένη με έναν αριθμό προτύπων ασκήσεων, διαφορετικών βαθμών δυσκολίας (από 1-εύκολες έως 3-δύσκολες). Οι ασκήσεις αυτές είναι είτε ασκήσεις πολλαπλών επιλογών (που έχουν βαθμό δυσκολίας 1), είτε ασκήσεις εισαγωγής λέξης για τη συμπλήρωση μίας πρότασης στην παθητική φωνή (που έχουν βαθμό δυσκολίας 2), ή ασκήσεις μετατροπής πρότασης από την ενεργητική στην παθητική φωνή και το αντίστροφο (που έχουν βαθμό δυσκολίας 3). Κάθε φορά που κάποιος μαθητής λύνει σωστά κάποια άσκηση ενός βαθμού δυσκολίας, το επίπεδο γνώσης του

στην έννοια που εξετάζεται από την άσκηση αυξάνεται κατά μία τιμή, η οποία έχει οριστεί ως 0.04. Αυτό συμβαίνει διότι έχει γίνει η παραδοχή ότι αν κάποιος μαθητής έχει επιλύσει σωστά ασκήσεις κάποιου βαθμού δυσκολίας σε ικανοποιητικό βαθμό (στην τρέχουσα έκδοση του συστήματος ο μαθητής πρέπει να λύσει 5 ασκήσεις κάθε επιπέδου), το γνωστικό του επίπεδο στην θεωρητική έννοια που εξετάζουν οι ασκήσεις αυξάνεται κατά μία τιμή που έχει οριστεί σε 0.2.

Ο μαθητής μπορεί επίσης να παρακάμψει τις ασκήσεις μικρότερου βαθμού δυσκολίας. Στην περίπτωση αυτή, όταν ο μαθητής απαντήσει σωστά κάποια από τις ασκήσεις του μεγαλύτερου βαθμού δυσκολίας, το σύστημα θεωρεί ότι ο μαθητής έχει απαντήσει σωστά και στις ασκήσεις του προηγούμενου βαθμού δυσκολίας σε ικανοποιητικό βαθμό. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση που ο μαθητής επιλέξει να λύσει ασκήσεις χωρίς να διαβάσει πριν το αντίστοιχο κομμάτι της θεωρίας που σχετίζεται με την θεωρητική έννοια που εξετάζει η άσκηση. Για παράδειγμα, αν κάποιος μαθητής δεν έχει διαβάσει την ιστοσελίδα της θεωρίας που σχετίζεται με την έννοια "Agent connecting word" και λύσει επιτυχώς κάποια άσκηση που εξετάζει αυτή την έννοια και είναι βαθμού δυσκολίας 2, τότε το γνωστικό του επίπεδο στη συγκεκριμένη έννοια θα οριστεί αυτομάτως σε 0.64. Αυτό συμβαίνει διότι το σύστημα θεωρεί ότι ο μαθητής γνωρίζει τη θεωρία που σχετίζεται με την προαναφερθείσα έννοια (άρα το Επίπεδο_Γνώσης γίνεται 0.4) και ότι έχει επιλύσει ικανοποιητικά ασκήσεις του πρώτου βαθμού δυσκολίας που σχετίζονται με την έννοια αυτή (αύξηση του χαρακτηριστικού Επίπεδο_Γνώσης κατά 0.2).

Επιπρόσθετα, το χαρακτηριστικό «Λάθη» για κάθε θεωρητική έννοια, ενημερώνεται με βάση τα λάθη που κάνει κάποιος μαθητής κατά την επίλυση ασκήσεων. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στην Εξίσωση 5.7, η τάση του μαθητή να κάνει λάθη στη χρήση μιας θεωρητικής έννοιας ($Εννοια_z$) υπολογίζεται ως το πηλίκο του αριθμού των λανθασμένων απαντήσεων του μαθητή σε ασκήσεις που σχετίζονται με τη θεωρητική έννοια, προς το σύνολο των ασκήσεων που έχει επιλύσει ο μαθητής και οι οποίες εξετάζουν τη συγκεκριμένη έννοια.

$$\text{Λάθη}(Εννοια_z, \mu_q) = \frac{\text{λανθασμένες_λύσεις}(Εννοια_z)}{\text{σύνολο_λύσεων}(Εννοια_z)} \quad \text{Εξίσωση 5.7}$$

Εκτός από τις πληροφορίες σχετικά με το επίπεδο γνώσης και την τάση του μαθητή να κάνει λάθη σε κάθε μία από τις θεωρητικές έννοιες του γνωστικού πεδίου, το Web-PVT καταγράφει και τα λάθη απροσεξίας του συγκεκριμένου μαθητή. Ως

λάθη απροσεξίας (accidental slips), το ΔΕΔΣΓ θεωρεί τις ακούσιες ενέργειες του μαθητή που οδηγούν σε εσφαλμένες απαντήσεις τις οποίες όμως μπορεί από μόνος του ο μαθητής να διορθώσει. Για παράδειγμα, τέτοια λάθη είναι τα ορθογραφικά σφάλματα από αναγραμματισμούς ή από ελλείψεις κενών μεταξύ δύο λέξεων, η περίπτωση που ο μαθητής ξεχνά να ολοκληρώσει μία λέξη της πρότασης, κ.λπ. Η πληροφορία αυτή χρησιμεύει ώστε να μπορεί το σύστημα να προβεί σε διόρθωση της κατηγορίας του μαθητή όσον αφορά στο βαθμό προσοχής του. Τέλος, το Web-PVT χρησιμοποιεί τις πληροφορίες που καταγράφονται στο δεύτερο διάγραμμα αναπαράστασης του μαθητή για να τροποποιεί και το στερεότυπο του μαθητή ως προς το γνωστικό του επίπεδο στο διδασκόμενο αντικείμενο. Αυτό πραγματοποιείται με τη βοήθεια των συνθηκών ενεργοποίησης και αναιρέσης των διαφόρων στερεοτύπων.

5.5 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκε το υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών του Web-PVT. Το υποσύστημα αυτό είναι υπεύθυνο για την αρχικοποίηση του μοντέλου ενός νέου μαθητή και στη συνέχεια για την ενημέρωση του μοντέλου με βάση τη συμπεριφορά του συγκεκριμένου μαθητή στο σύνολο των αλληλεπιδράσεών του με το ΔΕΣΔΓ. Ένα πρωτότυπο στοιχείο της προσέγγισης μοντελοποίησης μαθητών είναι ότι για αρχικοποίηση του μοντέλου ενός μαθητή το σύστημα χρησιμοποιεί γνώση από τα μοντέλα άλλων μαθητών που έχουν ομοιότητες με το νέο μαθητή. Με αυτό τον τρόπο, το Web-PVT δύναται να εξάγει πιο εξατομικευμένα αρχικά συμπεράσματα σχετικά με το γνωστικό επίπεδο και τις αδυναμίες του μαθητή στο γνωστικό αντικείμενο που διδάσκεται από το ΔΕΔΣΓ.

6 Αξιολόγηση του Web-PVT

6.1 Εισαγωγή

Τα ΔΕΔΣ στοχεύουν στην παροχή εξατομικευμένης διδασκαλίας με τον απώτερο στόχο να αυξήσουν την απόδοση των μαθητών στο διδασκόμενο αντικείμενο και να παρέχουν πιο αποτελεσματική αλληλεπίδραση των μαθητών με το σύστημα. Παρόλα αυτά, η επίτευξη αυτών των στόχων δεν μπορεί να προβλεφθεί εξ αρχής. Κατά συνέπεια, για να μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με το κατά πόσο ένα ΔΕΔΣ καταφέρει να επιτύχει το στόχο του, είναι αναγκαίο να μετρηθεί η αποτελεσματικότητα, η λειτουργικότητα και η χρησιμότητα του με βάση κάποια εμπειρική μελέτη αξιολόγησης στην οποία συμμετέχουν πραγματικοί τελικοί χρήστες (μαθητές και καθηγητές).

Παρόλο που η αναγκαιότητα της αξιολόγησης των προσαρμοστικών και γενικότερα των ευφρών συστημάτων έχει αναγνωριστεί ευρέως (Chin 2001, Weibelzahl & Weber 2002), δεν υπάρχουν πολλές αναφορές σε τέτοιου είδους μελέτες στη βιβλιογραφία των ΔΕΔΣ. Επιπρόσθετα, οι περισσότερες από τις μελέτες αξιολόγησης των ΔΕΔΣ επικεντρώνονται στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας μεμονωμένων προσαρμοστικών δυνατοτήτων του συστήματος, π.χ. την προσαρμοστική υποστήριξη κατά την πλοήγηση (Specht 1998, Brusilovsky & Eklund 1998, Calvi 2000). Παρόλα αυτά, πολλοί ερευνητές έχουν τονίσει ότι τα ΕΔΣ πρέπει να αξιολογούνται στο σύνολό τους (π.χ. Barker et al. 2002). Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, όπως έχει αναγνωριστεί και από άλλους ερευνητές (π.χ. Eklund & Sinclair 2000, Mitrovic et al. 2002), είναι εμφανής η ανάγκη για περαιτέρω έρευνα στην κατεύθυνση της αξιολόγησης των ΔΕΔΣ.

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι μελέτες που διεξήχθησαν με σκοπό να αξιολογηθεί το Web-PVT (Tsiriga & Virvou 2003c). Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε για την αξιολόγηση του Web-PVT κινείται στα ίδια πλαίσια με τις προσεγγίσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση και άλλων ΕΔΣ (π.χ. Shute 1995, Webb &

Kuzmycz 1996, Sison et al. 1998). Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν δύο εμπειρικές μελέτες, στις οποίες συμμετείχαν τόσο μαθητές, όσο και καθηγητές Αγγλικών. Η πρώτη μελέτη, η οποία περιγράφεται στην ενότητα 6.2, αφορούσε στην αξιολόγηση της διαδικασίας αρχικοποίησης των μοντέλων νέων μαθητών του Web-PVT. Η συγκεκριμένη μελέτη αξιολόγησης θεωρήθηκε πολύ σημαντική, αφού η μεθοδολογία αρχικοποίησης του μοντέλου του μαθητή είναι το βασικό καινοτομικό στοιχείο του ΔΕΑΣΓ.

Η ικανότητα ενός συστήματος να κατασκευάζει ένα σωστό μοντέλο για κάθε μαθητή δεν είναι αρκετή για την παροχή αποτελεσματικής διδασκαλίας. Κατά συνέπεια, είναι αναγκαίο να αξιολογηθεί και ο τρόπος με τον οποίο το σύστημα χρησιμοποιεί το μοντέλο για να προσαρμόζει τις διδακτικές αποφάσεις στις ανάγκες του κάθε μαθητή. Για τον παραπάνω λόγο, πραγματοποιήθηκε μια δεύτερη εμπειρική μελέτη αξιολόγησης του Web-PVT. Η συγκεκριμένη μελέτη στόχευε στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του Web-PVT να προάγει τη γνώση του μαθητή, και να τον βοηθά ώστε να επιτύχει πιο αποδοτική αλληλεπίδραση με το ΔΕΑΣΓ. Επιπλέον, σε αυτή τη φάση αξιολογήθηκε το σύστημα και ως προς την ευχρηστία, τη φιλικότητα και τη χρησιμότητά του. Η δεύτερη εμπειρική μελέτη αποτελεί το αντικείμενο της ενότητας 6.3 του παρόντος κεφαλαίου. Τέλος, στην ενότητα 6.4 παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν με βάση τις μελέτες αξιολόγησης του Web-PVT.

6.2 Αξιολόγηση του Υποσυστήματος Μοντελοποίησης

Το βασικό καινοτομικό στοιχείο του Web-PVT είναι η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την αρχικοποίηση του μοντέλου του κάθε μαθητή. Για το λόγο αυτό, η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του συγκεκριμένου τμήματος ως εφαρμογής θεωρήθηκε πολύ σημαντική.

6.2.1 Διαδικασία Διεξαγωγής της Μελέτης

Ο σκοπός της μεθοδολογίας αρχικοποίησης μοντέλων μαθητών είναι η κατασκευή ακριβέστερων και πιο εξατομικευμένων αρχικών μοντέλων με την πάροδο του χρόνου. Αυτό συμβαίνει διότι το σύστημα αρχικοποιεί το μοντέλο ενός νέου μαθητή με βάση τις πληροφορίες που διατηρεί για άλλους μαθητές του ίδιου στερεοτύπου. Κατά συνέπεια, θεωρήθηκε σκόπιμο να αξιολογηθεί η ακρίβεια των

παραγόμενων αρχικών μοντέλων μαθητών σε διάφορες χρονικές στιγμές της χρήσης της εφαρμογής. Συγκεκριμένα, έγινε αξιολόγηση των μοντέλων πριν το σύστημα χρησιμοποιηθεί από μαθητές και αφού το σύστημα μπορούσε να εξαγει συμπεράσματα σχετικά με έναν αριθμό μαθητών από κάθε στερεότυπο με βάση την πραγματική τους συμπεριφορά.

Στην εμπειρική μελέτη, συμμετείχαν 3 καθηγητές Αγγλικών και οι μαθητές τους (117 μαθητές). Όπως προέκυψε από την κατηγοριοποίηση του συστήματος, 20 μαθητές άνηκαν στο στερεότυπο «αδαής», 38 στο στερεότυπο «αρχάριος», 36 στο στερεότυπο «με μέτρια γνώση» και 23 στο στερεότυπο «προχωρημένος». Οι καθηγητές Αγγλικών κλήθηκαν να αξιολογήσουν την ακρίβεια των αρχικών μοντέλων των μαθητών τους, όπως αυτά κατασκευάστηκαν από το υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών του Web-PVT. Συγκεκριμένα, ζητήθηκε από τους καθηγητές να αξιολογήσουν 5 αρχικά μοντέλα από κάθε στερεότυπο τα οποία είχαν επιλεγεί τυχαία, σε δύο διαδοχικές φάσεις. Πρέπει να τονιστεί ότι οι καθηγητές αξιολόγησαν μόνο μοντέλα που άνηκαν σε μαθητές τους οποίους ήδη γνώριζαν αφού ήταν οι υπεύθυνοι δάσκαλοι αυτών των μαθητών σε πραγματικές συνθήκες.

Αρχικά, οι καθηγητές αξιολόγησαν 5 μοντέλα μαθητών από κάθε στερεότυπο (20 αρχικά μοντέλα στο σύνολο), πριν το ΔΕΔΣΓ χρησιμοποιηθεί από μαθητές. Στη φάση αυτή η αξιολόγηση θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι πραγματοποιήθηκε με σκοπό να εξεταστεί η ορθότητα των συμπερασμάτων που εξαγονται για κάποιο μαθητή με βάση το στερεότυπο στο οποίο ανήκει. Αυτό συμβαίνει διότι τα αρχικά μοντέλα μαθητών αυτής της φάσης κατασκευάστηκαν με βάση μόνο τις προκαθορισμένες υποθέσεις των στερεοτύπων, αφού το υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών του Web-PVT δεν διέθετε πληροφορίες για άλλους μαθητές.

Στην δεύτερη φάση, οι καθηγητές κλήθηκαν να αξιολογήσουν τα αρχικά μοντέλα 5 νέων μαθητών (οι οποίοι επιλέχθηκαν τυχαία) από κάθε στερεότυπο (συνολικά 20 αρχικά μοντέλα), αφού το Web-PVT είχε κατασκευάσει τα μοντέλα για 15 μαθητές από κάθε στερεότυπο με βάση την παρατήρηση της πραγματικής τους συμπεριφοράς. Τα μοντέλα των 5 νέων μαθητών αρχικοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k-πλησιέστερων γειτόνων. Συγκεκριμένα, το σύστημα έκανε αρχικές εκτιμήσεις του γνωστικού επιπέδου και της τάσης των νέων μαθητών να κάνουν λάθη σε κάθε θεωρητική έννοια, με βάση τις πληροφορίες που διέθετε για τους άλλους μαθητές που άνηκαν στο ίδιο στερεότυπο. Το βάρος της συνεισφοράς του κάθε γειτονικού μαθητή υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπ' όψη τη

μητρική γλώσσα του μαθητή, το βαθμό προσοχής του στην επίλυση ασκήσεων, καθώς και τυχόν άλλες γλώσσες που γνωρίζει ήδη ο μαθητής. Για κάθε ένα από τα μοντέλα μαθητών, οι καθηγητές κλήθηκαν να παρέχουν ένα ποσοστό συμφωνίας τους (από 0% που υποδηλώνει πλήρη ασυμφωνία, έως 100% που αντιστοιχεί στην πλήρη συμφωνία) αναφορικά με κάθε μία από τις εκτιμήσεις του Web-PVT. Στη συνέχεια, το συνολικό ποσοστό συμφωνίας του καθηγητή αναφορικά με ένα αρχικό μοντέλο υπολογίστηκε ως ο μέσος όρος όλων των επιμέρους ποσοστών συμφωνίας με κάθε εκτίμηση.

Η υπόθεση που εξετάστηκε στο πείραμα ήταν ότι τα αρχικά μοντέλα των μαθητών που κατασκευάστηκαν στη δεύτερη φάση (αφού το ΔΕΔΣΓ είχε κατασκευάσει τα μοντέλα για 15 μαθητές κάθε στερεοτύπου με βάση την πραγματική τους συμπεριφορά) είναι καλύτερα από αυτά που κατασκευάστηκαν με βάση μόνο τις προκαθορισμένες υποθέσεις των στερεοτύπων. Για να αποφασιστεί η απόρριψη ή όχι της υπόθεσης, έγινε σύγκριση των μέσων όρων των ποσοστών συμφωνίας των καθηγητών με τα αρχικά μοντέλα των μαθητών κάθε στερεοτύπου ανάμεσα στις δύο φάσεις κατασκευής αρχικών μοντέλων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ο έλεγχος *t* του μέσου δύο δειγμάτων συσχετισμένων ζευγών (*one-tailed paired t-test*), και ελέγχθηκε αν η τιμή *p* είναι μεγαλύτερη ή όχι από ένα επίπεδο σημαντικότητας *a* το οποίο ορίστηκε σε 0.05.

Στερεότυπο	Μέσος όρος ποσοστών συμφωνίας όταν δεν υπάρχουν μοντέλα άλλων μαθητών του ίδιου στερεοτύπου στο υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών του Web-PVT	Μέσος όρος ποσοστών συμφωνίας όταν υπάρχουν 15 μοντέλα άλλων μαθητών του ίδιου στερεοτύπου στο υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών του Web-PVT	Τιμή <i>p</i>	<i>t</i> (<i>df</i>)
Αδαής	78.4%	83%	0.0383	<i>t</i> (4)=-2.3722
Αρχάριος	84.6%	90.2%	0.0124	<i>t</i> (4)=-3.5
Με μέτρια γνώση	89.2%	91.2%	0.0108	<i>t</i> (4)=-3.6515
Προχωρημένος	92%	92.4%	0.3946	<i>t</i> (4)=-0.2857

Πίνακας 6.1 Αποτελέσματα αξιολόγησης μεθοδολογίας αρχικοποίησης μοντέλων μαθητών.

6.2.2 Αποτελέσματα Μελέτης

Τα αποτελέσματα της μελέτης αξιολόγησης της μεθοδολογίας αρχικοποίησης των μοντέλων των μαθητών συνοψίζονται στον Πίνακα 6.1. Συγκεκριμένα, η πρώτη στήλη του πίνακα αντιστοιχεί στα τέσσερα στερεότυπα μαθητών που υποστηρίζονται

από το Web-PVT, αναφορικά με το γνωστικό τους υπόβαθρο στο αντικείμενο της παθητικής φωνής της Αγγλικής γλώσσας. Στη δεύτερη στήλη του πίνακα παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των ποσοστών συμφωνίας των καθηγητών με τα 5 αρχικά μοντέλα μαθητών κάθε στερεοτύπου, τα οποία κατασκευάστηκαν από το Web-PVT πριν το σύστημα χρησιμοποιηθεί από μαθητές του ίδιου στερεοτύπου. Η τρίτη στήλη του πίνακα αναπαριστά τα αντίστοιχα ποσοστά συμφωνίας των καθηγητών με τα 5 μοντέλα μαθητών που αρχικοποιήθηκαν από το υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών του Web-PVT όταν το σύστημα είχε κατασκευάσει τα μοντέλα 15 μαθητών από κάθε στερεότυπο. Τα μοντέλα αυτών των μαθητών κατασκευάστηκαν με βάση την παρατήρηση της πραγματικής συμπεριφοράς τους κατά την αλληλεπίδρασή τους με το ΔΕΔΣΤ. Στην τέταρτη και την πέμπτη στήλη αντίστοιχα, παρατίθενται οι τιμές p και $t(df)$ που προέκυψαν μετά από την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Ένα πρώτο συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί με βάση τα αποτελέσματα αυτά είναι ότι οι καθηγητές φάνηκαν να είναι αρκετά ικανοποιημένοι από τα συμπεράσματα που εξάγονται από την κατηγοριοποίηση των μαθητών σε στερεότυπα. Ειδικά στην περίπτωση του στερεοτύπου «προχωρημένος», ο μέσος όρος του ποσοστού συμφωνίας των καθηγητών με τα αρχικά μοντέλα μαθητών που προέκυψαν από τις προκαθορισμένες υποθέσεις του συγκεκριμένου στερεοτύπου ήταν ιδιαίτερα υψηλός (92%). Τα ποσοστά των υπολοίπων στερεοτύπων δεν ήταν το ίδιο υψηλά, κάτι που μπορεί να ερμηνευτεί εξαιτίας της μεγαλύτερης διακύμανσης που μπορεί να υπάρχει στη γνώση των μαθητών των στερεοτύπων αυτών.

Επιπλέον, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα, για όλα τα υποστηριζόμενα στερεότυπα, τα αρχικά μοντέλα νέων μαθητών που κατασκευάστηκαν λαμβάνοντας υπ' όψη τα μοντέλα άλλων μαθητών του ίδιου στερεοτύπου υπερείχαν των μοντέλων που αρχικοποιούνταν μόνο με βάση τις προκαθορισμένες υποθέσεις των στερεοτύπων. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η υπεροχή αυτή ήταν στατιστικά σημαντική ($p < 0.05$). Παρόλα αυτά, στην περίπτωση των μαθητών του στερεοτύπου «προχωρημένος», η διαφορά δεν ήταν στατιστικά σημαντική ($p = 0.3946$). Μία εξήγηση για αυτό το γεγονός είναι ότι οι μαθητές του συγκεκριμένου στερεοτύπου δεν κάνουν πολλά λάθη. Για το λόγο αυτό περιορίζονται σημαντικά και τα σφάλματα που προέρχονται από την αιτία της χρήσης κανόνων από κάποια ήδη γνωστή γλώσσα στη διδασκόμενη γλώσσα (language transfer). Επιπρόσθετα, το ποσοστό συμφωνίας των καθηγητών με τα αρχικά μοντέλα που προέκυψαν από τις

προκαθορισμένες υποθέσεις των στερεοτύπων ήταν ήδη πολύ υψηλό και κατά συνέπεια δεν άφηνε πολλά περιθώρια αύξησης.

6.3 Αξιολόγηση της Τελικής Έκδοσης του Web-PVT

Οι βασικοί στόχοι των εκπαιδευτικών εφαρμογών λογισμικού είναι να προάγουν τη γνώση του μαθητή στο διδασκόμενο αντικείμενο και να του παρέχουν κίνητρα ώστε να χρησιμοποιεί το διδακτικό εργαλείο. Για να εξεταστεί το κατά πόσο το Web-PVT επιτύχανε τους στόχους αυτούς, διεξήχθη μία δεύτερη εκτενής εμπειρική μελέτη αξιολόγησης του ΔΕΔΣΓ με τη συμμετοχή μαθητών. Ο σκοπός της μελέτης αυτής ήταν να αποκαλύψει την επίδραση που μπορεί να έχει η δυνατότητα του Web-PVT να εξατομικεύει τη διδασκαλία και την ανάδραση τόσο στο μαθησιακό αποτέλεσμα, όσο και στην αποδοτικότητα του τρόπου με τον οποίο οι μαθητές χρησιμοποιούν το σύστημα. Οι μαθητές κλήθηκαν επίσης να αξιολογήσουν το Web-PVT αναφορικά με τη φιλικότητα, την ευχρηστία και τη χρησιμότητά του.

Για τους σκοπούς του πειράματος, έγινε μία σύγκριση του Web-PVT με μία δεύτερη έκδοση του ίδιου συστήματος, που δεν παρείχε εξατομικευμένη διδασκαλία. Η δεύτερη έκδοση του συστήματος θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ένα απλό ΣΔΓΒΥ, αφού δεν είχε τη δυνατότητα προσαρμογής των αποφάσεων του στις ανάγκες του μαθητή. Ένα πρόβλημα που παρουσιάζεται σε πειράματα που πραγματοποιούν σύγκριση ενός ευφυούς συστήματος με μία μη ευφυή έκδοση αυτού είναι ότι σε πολλές περιπτώσεις, το σύστημα που δεν είναι ευφύες δεν έχει σχεδιαστεί με το βέλτιστο τρόπο (Höök 1998, De Bra 2000). Για να αντιμετωπισθεί το συγκεκριμένο πρόβλημα, το ΣΔΓΒΥ που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα σχεδιάστηκε προσεκτικά ώστε να αποτελεί ένα καλό σύστημα από μόνο του. Στην πραγματικότητα, όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα της αξιολόγησης, το ΣΔΓΒΥ κατόρθωσε να παρέχει στους μαθητές που το χρησιμοποίησαν ικανοποιητική διδασκαλία με αποτέλεσμα να έχουν καλύτερη επίδοση στο διδακτικό αντικείμενο μετά την αλληλεπίδρασή τους με το σύστημα.

6.3.1 Περιγραφή του ΣΔΓΒΥ

Η ΣΔΓΒΥ έκδοση του συστήματος περιείχε τις ίδιες πληροφορίες και έδινε στο μαθητή τις ίδιες δυνατότητες με το ευφύες σύστημα. Συγκεκριμένα, ο μαθητής μπορούσε να μελετήσει τα ίδια κομμάτια της θεωρίας και να λύσει τον ίδιο αριθμό

και τα ίδια είδη ασκήσεων. Παρόλα αυτά, η έκδοση αυτή δεν είχε τη δυνατότητα να μοντελοποιεί τη γνώση και τις αδυναμίες του κάθε μαθητή.

Εξαιτίας της αδυναμίας συλλογής πληροφοριών σχετικά με τον κάθε μαθητή, το ΣΔΓΒΥ δεν μπορούσε να παρέχει εξατομικευμένη διδασκαλία και ανάδραση σε λάθη. Πιο συγκεκριμένα, όταν ο μαθητής καλούνταν να επιλέξει μία ιστοσελίδα θεωρίας για να μελετηθεί, το σύστημα παρουσίαζε στο μαθητή τον πίνακα περιεχομένων, χωρίς να παρέχει κάποια επισημείωση των συνδέσμων ή κάποιο κουμπί «Next». Με αυτόν τον τρόπο, ο μαθητής καλούνταν να επιλέξει την ιστοσελίδα που ήθελε να επισκεφτεί χωρίς καμία υποβοήθηση. Το ίδιο συνέβαινε και στην περίπτωση που ο μαθητής καλούνταν να επιλέξει κάποια άσκηση προς επίλυση.

Επιπρόσθετα, η ΣΔΓΒΥ έκδοση του Web-PVT παρείχε την ίδια βοήθεια σε περιπτώσει λάθους των μαθητών, ανεξαρτήτως του επιπέδου γνώσης αυτών. Συγκεκριμένα, όταν κάποιος μαθητής έκανε κάποιο σφάλμα σε μία άσκηση, ενημερώνονταν ότι υπάρχει κάποιο λάθος στην απάντησή του και καλούνταν να το διορθώσει.

6.3.2 Μεθοδολογία του Πειράματος

Στο πείραμα συμμετείχαν 112 μαθητές της πέμπτης και της έκτης τάξης ενός δημοτικού σχολείου. Οι μαθητές είχαν διαφορετικό υπόβαθρο γνώσεων στο αντικείμενο της παθητικής φωνής της Αγγλικής γλώσσας. Παρόλα αυτά, όλοι οι μαθητές είχαν παρόμοιο επίπεδο γνώσης στη χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών, του διαδικτύου και των υπερμεσικών περιβαλλόντων.

Οι μαθητές χωρίστηκαν τυχαία σε δύο ομάδες. Η πρώτη ομάδα (ομάδα ΔΕΔΣΓ) που αποτελούνταν από 51 μαθητές χρησιμοποίησε την έκδοση του συστήματος που παρέχει εξατομικευμένη διδασκαλία με βάση το μοντέλο του κάθε μαθητή. Οι υπόλοιποι 51 μαθητές (ομάδα ΣΔΓΒΥ) αποτέλεσαν την ομάδα ελέγχου (control group) του πειράματος και κλήθηκαν να χρησιμοποιήσουν την έκδοση της εφαρμογής που δεν είχε δυνατότητες προσαρμογής στο γνωστικό επίπεδο και τις αδυναμίες των μαθητών.

Το πείραμα σχεδιάστηκε ώστε να διεξαχθεί σε πραγματικές συνθήκες διδασκαλίας. Κατά συνέπεια, οι μαθητές των δύο ομάδων χρησιμοποίησαν τις δύο εκδόσεις της εφαρμογής για ένα διάστημα δύο εβδομάδων, στα πλαίσια του μαθήματος Αγγλικών που διδάσκονταν στο σχολείο. Συγκεκριμένα, οι μαθητές

συμμετείχαν στο πείραμα για μία διδακτική ώρα τη μέρα (σύννοδος), επί τέσσερις μέρες εντός του διαστήματος των δύο εβδομάδων.

Στην πρώτη σύνοδο, οι μαθητές κλήθηκαν να εγγραφούν (register) στην έκδοση της εφαρμογής που έπρεπε να χρησιμοποιήσουν και στη συνέχεια να απαντήσουν σε ένα προκαταρκτικό τεστ μέσω του υπολογιστή. Το προκαταρκτικό τεστ, που ήταν ίδιο και για τις δύο ομάδες ήταν το τεστ που χρησιμοποιείται από τη ΔΕΔΣΓ έκδοση του Web-PVT για την κατηγοριοποίηση των μαθητών σε στερεότυπα αναφορικά με το γνωστικό τους επίπεδο (Εικόνα 5.2). Η επίδοση του κάθε μαθητή στο προκαταρκτικό τεστ καταγράφηκε σε ένα προσωπικό αρχείο ενεργειών (log file). Στη συνέχεια, στους μαθητές κάθε ομάδας έγινε μία σύντομη περιγραφή των δυνατοτήτων της έκδοσης του συστήματος με την οποία καλούνταν να αλληλεπιδράσουν και δόθηκαν κάποιες βασικές οδηγίες για τη χρήση της εφαρμογής.

Στις δύο συνόδους που ακολούθησαν, οι μαθητές κάθε ομάδας εργάστηκαν ελεύθερα με την έκδοση της εφαρμογής που τους αντιστοιχούσε. Καθώς οι μαθητές αλληλεπιδρούσαν με το σύστημα, οι ενέργειες που πραγματοποιούσαν καταγράφονταν στο προσωπικό τους αρχείο ενεργειών. Οι πληροφορίες που περιείχονταν στο αρχείο ενεργειών κάθε μαθητή αφορούσαν στο χρόνο που ξόδεψε ο μαθητής να μελετήσει κάθε ιστοσελίδα θεωρίας που επισκέφτηκε, στον αριθμό των αιτήσεων του μαθητή να δει τη λύση σε μία άσκηση, καθώς και στον αριθμό των σωστά απαντημένων ασκήσεων μετά από την παροχή συμβουλευτικού μηνύματος από το σύστημα σε κάποιο λάθος του μαθητή.

Στην τελική φάση του πειράματος, στους μαθητές των δύο ομάδων δόθηκε ένα νέο τεστ μέσω του υπολογιστή. Το τελικό τεστ, που ήταν ίδιο και για τις δύο ομάδες, περιελάμβανε δέκα ερωτήσεις αντίστοιχου βαθμού δυσκολίας με το προκαταρκτικό τεστ. Εκ νέου, οι επιδόσεις των μαθητών στο τελικό τεστ καταγράφηκαν στα προσωπικά τους αρχεία ενεργειών. Επιπλέον, για να αξιολογηθεί η φιλικότητα, η ευχρηστία και η χρησιμότητα του ΔΕΔΣΓ, οι μαθητές των δύο ομάδων κλήθηκαν να απαντήσουν σε ένα ερωτηματολόγιο (με χαρτί και μολύβι) σχετικά με τις εντυπώσεις τους από την εμπειρία τους με το σύστημα.

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τα προσωπικά αρχεία ενεργειών και τα συμπληρωμένα ερωτηματολόγια χρησιμοποιήθηκαν για να γίνει μία στατιστική ανάλυση. Για τους σκοπούς της συγκεκριμένης ανάλυσης χρησιμοποιήθηκε η στατιστική ανάλυση των μέσων με τη βοήθεια ενός t-τεστ. Η υπόθεση που εξετάστηκε

ήταν ότι δεν υπήρχε διαφορά στους μέσους όρους των δύο ομάδων ($H_0: \mu_{\text{ΕΔΣΓ}} = \mu_{\text{ΜΕΔΣΓΒΥ}}$), με εναλλακτική την υπόθεση των διαφορετικών μέσων όρων ($H_1: \mu_{\text{ΕΔΣΓ}} \neq \mu_{\text{ΜΕΔΣΓΒΥ}}$). Ανάλογα με το εάν οι τιμές p που προέκυπταν για κάθε μεταβλητή ήταν μικρότερες ή όχι από ένα επίπεδο σημαντικότητας α (το οποίο στο συγκεκριμένο πείραμα ορίστηκε ως 0.05), αποφασίστηκε η αποδοχή της αρχικής υπόθεσης (H_0) ή η αποδοχή της εναλλακτικής υπόθεσης (H_1) αντίστοιχα.

6.3.3 Αποτελέσματα Πειράματος Αναφορικά με το Μαθησιακό Αποτέλεσμα και τη Χρήση του Συστήματος

Για να εξεταστεί το κατά πόσο η προσαρμοστικότητα του συστήματος είχε κάποια επίδραση στο μαθησιακό αποτέλεσμα και στην αποδοτικότητα του τρόπου με τον οποίο οι μαθητές χρησιμοποίησαν το σύστημα, συγκρίθηκαν τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τα προσωπικά αρχεία ενεργειών των μαθητών. Συγκεκριμένα, η επίδραση της εξατομικευμένης διδασκαλίας στο μαθησιακό αποτέλεσμα μελετήθηκε με βάση τα αποτελέσματα των μαθητών των δύο ομάδων στο προκαταρκτικό και στο τελικό τεστ. Η επίδραση της προσαρμοστικής δυνατότητας του ΔΕΔΣΓ στην αποδοτικότητα του τρόπου χρήσης του συστήματος, από την άλλη πλευρά, αξιολογήθηκε με βάση τα δεδομένα των προσωπικών αρχείων ενεργειών που σχετιζόνταν με τη συμπεριφορά των μαθητών καθώς αλληλεπιδρούσαν με το σύστημα. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης που αφορούν στο μαθησιακό αποτέλεσμα και την αποδοτικότητα του τρόπου χρήσης των δύο εκδόσεων του συστήματος από τους μαθητές παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.2.

Μία πρώτη ανάλυση της απόδοσης των μαθητών των δύο ομάδων στο προκαταρκτικό τεστ έδειξε ότι δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά στους μέσους όρους των σκορ των μαθητών των δύο ομάδων στο προκαταρκτικό τεστ ($t(100)=-0.24$, $p=0.405$). Κατά συνέπεια, οι μαθητές που κλήθηκαν να χρησιμοποιήσουν τις δύο εκδόσεις του Web-PVT είχαν παρόμοιο επίπεδο γνώσης στο αντικείμενο της παθητικής φωνής της Αγγλικής γλώσσας.

Επιπλέον, και στις δύο ομάδες παρατηρήθηκε αύξηση του μέσου όρου της απόδοσης των μαθητών στο τελικό τεστ έναντι της απόδοσής τους στο προκαταρκτικό τεστ. Αυτό παρέχει μία ένδειξη ότι ακόμη και η έκδοση του συστήματος που δεν παρείχε εξατομικευμένη διδασκαλία ήταν ικανοποιητική αναφορικά με το στόχο των εκπαιδευτικών εφαρμογών λογισμικού, που είναι η προαγωγή της γνώσης του μαθητή. Παρόλα αυτά, οι μαθητές της ομάδας ΔΕΔΣΓ

είχαν κατά μέσο όρο υψηλότερες επιδόσεις στο τελικό τεστ σε σύγκριση με τους μαθητές της ομάδας ΣΔΓΒΥ. Το αποτέλεσμα αυτό κρίθηκε στατιστικά σημαντικό ($t(100)=2.27$, $p=0.013$).

Μεταβλητή	Ομάδα ΕΔΣΓ (n=51)		Ομάδα ΣΔΓΒΥ (n=51)		t(df); p
	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	
Σκορ στο προκαταρκτικό τεστ (διάστημα [0...10])	6.04	1.48	6.12	1.80	t(100) = -0.24; p = 0.405
Σκορ στο τελικό τεστ (διάστημα [0...10])	7.22	1.43	6.47	1.86	t(100) = 2.27; p = 0.013
Ποσοστό ιστοσελίδων θεωρίας που μελετήθηκαν για λιγότερο από μισό λεπτό	18.02%	12.49%	36.31%	12.31%	t(100) = -7.45; p < 0.0001
Ποσοστό αιτήσεων μαθητή να δει τη λύση σε ασκήσεις	24.61%	8.37%	39.11%	13.23%	t(100) = -6.62; p < 0.0001
Ποσοστό ορθών απαντήσεων με βάση την ανάδραση του συστήματος	45.39%	11.77%	26.46%	17.04%	t(100) = 6.53; p < 0.0001

Πίνακας 6.2 Αποτελέσματα αξιολόγησης αναφορικά με το μαθησιακό αποτέλεσμα και τη χρήση του συστήματος.

Για τον εντοπισμό της επίδρασης των προσαρμοστικών αποφάσεων στην αποδοτική χρήση του συστήματος από τους μαθητές εξετάστηκαν τα δεδομένα των αρχείου ενεργειών που σχετιζόνταν με το χρόνο μελέτης μίας ιστοσελίδας θεωρίας, τον αριθμό των αιτήσεων για παροχή της απάντησης σε κάποια άσκηση και τον αριθμό των οωσά λυμένων ασκήσεων με βάση την ανάδραση του συστήματος σε σφάλματα. Συγκεκριμένα, για την αξιολόγηση της υποστήριξης του μαθητή καθώς μελετά θεωρία, έγινε μία σύγκριση των ποσοστών των ιστοσελίδων θεωρίας που επισκέφτηκαν οι μαθητές αλλά βρήκαν ότι είτε δεν είναι έτοιμοι να τις μελετήσουν ή ότι οι θεωρητικές έννοιες στις οποίες αναφέρονταν τους ήταν ήδη γνωστές. Αυτό επιτεύχθηκε με βάση το μέσο όρο των ποσοστών των ιστοσελίδων που επισκέφτηκαν οι μαθητές των δύο ομάδων για λιγότερο χρονικό διάστημα από ένα προκαθορισμένο κατώφλι το οποίο θεωρήθηκε ως ανεπαρκής χρόνος για τη μελέτη μίας ιστοσελίδας θεωρίας. Η απόφαση σχετικά με το χρονικό διάστημα που

χρησιμοποιήθηκε ως κατώφλι ελήφθη μετά από την επικοινωνία με καθηγητές Αγγλικών, και τελικά ορίστηκε σε μισό λεπτό.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των προσωπικών αρχείων ενεργειών, οι μαθητές της ομάδας ΕΔΣΓ επισκέφτηκαν, κατά μέσο όρο, σελίδες θεωρίας για λιγότερο από μισό λεπτό σε ένα ποσοστό 18.02%, ενώ οι μαθητές της ομάδας ΣΔΓΒΥ σε ποσοστό 36.31%. Η διαφορά αυτή βρέθηκε να είναι στατιστικά σημαντικό ($t(100)=-7.45$, $p<0.0001$) και μας οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η δυνατότητα προσαρμοστικής υποστήριξης του μαθητή κατά τη μελέτη της θεωρίας βοήθησε τους μαθητές της ομάδας ΕΔΣΓ να επιλέγουν ιστοσελίδες θεωρίας που είναι κατάλληλες για το επίπεδο γνώσης τους. Παρόλα αυτά, το ποσοστό των μη κατάλληλων σελίδων δεν ήταν όσο χαμηλό αναμενόταν. Μία εξήγηση σε αυτό μπορεί να δοθεί με βάση τις διερευνητικές ενέργειες των μαθητών που επιθυμούσαν να μάθουν τι κρύβεται πίσω από τις σελίδες που δεν είναι προτεινόμενες και να ελέγξουν αν πραγματικά γνωρίζουν το περιεχόμενο των σελίδων που επισημειώνονται ως γνωστές.

Τέλος, για την ανάλυση της επίδρασης της εξατομικευμένης υποστήριξης του μαθητή κατά την επίλυση ασκήσεων, έγινε σύγκριση των δύο ομάδων αναφορικά με τον αριθμό των αιτήσεων για να δουν οι μαθητές τη λύση σε ασκήσεις καθώς και τον αριθμό των ασκήσεων που κατάφεραν να λύσουν σωστά οι μαθητές μετά από κάποιο συμβουλευτικό μήνυμα του συστήματος σε κάποιο λάθος. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.2, οι μαθητές της ομάδας ΕΔΣΓ υπερτερούσαν σημαντικά ($t(100)=6.53$, $p<0.0001$) στην ικανότητά τους να λύνουν σωστά ασκήσεις μετά από την ανάδραση του συστήματος στα λάθη τους (45.39% έναντι 26.46%). Ομοίως, η σύγκριση των δύο ομάδων αναφορικά με το μέσο όρο αιτήσεων των μαθητών να δουν τη λύση ασκήσεων που καλούνταν να λύσουν οι ίδιοι, έδειξε ότι οι μαθητές που άνηκαν στην ομάδα ΕΔΣΓ έκαναν σημαντικά λιγότερες αιτήσεις από τους μαθητές της ομάδας ΣΔΓΒΥ ($t(100)=-6.62$, $p<0.0001$). Τα παραπάνω αποτελέσματα έδειξαν ότι η δυνατότητες του ΕΔΣΓ να πραγματοποιεί ευφυή ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών και να παρέχει εξατομικευμένη ανάδραση στα λάθη των μαθητών είχαν σημαντική επίδραση στην επίδοση των μαθητών καθώς έλυναν ασκήσεις με το σύστημα.

6.3.4 Αποτελέσματα Αξιολόγησης Αναφορικά με τη Φιλικότητα, την Ευχρηστία και τη Χρησιμότητα του Web-PVT

Για να αξιολογηθεί το Web-PVT αναφορικά με τη φιλικότητά του προς τους μαθητές, την ευχρηστία του και τη χρησιμοποίησή του, αναλύθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών σε ένα ερωτηματολόγιο που τους δόθηκε στην τελευταία σύνοδο του πειράματος. Το ερωτηματολόγιο δόθηκε στους μαθητές και των δύο ομάδων και στη συνέχεια τα αποτελέσματα αναλύθηκαν και συγκρίθηκαν μεταξύ τους. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3.

Στη φάση αυτή, εκτός από τη σύγκριση των δύο εκδόσεων του συστήματος, οι απαντήσεις των μαθητών χρησιμοποιήθηκαν με σκοπό να εξαχθούν και κάποια γενικά συμπεράσματα αναφορικά με το κατά πόσο ένα τέτοιο σύστημα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε πραγματικές συνθήκες. Ένα πρώτο συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης είναι ότι οι μαθητές που χρησιμοποίησαν την ΕΔΣΓ έκδοση του Web-PVT χρειάστηκαν κατά μέσο όρο περισσότερο χρόνο (μέσος όρος βαθμολογίας στην πρώτη ερώτηση 2.69) για να εξοικειωθούν με το σύστημα από τους μαθητές της ομάδας ΣΔΓΒΥ (μέσος όρος βαθμολογίας στην πρώτη ερώτηση 1.90) και βρήκαν το σύστημα πιο δύσκολο στη χρήση. Παρόλα αυτά, οι διαφορές αυτές δεν ήταν στατιστικά σημαντικές. Επιπλέον, δεν υπήρχε σημαντική διαφορά στο κατά πόσο άρεσε στους μαθητές η διδασκαλία με τη βοήθεια του συστήματος. Συγκεκριμένα, και τα δύο συστήματα σημείωσαν αρκετά υψηλό σκορ (4.12 η ΕΔΣΓ έκδοση και 4.24 η ΣΔΓΒΥ έκδοση) και οι μαθητές φάνηκαν να ενθουσιάζονται από την αλλαγή στον τρόπο διδασκαλίας του μαθήματος των Αγγλικών.

Από την άλλη πλευρά, οι μαθητές της ομάδας ΕΔΣΓ ήταν σημαντικά πιο ικανοποιημένοι από την υποστήριξη του συστήματος κατά τη μελέτη της θεωρίας και κατά την επίλυση ασκήσεων (ερωτήσεις 3 και 4 του πίνακα). Το αποτέλεσμα αυτό συμφωνεί με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των αρχείων ενεργειών των μαθητών. Επιπλέον, οι μαθητές που χρησιμοποίησαν την έκδοση του Web-PVT που παρείχε εξατομικευμένη διδασκαλία απάντησαν πιο θετικά στην ερώτηση σχετικά με το αν θα χρησιμοποιούσαν το σύστημα κατά τη μελέτη στο σπίτι. Τέλος, οι μαθητές και των δύο ομάδων δεν έκριναν θετικά το σύστημα όταν αυτό συγκρίθηκε με την συμβατική διδασκαλία σε πραγματική τάξη.

Ερώτηση	Ομάδα ΕΔΣΓ (n=51)		Ομάδα ΣΔΓΒΥ (n=51)		t(df); p
	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	
Πόσο χρόνο χρειαστήκατε για να εξοικειωθείτε με το Web-PVT, από 1 (πολύ λίγο) έως 5 (πάρα πολύ).	2.69	0.65	1.90	0.67	t(100) = 6.01; p < 0.0001
Βρήκατε το Web-PVT εύκολο στη χρήση, από 1 (καθόλου) έως 5 (πάρα πολύ).	3.57	0.76	4.12	0.82	t(100) = -3.53; p = 0.0003
Σας άρεσε η διδασκαλία με τη βοήθεια του Web-PVT, από 1 (καθόλου) έως 5 (πάρα πολύ).	4.12	0.71	4.24	0.76	t(100) = -0.81; p = 0.21
Ήταν εύκολο να χρησιμοποιήσετε το ηλεκτρονικό βιβλίο για τη μελέτη της θεωρίας, από 1 (καθόλου) έως 5 (πάρα πολύ).	3.31	0.79	1.55	0.64	t(100) = 12.41; p < 0.0001
Είστε ικανοποιημένοι από τις αποκρίσεις του Web-PVT στα λάθη που κάνατε στις ασκήσεις, από 1 (καθόλου) έως 5 (πάρα πολύ).	4.10	0.67	1.28	0.45	t(100) = 24.94; p < 0.0001
Μία ώρα διδασκαλίας με το Web-PVT είναι περισσότερο επικοινωνιακή από μία ώρα διδασκαλίας στην τάξη, από 1 (διαφωνώ απολύτως) έως 5 (συμφωνώ απολύτως).	1.33	0.52	1.37	0.53	t(100) = -0.38; p = 0.35
Θα χρησιμοποιούσατε το Web-PVT για μελέτη στο σπίτι, από 1 (ποτέ) έως 5 (πάντα).	2.49	0.70	1.94	0.68	t(100) = -4.02; p < 0.0001

Πίνακας 6.3 Αποτελέσματα αξιολόγησης με βάση τα ερωτηματολόγια.

6.4 Συμπεράσματα

Ο πρωταρχικός στόχος των εκπαιδευτικών πακέτων λογισμικού είναι να βοηθούν τους μαθητές στη διαδικασία της μάθησης. Για να μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με την επίτευξη αυτού του στόχου είναι αναγκαία η αξιολόγηση τέτοιου είδους λογισμικού από πραγματικούς μαθητές. Παρόλα αυτά, εξαιτίας της δυσκολίας στο σχεδιασμό και του μεγάλου κόστους σε χρόνο που απαιτούν, πολύ συχνά οι μελέτες αξιολόγησης παραμελούνται ή και παρακάμπτονται εντελώς. Επιπρόσθετα, τα συστήματα που ενσωματώνουν μοντέλα χρηστών για την εξατομίκευση της αλληλεπίδρασής τους με τον κάθε χρήστη προσθέτουν ένα επιπλέον επίπεδο δυσκολίας στην αξιολόγησή τους. Αυτό συμβαίνει διότι τα προσαρμοστικά συστήματα δεν είναι προβλέψιμα. Για τον παραπάνω λόγο, ο πιο κατάλληλος τρόπος αξιολόγησης τέτοιου είδους συστημάτων είναι με τη διεξαγωγή εμπειρικών μελετών (Chin 2001).

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν οι εμπειρικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν με σκοπό την αξιολόγηση του Web-PVT. Η πρώτη μελέτη, αφορούσε στην αξιολόγηση της προσέγγισης που ακολουθείται από το Web-PVT για την ανάθεση αρχικών τιμών στα μοντέλα νέων μαθητών. Το τμήμα αυτό της εφαρμογής είναι πολύ βασικό (εξαιτίας της καινοτομίας του) και γι' αυτό κρίθηκε αναγκαίο να εξεταστεί ξεχωριστά. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε η ακρίβεια των αρχικών μοντέλων που παράγονται από το Web-PVT με βάση το κατά πόσο συμφωνούσαν οι καθηγητές Αγγλικών με τα μοντέλα των μαθητών τους που κατασκευάστηκαν σε διαφορετικές φάσεις της χρήσης του συστήματος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης, η ικανότητα του συστήματος να αυτο-βελτιώνεται όσο χρησιμοποιείται από μαθητές οδήγησε στην κατασκευή πιο εξατομικευμένων αρχικών μοντέλων για νέους μαθητές. Παρόλα αυτά, η συγκεκριμένη προσέγγιση αρχικοποίησης δεν φάνηκε να είναι έχει κάποιο καλύτερο αποτέλεσμα από τη χρήση απλών στερεοτύπων στην περίπτωση των μαθητών που θεωρούνται προχωρημένοι. Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί εν μέρει να ερμηνευτεί με βάση το γεγονός είναι ότι οι μαθητές του συγκεκριμένου στερεοτύπου δεν κάνουν πολλά λάθη. Για το λόγο αυτό περιορίζονται σημαντικά και τα οφέλη των μαθητών που προέρχονται από την αιτία της χρήσης κανόνων από κάποια ήδη γνωστή γλώσσα στη διδασκόμενη γλώσσα.

Η δεύτερη μελέτη στόχευε να εξετάσει την επίδραση που μπορεί να είχε η δυνατότητα του Web-PVT να εξατομικεύει τη διδασκαλία και την ανάδραση σε λάθη τόσο στο μαθησιακό αποτέλεσμα, όσο και στην αποδοτικότητα του τρόπου με τον οποίο οι μαθητές χρησιμοποιούν το σύστημα. Επιπρόσθετα, οι τελικοί μαθητές κλήθηκαν επίσης να αξιολογήσουν το Web-PVT αναφορικά με τη φιλικότητα, την ευχρηστία και τη χρησιμότητά του. Για το σκοπό της παραπάνω μελέτης, συγκρίθηκαν δύο διαφορετικές εκδόσεις του Web-PVT. Η πρώτη έκδοση είχε τη δυνατότητα να παρέχει εξατομικευμένη υποστήριξη στο μαθητή κατά τη μελέτη της θεωρίας και την επίλυση ασκήσεων βάσει του μοντέλου του μαθητή. Η δεύτερη έκδοση του συστήματος δεν μοντελοποιούσε τους μαθητές και κατά συνέπεια δεν μπορούσε να παρέχει προσαρμοστική διδασκαλία. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της αξιολόγησης, οι μαθητές που χρησιμοποίησαν την προσαρμοστική έκδοση του συστήματος είχαν καλύτερο μαθησιακό αποτέλεσμα και μπόρεσαν να επιτύχουν αποδοτικότερη χρήση του συστήματος σε σύγκριση με τους μαθητές που χρησιμοποίησαν την έκδοση που δεν παρείχε εξατομικευμένη διδασκαλία.

Αναφορικά με τη φιλικότητα, την ευχρηστία και τη χρησιμότητα των δύο συστημάτων που χρησιμοποιήθηκαν για τους σκοπούς της αξιολόγησης, το σύστημα που παρείχε εξατομικευμένη διδασκαλία φάνηκε να δυσκολεύει τους μαθητές στη χρήση του και χρειάστηκαν περισσότερο χρόνο για να εξοικειωθούν με αυτό. Το αποτέλεσμα αυτό είναι λογικό αν αναλογιστούμε ότι η προσαρμοστική υποστήριξη των μαθητών προσθέτει ένα επιπλέον στοιχείο στο σύστημα διεπαφής, το οποίο καλείται να μάθει ο μαθητής (Brusilovsky & Eklund 1998). Παρόλα αυτά, όπως ήταν αναμενόμενο με βάση τα αποτελέσματα από την ανάλυση των αρχείων ενεργειών των μαθητών, οι μαθητές της ομάδας ΕΔΣΓ ήταν σημαντικά πιο ικανοποιημένοι από την υποστήριξη του συστήματος κατά τη μελέτη της θεωρίας και κατά την επίλυση ασκήσεων. Τέλος, ένα γενικό συμπέρασμα που εξήχθη με βάση της απαντήσεις του συνόλου των μαθητών ήταν ότι δεν θεώρησαν τη διδασκαλία με τη βοήθεια του Web-PVT εξίσου επικοδομητική με τη συμβατική διδασκαλία σε σχολική τάξη. Παρόλα αυτά, οι μαθητές της ομάδας ΕΔΣΓ απάντησαν ότι θα χρησιμοποιούσε το σύστημα για τη μελέτη στο σπίτι.

7 EasyMath: Ένα ΕΔΣ για τις Αλγεβρικές Δυνάμεις

7.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται ένα ΕΔΣ για την εκμάθηση των αλγεβρικών δυνάμεων, το οποίο ονομάζεται EasyMath (Virvou & Tsiriga 1999a, 1999b, 2000a, 2000b, 2001c). Η ευφυΐα του συστήματος έγκειται στην ικανότητά του να κατασκευάζει δυναμικά ασκήσεις και να παρέχει εξατομικευμένη βοήθεια σε περιπτώσεις που ο μαθητής απαντά λανθασμένα σε ασκήσεις. Η ανάπτυξη του συστήματος έγινε ακολουθώντας την διαδικασία Rational Unified (Booch et al. 1997, Quatrani 1998, Kruchten 1999), η οποία είναι μία αντικειμενοστρεφής μεθοδολογία ανάπτυξης λογισμικού, που βασίζεται σε πολλαπλές επαναλήψεις των διαφόρων φάσεων του κύκλου ζωής. Για να διασφαλιστεί η χρησιμότητα του εκπαιδευτικού συστήματος σε συνθήκες πραγματικής διδασκαλίας, καθηγητές και μαθητές συμμετείχαν σε διάφορα στάδια της ανάπτυξης του συστήματος. Συγκεκριμένα, ο σχεδιασμός του EasyMath έχει βασιστεί στα αποτελέσματα μίας εμπειρικής μελέτης που πραγματοποιήθηκε και στην οποία συμμετείχαν καθηγητές μαθηματικών και μαθητές γυμνασίου. Επιπλέον, το σύστημα που αναπτύχθηκε αξιολογήθηκε από μαθητές και καθηγητές σε πραγματικές συνθήκες διδασκαλίας.

Το υπόλοιπο του κεφαλαίου είναι δομημένο σύμφωνα με τις διάφορες φάσεις του κύκλου ζωής του ΕΔΣ, ο οποίος παρουσιάζεται στην ενότητα 7.2. Στην ενότητα 7.3 παρουσιάζεται η ανάλυση απαιτήσεων και οι εμπειρική μελέτη που έγινε και στην οποία συμμετείχαν εκπαιδευτικοί και μαθητές. Στη συνέχεια περιγράφεται η αρχιτεκτονική και η λειτουργικότητα του EasyMath (ενότητα 7.4). Στην ενότητα 7.5 παρουσιάζεται εκτενώς η αξιολόγηση του ΕΔΣ από τους τελικούς χρήστες. Η αξιολόγηση χωρίζεται σε δύο τμήματα, την αξιολόγηση που πραγματοποιήθηκε μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού του συστήματος και την αξιολόγηση της πρώτης

τελικής έκδοσης του EasyMath. Τέλος, στην ενότητα 7.6 παρατίθενται κάποια συμπεράσματα.

7.2 Κύκλος Ζωής του EasyMath

Ένας από τους κύριους στόχους ενός ΕΔΣ είναι να παρέχει βοήθεια στο μαθητή κατά τη διαδικασία της μάθησης. Εν τούτοις, όπως τονίζεται από τους Jones et al. (1993), δεν υπάρχει κάποια μέθοδος σχεδιασμού λογισμικού, η οποία να δύνатаι να προβλέψει όλα τα πιθανά προβλήματα που μπορεί να αντιμετωπίσει κάποιος μαθητής καθώς αλληλεπιδρά με το ΕΔΣ. Ο εντοπισμός αυτών των πιθανών προβλημάτων είναι πολύ σημαντικός για την τελική αποδοχή του ΕΔΣ από τους μαθητές. Για να διασφαλιστεί η χρησιμότητα του συστήματος σε συνθήκες πραγματικής διδασκαλίας, ο κύκλος ζωής του EasyMath βασίστηκε στη διαδικασία Rational Unified, η οποία είναι μία αντικειμενοστρεφής διαδικασία που προτείνει να πραγματοποιούνται πολλαπλές επαναλήψεις των διαφόρων φάσεων της ανάπτυξης ενός πακέτου λογισμικού.

Δεδομένης της πολυπλοκότητας των διαφόρων αποφάσεων που λαμβάνονται κατά την ανάπτυξη ενός ΕΔΣ, θεωρείται ιδιαίτερα δυσχερής η ανάπτυξη ενός τέτοιου πακέτου λογισμικού ακολουθώντας τα κλασικά μοντέλα κύκλου ζωής της τεχνολογίας λογισμικού, για παράδειγμα το μοντέλο του καταρράκτη (Sommerville 1992). Το συγκεκριμένο μοντέλο ανάπτυξης λογισμικού δεν θεωρείται κατάλληλο για την περίπτωση των ΕΔΣ, εξαιτίας του γεγονότος ότι το σύστημα που αναπτύσσεται σύμφωνα με αυτό δεν μπορεί να δοκιμαστεί από τους τελικούς χρήστες έως ότου αυτό ολοκληρωθεί. Κάποιες προσεγγίσεις ανάπτυξης λογισμικού που εμπεριέχουν κάποια αναδρομή, όπως για παράδειγμα το μοντέλο σπιδράλ, είναι κατάλληλες για την ανάπτυξη ΕΔΣ, διότι προσαρμόζονται σε τακτικές αλλαγές των απαιτήσεων λογισμικού (Boehm 1988, Boehm 1996). Παρόλα αυτά, στην περίπτωση του EasyMath επιλέχθηκε η διαδικασία Rational Unified για δύο λόγους:

- ✧ Υποστηρίζει πολλαπλές επαναλήψεις των διαφόρων φάσεων ανάπτυξης του λογισμικού, ένα πολύ σημαντικό ζήτημα στην περίπτωση συστημάτων που στοχεύουν να συνδυάσουν τόσο την παροχή διδασκαλίας όσο και το να είναι χρησιμοποιήσιμα σε πραγματικές συνθήκες.

- ✦ Είναι μια αντικειμενοστρεφής μεθοδολογία και κατά συνέπεια είναι πιο κατάλληλη για την ανάπτυξη γραφικών συστημάτων διεπαφής, όπως αυτό του EasyMath.

Χρησιμοποιώντας τη διαδικασία Rational Unified ο κύκλος ζωής του λογισμικού χωρίζεται σε κύκλους, όπου κάθε κύκλος οδηγεί σε μία νέα έκδοση του πακέτου λογισμικού. Επιπλέον, κάθε ένας από τους κύκλους της διαδικασίας, χωρίζεται σε τέσσερις διαδοχικές φάσεις: τη φάση της εκκίνησης (inception), τη φάση της επεξεργασίας (elaboration), την κατασκευαστική φάση (construction) και τη φάση της μετάβασης (transition).

Στην περίπτωση του EasyMath, στη φάση της *εκκίνησης*, πραγματοποιήθηκε μία εμπειρική μελέτη, στην οποία συμμετείχαν τόσο καθηγητές μαθηματικών που διδάσκουν σε γυμνάσιο, όσο και μαθητές της δευτέρας τάξης γυμνασίου. Η ανάλυση των απαιτήσεων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια της Unified Modeling Language (UML), ώστε να διασφαλιστεί η σωστή επικοινωνία μεταξύ των αναλυτών απαιτήσεων και των τελικών χρηστών του προϊόντος. Η εμπειρική μελέτη είχε ως στόχο να αναγνωριστούν οι απαιτήσεις που υπάρχουν από ένα πακέτο εκπαιδευτικού λογισμικού για την διδασκαλία των αλγεβρικών δυνάμεων, ώστε αυτό να είναι αποτελεσματικό σε πραγματικές συνθήκες διδασκαλίας. Επιπλέον, τα αποτελέσματα της εμπειρικής μελέτης χρησιμοποιήθηκαν ώστε να κατασκευαστεί μία βιβλιοθήκη των πιο συνηθισμένων λαθών που κάνουν οι μαθητές όταν μαθαίνουν τις αλγεβρικές δυνάμεις.

Στη φάση της *επεξεργασίας* πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός της αρχιτεκτονικής του ΕΔΣ, ενώ παράλληλα κατασκευάστηκε και ένα αρχικό πρωτότυπο του EasyMath. Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού του συστήματος συμμετείχε ένας καθηγητής μαθηματικών, ο οποίος παρείχε πληροφορίες σχετικά με τα είδη των ασκήσεων που θα έπρεπε να συμπεριληφθούν στο ΕΔΣ, καθώς και διάφορες λειτουργικές απαιτήσεις που είναι συνυφασμένες με τη χρήση του συστήματος στην τάξη. Όπως τονίζεται από τους Dix et al. (1993), η αξιολόγηση είναι ένα αναπόσπαστο τμήμα της διαδικασίας του σχεδιασμού ενός προϊόντος λογισμικού και πρέπει να πραγματοποιείται καθ' όλη τη διάρκεια της φάσης του σχεδιασμού. Κατά συνέπεια, δέκα καθηγητές μαθηματικών συμμετείχαν επίσης και στην αξιολόγηση του σχεδιασμού του υποσυστήματος μοντελοποίησης μαθητών και του γεννήτορα συμβουλών του EasyMath. Επιπλέον, το αρχικό πρωτότυπο του συστήματος αξιολογήθηκε στο

σύνολο του από δύο καθηγητές μαθηματικών και από δεκαπέντε μαθητές της δεύτερας τάξης γυμνασίου. Η αξιολόγηση βασίστηκε σε μεθόδους ποιοτικής αξιολόγησης (qualitative evaluation methods), όπως για παράδειγμα την παρατήρηση και τα ερωτηματολόγια. Τα ερωτηματολόγια που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του αρχικού πρωτοτύπου δημιουργήθηκαν με βάση ένα σύνολο ευριστικών κανόνων που αξιολογούν τη «χρησιμοποιησιμότητα» ενός προϊόντος λογισμικού (“usability” heuristics) (Nielsen 1994). Τα σχόλια που συλλέχθηκαν σε αυτό το στάδιο ανάπτυξης του EasyMath χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για την περαιτέρω ανάλυση των απαιτήσεων καθώς και για την κατασκευή της πρώτης τελικής έκδοσης του ΕΔΣ.

Στην κατασκευαστική φάση, έγινε επέκταση του αρχικού πρωτοτύπου που δημιουργήθηκε στη φάση της επεξεργασίας, οδηγώντας σε μία δεύτερη ολοκληρωμένη έκδοση του EasyMath. Το σύστημα που δημιουργήθηκε σε αυτή τη φάση, αξιολογήθηκε εκτενώς ως προς τη λειτουργικότητα (functionality) και τη χρησιμοποιησιμότητά (usability) του. Για την αξιολόγηση της δεύτερης ολοκληρωμένης έκδοσης του EasyMath χρησιμοποιήθηκε ένα σύνολο ευριστικών κανόνων «εκμάθησης μέσω λογισμικού» (“learning with software” heuristics) (Squires & Preece 1999). Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της ολοκληρωμένης έκδοσης του ΕΔΣ χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για τη δημιουργία της διαδικτυακής έκδοσης του EasyMath.

7.3 Ανάλυση Απαιτήσεων και Εμπειρική Μελέτη

7.3.1 Ανάλυση Απαιτήσεων του EasyMath

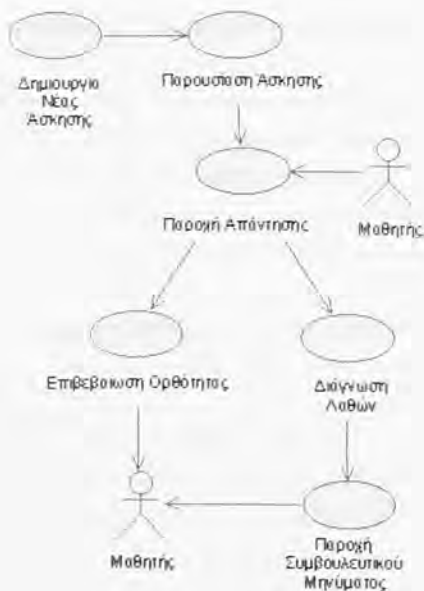
Μία μεγάλη δυσκολία που συχνά παρεμποδίζει την ανάπτυξη επιτυχημένου λογισμικού και οδηγεί σε σύγχυση είναι η διαφορετική οπτική γωνία με την οποία βλέπουν το λογισμικό οι χρήστες και οι άνθρωποι που το αναπτύσσουν. Οι χρήστες συνήθως εστιάζουν στο πεδίο του προβλήματος, για παράδειγμα στα χαρακτηριστικά του συστήματος, ενώ οι τεχνολόγοι λογισμικού και οι προγραμματιστές εστιάζουν στο πεδίο της επίλυσης του προβλήματος, δηλαδή σε τεχνικά θέματα σχετικά με την ανάπτυξη του λογισμικού (Turner et al. 1999). Συνεπώς, κατά την ανάπτυξη πακέτων λογισμικού τα οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε πραγματικές συνθήκες, είναι εξαιρετικά σημαντικό να

περιγράφονται οι απαιτήσεις του συστήματος με έναν τρόπο που είναι κατανοητός και από τις δύο πλευρές.

Στην περίπτωση του EasyMath, χρησιμοποιήθηκε η Unified Modeling Language (UML) για την ανάλυση και την περιγραφή των απαιτήσεων του ΕΔΣ. Στη UML, οι απαιτήσεις λειτουργικότητας του συστήματος περιγράφονται με τη βοήθεια περιπτώσεων-χρήσης (use-cases) και ενεργοποιών (actors) (Jacobson et al. 1992). Με τη μοντελοποίηση των περιπτώσεων χρήσης, οι εξωτερικοί ενεργοποιοί (external actors) που πρόκειται να αλληλεπιδρούν με το σύστημα μοντελοποιούνται μαζί με τη λειτουργικότητα που απαιτούν από το σύστημα (περίπτωση-χρήσης). Οι ενεργοποιοί και οι περιπτώσεις-χρήσης συσχετίζονται μεταξύ τους είτε με σχέσεις συσχετισμών είτε με διάσπαση σε ιεραρχίες.

Παρόλο που η μοντελοποίηση περιπτώσεων-χρήσης παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον για τους μηχανικούς λογισμικού αντικειμενοστρεφούς τεχνολογίας, έχουν αναφερθεί αρκετά προβλήματα που σχετίζονται με τη μέθοδο αυτή. Για παράδειγμα, οι Muller et al. (1997) επισημαίνουν ότι ένα μειονέκτημα της συγκεκριμένης προσέγγισης είναι ότι τα μοντέλα περιπτώσεων-χρήσης που παράγονται έχουν ως βασικό γνώμονα το παραγόμενο προϊόν λογισμικού και δεν δίνουν μεγάλη σημασία στους τελικούς χρήστες. Για να αντιμετωπιστεί η παραπάνω δυσκολία, στην περίπτωση του EasyMath, στην περιγραφή των απαιτήσεων με τη χρήση των περιπτώσεων-χρήσης συμμετείχαν τόσο καθηγητές όσο και μαθητές γυμνασίου.

Ένα παράδειγμα διαγράμματος περίπτωσης-χρήσης που αφορά στη χρήση του EasyMath από μαθητές, παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.1. Στο διάγραμμα αυτό αναπαρίσταται η διαδικασία επίλυσης ασκήσεων από το μαθητή με τη χρήση του EasyMath. Το πρώτο βήμα της διαδικασίας είναι η δημιουργία μιας νέας άσκησης προς επίλυση. Στη συνέχεια, το σύστημα παρουσιάζει την άσκηση στο μαθητή και παραμένει ανενεργό έως ότου ο μαθητής δώσει κάποια απάντηση. Στην περίπτωση που η λύση του μαθητή είναι σωστή, το σύστημα επιβεβαιώνει την ορθότητά της. Αν όμως η απάντηση του μαθητή είναι λανθασμένη, το EasyMath πραγματοποιεί διάγνωση του λάθους του μαθητή. Τέλος, ανάλογα με την αιτία του λάθους, το σύστημα εμφανίζει στο μαθητή το κατάλληλο διαγνωστικό μήνυμα.



Εικόνα 7.1: Διάγραμμα περίπτωσης-χρήσης για την επίλυση ασκήσεων.

7.3.2 Εμπειρική μελέτη

Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη του EasyMath έχει βασιστεί σε μεγάλο βαθμό στα αποτελέσματα μίας εμπειρικής μελέτης που διεξήχθη στη φάση της εκκίνησης σύμφωνα με τον κύκλο ζωής του ΕΔΣ. Στην εμπειρική μελέτη συμμετείχαν 4 μαθηματικοί καθώς και 240 μαθητές από οκτώ διαφορετικά τμήματα της δευτέρας γυμνασίου. Η εμπειρική μελέτη είχε ως στόχο να αναγνωριστούν οι απαιτήσεις που υπάρχουν από ένα πακέτο εκπαιδευτικού λογισμικού ώστε αυτό να είναι αποτελεσματικό σε πραγματικές συνθήκες διδασκαλίας. Επιπλέον, τα αποτελέσματα της εμπειρικής μελέτης χρησιμοποιήθηκαν ώστε να κατασκευαστεί μία βιβλιοθήκη των πιο συνηθισμένων λαθών που κάνουν οι μαθητές όταν μαθαίνουν τις αλγεβρικές δυνάμεις. Η συγκεκριμένη εμπειρογνώμοσση κρίνεται ιδιαίτερης σημασίας για την κατασκευή του υποουστήματος μοντελοποίησης μαθητών του ΕΔΣ.

Στην εμπειρική μελέτη, αρχικά οι καθηγητές κλήθηκαν να ετοιμάσουν ένα διαγνωστικό τεστ, το οποίο κάλυπτε στο σύνολό του το πεδίο των αλγεβρικών δυνάμεων, όπως αυτό διδάσκεται στη δεύτερα τάξη του γυμνασίου. Συγκεκριμένα, το τεστ περιείχε ερωτήσεις που σχετίζονται με τις διάφορες περιπτώσεις υπολογισμού

μίας δύναμης, μετατροπής αριθμού σε αλγεβρική δύναμη, πράξεις μεταξύ αλγεβρικών δυνάμεων, καθώς και ύψωση κάποιας δύναμης σε άλλη δύναμη.

Το συγκεκριμένο τεστ δόθηκε στο σύνολο των μαθητών, οι οποίοι κλήθηκαν να απαντήσουν σε όλες τις ερωτήσεις. Στη συνέχεια, οι 4 καθηγητές διόρθωσαν τα τεστ των μαθητών καταγράφοντας τα λάθη που είχαν γίνει καθώς και ποια θεωρούσαν ότι ήταν η αιτία του κάθε λάθους. Από το σύνολο των λαθών που προέκυψαν αυτά που εμφανίστηκαν τις περισσότερες φορές επιλέχθηκαν ώστε να απαρτίσουν τη βιβλιοθήκη των πιο συνηθισμένων σφαλμάτων του EasyMath.

Για παράδειγμα, για τον πολλαπλασιασμό δυνάμεων τα πιο συνηθισμένα λάθη που συλλέχθηκαν είναι τα εξής:

- ❖ Ο μαθητής μπορεί να πολλαπλασιάζει αντί να προσθέτει τους εκθέτες. Για παράδειγμα, $4^3 * 4^6 = 4^{18}$ αντί για 4^9 .
- ❖ Ο μαθητής μπορεί να πολλαπλασιάζει τις βάσεις αντί να αφήνει την ίδια βάση. Για παράδειγμα, $3^4 * 3^5 = 9^9$ αντί για 3^9 .
- ❖ Ο μαθητής μπορεί να πολλαπλασιάζει τόσο τις βάσεις όσο και τους εκθέτες. Για παράδειγμα, $2^3 * 2^5 = 4^{15}$ αντί για 2^8 .
- ❖ Όταν η μία δύναμη έχει αρνητικό εκθέτη ο μαθητής μπορεί να αφαιρεί αντί να προσθέτει τους εκθέτες. Για παράδειγμα, $5^3 * 5^{-4} = 5^7$ αντί για 5^{-1} .
- ❖ Ο μαθητής μπορεί να κάνει κάποιο λάθος απροσεξίας. Για παράδειγμα, $4^3 * 4^6 = 5^9$ αντί για 4^9 .
- ❖ Στην περίπτωση που ο μαθητής καλείται να πολλαπλασιάσει κάποια δύναμη με έναν ακέραιο αριθμό ο οποίος μπορεί να αναχθεί σε δύναμη με την ίδια βάση όπως η πρώτη δύναμη, τότε μπορεί να κάνει κάποιο λάθος είτε στην αναγωγή του αριθμού σε δύναμη, είτε στον πολλαπλασιασμό των δυνάμεων. Για παράδειγμα, $2^3 * 8 = 16^3$ ή $2^3 * 8 = 2^9$ αντί για 2^6 .

Οι κατηγορίες των πλέον συνηθισμένων σφαλμάτων των μαθητών, η αιτία που τα προκαλεί καθώς και το κατάλληλο διαγνωστικό μήνυμα για κάθε κατηγορία ενσωματώθηκαν στο υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών και στο υποσύστημα λήψης διδακτικών αποφάσεων του EasyMath.

7.4 Περιγραφή του EasyMath

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική και η λειτουργικότητα του EasyMath.

7.4.1 Αρχιτεκτονική του ΕΔΣ

Το EasyMath ακολουθεί την κλασική αρχιτεκτονική των Ευφυών Διδακτικών Συστημάτων (Hartley & Sleeman 1973, Burton & Brown 1976, Wenger 1987, Self 1999) και συνίσταται σε τέσσερα βασικά συστατικά στοιχεία: το γνωστικό πεδίο (domain knowledge), το υποσύστημα μοντελοποίησης του μαθητή (student modeler), το υποσύστημα λήψης διδακτικών αποφάσεων (tutoring component) και το σύστημα διεπαφής με το χρήστη (user interface).

Το *γνωστικό πεδίο* του EasyMath αναπαρίσταται ως ένα εννοιολογικό δίκτυο, το οποίο απεικονίζει τις σχέσεις μεταξύ του συνόλου των εννοιών των αλγεβρικών δυνάμεων. Κάθε κόμβος του συγκεκριμένου δικτύου αναπαριστά μια θεματική ενότητα, η οποία μπορεί να συνίσταται σε μία ή περισσότερες θεματικές υπο-ενότητες ή έννοιες. Οι κόμβοι του δικτύου μπορεί να συνδέονται μεταξύ τους με δύο τύπους συνδέσμων: «τμήμα-του» ή «προσπαιτούμενο». Ένας σύνδεσμος «τμήμα-του» ξεκινά από μία γενική θεματική ενότητα και δείχνει σε μία πιο ειδική θεματική ενότητα ή έννοια, η οποία αποτελεί ένα από τα τμήματα που τη συνιστούν. Για παράδειγμα, ένας σύνδεσμος «τμήμα-του» υπάρχει μεταξύ της γενικής θεματικής ενότητας που περιγράφει τις «πράξεις μεταξύ αλγεβρικών δυνάμεων» και της πιο συγκεκριμένης έννοιας που αναφέρεται στον «πολλαπλασιασμό αλγεβρικών δυνάμεων». Τέλος, ένας σύνδεσμος «προσπαιτούμενο» ξεκινά από κάποια έννοια και δείχνει σε κάποια άλλη, η οποία είναι προσπαιτούμενή της. Για παράδειγμα, η έννοια της «ύψωσης μιας δύναμης σε κάποια άλλη δύναμη» συνδέεται με μία σχέση προσπαιτούμενο με την έννοια του «υπολογισμού αλγεβρικής δύναμης», η οποία είναι προσπαιτούμενή της. Επιπλέον, το γνωστικό πεδίο περιέχει την αναγκαία γνώση ώστε να μπορεί το EasyMath να δημιουργεί δυναμικά και να λύνει ασκήσεις σχετικές με τις αλγεβρικές δυνάμεις. Τέλος, στο γνωστικό πεδίο εμπεριέχονται και οι συσχετισμοί των διαφόρων διαγνωστικών ασκήσεων που παρουσιάζονται στους μαθητές με την θεματική ενότητα στην οποία αναφέρονται.

Για τη *μοντελοποίηση του μαθητή* στο EasyMath χρησιμοποιείται ένα σύνολο από λανθασμένους κανόνες (mal-rules) για την αναγνώριση των λαθών των μαθητών,

όμοια με άλλα συστήματα (Brown & Burton 1978, Sleeman 1987, Hoppe 1994, Sison et al. 2000). Όπως τονίζεται σε πολλές μελέτες (π.χ. Bertels 1994, Ragnemalm 1996), η χρήση βιβλιοθηκών σφαλμάτων για τη μοντελοποίηση μαθητών υπερέρχει του μοντέλου της επικάλυψης (overlay model), διότι μπορεί να μοντελοποιεί και την τυχόν λανθασμένη γνώση που μπορεί να χρησιμοποιεί κάποιος μαθητής. Παρόλα αυτά, η κατασκευή βιβλιοθηκών σφαλμάτων είναι μια χρονοβόρα και δύσκολη εργασία, που προϋποθέτει την διεξαγωγή εκτενών εμπειρικών μελετών και αναλύσεων της μεθοδολογίας που χρησιμοποιούν οι μαθητές όταν λύνουν ασκήσεις (VanLehn 1988). Στην περίπτωση του EasyMath, οι λανθασμένοι κανόνες που έχουν ενσωματωθεί στη βιβλιοθήκη λαθών αντιστοιχούν στα πιο συνηθισμένα λάθη των μαθητών όπως προέκυψαν από την εμπειρική μελέτη που πραγματοποιήθηκε. Επιπλέον, το σύστημα διατηρεί για κάθε μαθητή και ένα μοντέλο μακράς διάρκειας (long term student model). Το μοντέλο αυτό αποτελεί ένα ιστορικό των αδυναμιών και της προόδου του μαθητή, καθώς αυτός αλληλεπιδρά με το σύστημα. Συγκεκριμένα, στο μοντέλο αυτό καταγράφεται το κατά πόσο ο μαθητής γνωρίζει κάθε μία από τις θεματικές ενότητες του γνωστικού πεδίου ανάλογα με τις επιδόσεις του σε ασκήσεις που σχετίζονται με κάθε θεματική ενότητα, καθώς και το ποσοστό των σφαλμάτων του μαθητή όσον αφορά σε κάθε μία από τις θεματικές ενότητες.

Το υποσύστημα *λήψης διδακτικών αποφάσεων* του EasyMath είναι υπεύθυνο για την επιλογή των ασκήσεων που παρουσιάζονται στο μαθητή, για την πρόταση του θεωρητικού τμήματος που πρέπει να διαβάσει ο μαθητής, καθώς και για τις συμβουλές που δίδονται στα σφάλματα που κάνει ο μαθητής. Τέλος, το *σύστημα διεπαφής* του EasyMath είναι ένα πολυμεσικό σύστημα διεπαφής (multimedia user interface) που χρησιμοποιεί στατικές και κινούμενες εικόνες καθώς και ήχους ώστε να προκαλέσει το ενδιαφέρον του μαθητή. Τα πολυμέσα έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν ένα πλούσιο εκπαιδευτικό περιβάλλον, το οποίο κατά πολλούς είναι ιδανικό για την παροχή αποτελεσματικής διδασκαλίας (Barker et al. 2002).

7.4.2 Λειτουργικότητα του ΕΔΣ

Το EasyMath σχεδιάστηκε ώστε να χρησιμοποιείται από μαθητές και εκπαιδευτικούς είτε κατά τη διδασκαλία σε μία σχολική αίθουσα είτε κατά τη μελέτη στο σπίτι ή την προετοιμασία ενός τεστ από κάποιον εκπαιδευτικό. Συγκεκριμένα, το EasyMath έχει τέσσερα περιβάλλοντα λειτουργίας, το περιβάλλον παρουσίασης

θεωρίας, το περιβάλλον επίλυσης ασκήσεων, το περιβάλλον του παιχνιδιού και το περιβάλλον κατασκευής ασκήσεων πολλαπλών επιλογών.

Περιβάλλον Παρουσίασης Θεωρίας

Σε αυτό το περιβάλλον, ο μαθητής μπορεί να μελετήσει τα θεωρητικά τμήματα και τα παραδείγματα που σχετίζονται με το πεδίο των αλγεβρικών δυνάμεων. Για κάθε μία θεματική ενότητα του γνωστικού πεδίου, υπάρχει μία ή περισσότερες σελίδες θεωρίας που σχετίζονται με αυτό. Ο μαθητής μπορεί να επιλέξει τη θεωρητική ενότητα που επιθυμεί να μελετήσει από τον πίνακα περιεχομένων της θεωρίας. Επιπλέον, το EasyMath έχει τη δυνατότητα να προτείνει στο μαθητή κάποια ενότητα προς μελέτη, συμβουλευόμενο το μοντέλο που διατηρεί το σύστημα για το συγκεκριμένο μαθητή. Συγκεκριμένα, το σύστημα προτείνει στο μαθητή να μελετήσει τη θεωρία που σχετίζεται με κάποια θεματική ενότητα στην οποία ο μαθητής έχει τη χαμηλότερη επίδοση στην επίλυση ασκήσεων. Ένα παράδειγμα μίας σελίδας θεωρίας, όπως αυτή παρουσιάζεται από το σύστημα εμφανίζεται στην Εικόνα 7.2.



Εικόνα 7.2: Σελίδα παρουσίασης θεωρίας του EasyMath.

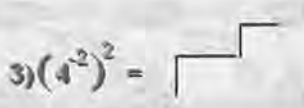
Περιβάλλον Επίλυσης Ασκήσεων

Σε αυτό το περιβάλλον, το σύστημα παρουσιάζει στο μαθητή ασκήσεις προς επίλυση. Το EasyMath υποστηρίζει δύο τύπους ασκήσεων: ασκήσεις πολλαπλών επιλογών, και ασκήσεις στις οποίες ο μαθητής καλείται να πληκτρολογήσει την απάντηση. Ένα παράδειγμα ασκήσεων πολλαπλής επιλογής παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.3(α), ενώ ένα παράδειγμα άσκησης στην οποία ο μαθητής καλείται να πληκτρολογήσει την απάντηση παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.3(β).



1) $5^3 \cdot 5^4 =$

- 25^{12}
- 5^7
- 5^{12}



3) $(4^{-2})^2 =$

Εικόνα 7.3: (α) Άσκηση πολλαπλής επιλογής.

(β) Άσκηση εισαγωγής απάντησης.

Το EasyMath κατασκευάζει ασκήσεις διαφόρων βαθμών δυσκολίας βασισμένο σε ένα σύνολο προτύπων ασκήσεων και την τυχαία παραγωγή αριθμών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως βάσεις και εκθέτες. Για παράδειγμα, στον πολλαπλασιασμό δυνάμεων, ένα επίπεδο δυσκολίας ασκήσεων εισαγωγής απάντησης περιλαμβάνει ασκήσεις στις οποίες ο μαθητής καλείται να πολλαπλασιάσει δυνάμεις που έχουν την ίδια βάση και θετικούς εκθέτες, για παράδειγμα, $3^4 * 3^6 = ?$. Ο αριθμός που αποτελεί τη βάση και οι αριθμοί που χρησιμοποιούνται ως εκθέτες παράγονται δυναμικά από το EasyMath με βάση μία γεννήτρια τυχαίων αριθμών. Το δεύτερο επίπεδο δυσκολίας από την άλλη πλευρά, περιλαμβάνει ασκήσεις στις οποίες ο μαθητής καλείται να πολλαπλασιάσει δυνάμεις που έχουν την ίδια βάση αλλά οι εκθέτες του έχουν διαφορετικό πρόσημο. Για παράδειγμα $5^2 * 5^{-4} = ?$.

Στην περίπτωση κατασκευής ασκήσεων πολλαπλών επιλογών, το EasyMath, αφού κατασκευάσει κάποια ερώτηση, χρησιμοποιεί το γνωστικό πεδίο και το μοντέλο του εκάστοτε μαθητή για την κατασκευή της σωστής και των εναλλακτικών απαντήσεων. Για κάθε τύπο ερώτησης, το σύστημα γνωρίζει τον τρόπο να λύσει σωστά την άσκηση, καθώς και γνωρίζει και έναν αριθμό λανθασμένων κανόνων που αναπαριστούν τα πλέον συνήθη λάθη των μαθητών. Το αποτέλεσμα της σωστής διαδικασίας επίλυσης, χρησιμοποιείται ως σωστή απάντηση στην ερώτηση. Επιπλέον, οι εναλλακτικές απαντήσεις που παρουσιάζονται επιλέγονται με βάση το μοντέλο

του μαθητή. Συγκεκριμένα, ως εναλλακτικές απαντήσεις, εμφανίζονται τα αποτελέσματα των δύο λανθασμένων κανόνων τους οποίους χρησιμοποιεί περισσότερο ο μαθητής, σύμφωνα με το ιστορικό του. Για παράδειγμα, ως υποθέσουμε ότι το σύστημα δημιουργεί μία άσκηση που αναφέρεται στον πολλαπλασιασμό δυνάμεων. Έστω επίσης ότι σύμφωνα με το μοντέλο του, ο μαθητής που καλείται να επιλύσει την άσκηση έχει κάνει σφάλματα των ακόλουθων κατηγοριών: (α) πολλαπλασιασμό των εκθετών των δύο δυνάμεων, (β) πολλαπλασιασμό βάσεων των δύο δυνάμεων, (γ) αφαίρεση των εκθετών των δύο δυνάμεων και (δ) πολλαπλασιασμό τόσο των βάσεων όσο και των εκθετών των δύο δυνάμεων σε ποσοστό 35%, 12%, 0% και 5% αντίστοιχα. Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα θα επιλέξει και θα παρουσιάσει ως εναλλακτικές απαντήσεις στην ερώτηση, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τους λανθασμένους κανόνες (α) και (β).

Όταν ο μαθητής λύσει μια άσκηση, το EasyMath ελέγχει τη λύση και παρέχει συμβουλευτικά μηνύματα σε περίπτωση κάποιου λάθους. Τα συμβουλευτικά μηνύματα που παρέχονται στο μαθητή επιλέγονται με βάση τα αποτελέσματα της διαδικασίας διάγνωσης λαθών. Στην περίπτωση ασκήσεων πολλαπλών επιλογών η διαδικασία διάγνωσης της αιτίας κάποιου σφάλματος πραγματοποιείται με βάση το πλέον συνηθισμένο λάθος που έχει επιλέξει ο μαθητής. Για κάθε μία από τις εναλλακτικές απαντήσεις, το σύστημα γνωρίζει τη λανθασμένη διαδικασία που ακολούθησε ο μαθητής.

Στην περίπτωση ασκήσεων στις οποίες ο μαθητής καλείται να πληκτρολογήσει την απάντηση, η διαδικασία διάγνωσης της αιτίας τυχόν σφάλματος είναι πιο περίπλοκη. Συγκεκριμένα, κάθε φορά που κάποιος μαθητής δώσει μία λανθασμένη απάντηση, το σύστημα τη συγκρίνει με τις λανθασμένες διαδικασίες της βιβλιοθήκης σφαλμάτων. Αν κάποια από τις λανθασμένες διαδικασίες βρεθεί να δίνει το ίδιο αποτέλεσμα με την απάντηση του μαθητή, το σύστημα παρουσιάζει το αντίστοιχο συμβουλευτικό μήνυμα και καταγράφει το σφάλμα στο μοντέλο μακράς διάρκειας του συγκεκριμένου μαθητή.



Εικόνα 7.4: Επίλυση ασκήσεων με τη μορφή ενός παιχνιδιού.

Περιβάλλον Παιχνιδιού

Το περιβάλλον επίλυσης παιχνιδιού θεωρείται αρκετά σημαντικό από πλευράς παιδαγωγικής αξίας. Όπως τονίζεται από τους Amory et al. (1998, 1999), η χρήση των παιχνιδιών φαίνεται να παροτρύνει σημαντικά τους μαθητές στην διαδικασία της μάθησης, ενώ αποτελεί έναν από τους καλύτερους τρόπους χρήσης της τεχνολογίας των πολυμέσων στον τομέα της εκπαίδευσης. Στο συγκεκριμένο περιβάλλον εργασίας του EasyMath, ο μαθητής καλείται να επιλύσει ασκήσεις σχετικές με τις αλγεβρικές δυνάμεις, με τη μορφή ενός παιχνιδιού (Εικόνα 7.4). Συγκεκριμένα, ο μαθητής προσπαθεί να αποκαλύψει μία εικόνα. Για να αποκαλυφθεί κάθε τμήμα της εικόνας, ο μαθητής πρέπει να απαντήσει σωστά σε κάποια άσκηση εισαγωγής απάντησης που του παρουσιάζει το σύστημα. Οι ασκήσεις που καλείται να λύσει ο μαθητής είναι αυξανόμενου βαθμού δυσκολίας, δηλαδή από εύκολες στην αρχή γίνονται όλο και πιο δύσκολες μέχρι να ολοκληρωθεί η αποκάλυψη της εικόνας. Τα αποτελέσματα της επίδοσης του μαθητή στις ασκήσεις που παρουσιάζονται καταγράφονται στο μοντέλο μακράς διάρκειας του μαθητή.

Περιβάλλον Κατασκευής Ασκήσεων Πολλαπλών Επιλογών

Το περιβάλλον αυτό είναι υπεύθυνο για τη δυναμική κατασκευή ασκήσεων πολλαπλών επιλογών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από κάποιο δάσκαλο για την κατασκευή ενός τεστ. Για την κατασκευή των ασκήσεων, το σύστημα χρησιμοποιεί τόσο το γνωστικό του πεδίο όσο και τη βιβλιοθήκη σφαλμάτων που διαθέτει.

Συγκεκριμένα, αρχικά ο δάσκαλος επιλέγει τον τύπο της άσκησης που θέλει να δημιουργήσει και στη συνέχεια, το σύστημα παράγει την ερώτηση χρησιμοποιώντας τυχαία παραγόμενους αριθμούς ως βάσεις και εκθέτες. Επιπλέον, το σύστημα παρουσιάζει στο δάσκαλο ένα σύνολο λανθασμένων απαντήσεων από τις οποίες καλείται ο δάσκαλος να διαλέξει ποιες θα χρησιμοποιηθούν. Οι λανθασμένες απαντήσεις προκύπτουν χρησιμοποιώντας τη γνώση του συστήματος που αφορά στα πλέον συνηθισμένα λάθη των μαθητών.

7.5 Αξιολόγηση του EasyMath

Όπως τονίζεται από τους Barker et al. (2002), παρόλο που είναι ιδιαίτερα δύσκολο, έχει εξαιρετικά μεγάλη σημασία να αξιολογούνται τα περίπλοκα πακέτα λογισμικού, όπως τα Ευφυή Διδακτικά Συστήματα, στο σύνολό τους. Επιπλέον, η αξιολόγηση των Ευφύων Διδακτικών Συστημάτων σε πραγματικές συνθήκες διδασκαλίας χρησιμοποιώντας πραγματικούς μαθητές οδηγεί σε πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα σε σύγκριση με αξιολογήσεις που πραγματοποιούνται χρησιμοποιώντας προσομοίωση μαθητών (Mitrovic et al. 2002).

Η αξιολόγηση του EasyMath έγινε σε δύο στάδια της ανάπτυξης του συστήματος. Αρχικά, μετά την κατασκευή ενός πρώτου πρωτοτύπου συστήματος, που ολοκληρώθηκε στη φάση της επεξεργασίας, καθηγητές και μαθητές αξιολόγησαν το υποσύστημα μοντελοποίησης χρηστών και την «χρησιμοποιησιμότητα» του προϊόντος. Επιπλέον, μαθητές και εκπαιδευτικοί κλήθηκαν να αξιολογήσουν την τελική πρώτη έκδοση του συστήματος όσον αφορά στη λειτουργικότητα και τη εκπαιδευτική αξία του EasyMath.

7.5.1 Αξιολόγηση στη Φάση της Επεξεργασίας

Κατά τη φάση της επεξεργασίας δημιουργήθηκε ένα αρχικό πρωτότυπο του EasyMath για λόγους αξιολόγησης του υποσυστήματος διάγνωσης λαθών καθώς και

της γενικής «χρησιμοποίησιμότητας» του προϊόντος. Συγκεκριμένα, καθηγητές μαθηματικών που διδάσκουν σε γυμνάσιο κλήθηκαν να αξιολογήσουν το υποσύστημα διάγνωσης λαθών όσον αφορά στην διαγνωστική του ορθότητα και πληρότητα. Επιπλέον, τόσο εκπαιδευτικοί όσο και μαθητές αξιολόγησαν το αρχικό πρωτότυπο ως προς τη «χρησιμοποίησιμότητά» του, με σκοπό την περαιτέρω ανάλυση των απαιτήσεων του ΕΔΣ.

Αξιολόγηση Υποσυστήματος Διάγνωσης Λαθών και Παροχής Συμβουλών

Η ορθότητα της διαγνωστικής ικανότητας και της παροχής συμβουλών σε περίπτωση λάθους είναι πολύ μεγάλης σημασίας για τα ΕΔΣ. Γι' αυτόν το λόγο, στη φάση αυτή πραγματοποιήθηκε μία μελέτη αξιολόγησης, ώστε να διασφαλιστεί ότι το υποσύστημα διάγνωσης λαθών έχει αποδεκτή λειτουργικότητα, σύμφωνα με τη γνώμη της πλειονότητας των εκπαιδευτικών. Στην αξιολόγηση συμμετείχαν δέκα εκπαιδευτικοί, οι οποίοι κλήθηκαν να εξετάσουν τη διαγνωστική ικανότητα του EasyMath αναφορικά με την πληρότητα της βιβλιοθήκης ασφαμάτων και την καταλληλότητα των συμβουλευτικών μηνυμάτων που παρέχει το σύστημα. Για την αξιολόγηση σε αυτή τη φάση χρησιμοποιήθηκε η στρατηγική της επιθεώρησης από κάποιον ειδικό (Expert review validation strategy), σύμφωνα με την οποία ένας ή περισσότεροι ειδικοί του αντικείμενου που διδάσκεται από το εκπαιδευτικό σύστημα παρατηρεί ολόκληρο το σύστημα, τμήματα αυτού και τη συμπεριφορά τους, ώστε να προσδιορίσει τυχόν ατέλειες (Arguabarrera et al. 2002).

Συγκεκριμένα, στους δέκα εκπαιδευτικούς δόθηκε ένα ερωτηματολόγιο, το οποίο περιείχε ασκήσεις σχετικές με τις αλγεβρικές δυνάμεις, οι οποίες είχαν απαντηθεί λανθασμένα. Οι λανθασμένες απαντήσεις κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη των πιο συνηθισμένων λαθών των μαθητών. Σε κάθε ερώτηση του ερωτηματολογίου, οι εκπαιδευτικοί κλήθηκαν να εξηγήσουν την αιτία της εκάστοτε λανθασμένης απάντησης. Στην ιδεατή περίπτωση, το σύνολο των καθηγητών θα έπρεπε να δώσουν την ίδια εξήγηση με το EasyMath για κάθε μία από τις λανθασμένες απαντήσεις.

Ένα πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε κατά τη μελέτη αξιολόγησης αυτής της φάσης ήταν ότι αρκετοί από τους εκπαιδευτικούς δεν παρείχαν κάποια εξήγηση όσον αφορά στην αιτία που προκαλεί κάθε σφάλμα. Αντ' αυτού έδιναν απλά τη σωστή απάντηση στην ερώτηση. Ένα δείγμα των ερωταπαντήσεων που δόθηκαν, το ποσοστό των καθηγητών που έδωσαν την ίδια εξήγηση με το EasyMath και το

ποσοστό των εκπαιδευτικών που δεν έδωσαν καμία απάντηση παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.1.

Ερώτηση	Εξήγηση του EasyMath	Συμφωνία με την Εξήγηση του EasyMath	Δεν Απάντησαν
1. $3^5 = 15$	Πολλαπλασιασμός της βάσης με τον εκθέτη.	100%	0%
2. $(-2)^4 = -16$	Το πρόσημο (-) δεν υψώθηκε στη δύναμη.	100%	0%
3. $4^3 * 4^6 = 4^{18}$	Πολλαπλασιασμός αντί για πρόσθεση των εκθετών.	78%	22%
4. $3^4 * 3^{-5} = 3^9$	Αφαίρεση αντί για πρόσθεση των εκθετών.	22%	22%
5. $2^4 : 2^3 = 2^7$	Πρόσθεση αντί για αφαίρεση των εκθετών.	67%	11%
6. $7^8 : 7^4 = 7^2$	Διαίρεση αντί για αφαίρεση των εκθετών.	100%	0%
7. $2^4 * 8 = 16^4$	Σφάλμα στην αναγωγή αριθμού σε δύναμη.	89%	0%
8. $7^2 * 7^5 = 49^7$	Πολλαπλασιασμός των βάσεων αντί για ίδια βάση.	100%	0%
9. $5^3 = 8$	Πρόσθεση της βάσης με τον εκθέτη.	83%	11%
10. $-2^2 = 4$	Λανθασμένη ύψωση του προσήμου (-) στη δύναμη.	78%	0%

Πίνακας 7.1 Αξιολόγηση διαγνωστικής ικανότητας και παροχής συμβουλών του EasyMath.

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης έδειξαν ότι οι εκπαιδευτικοί έδωσαν τις ίδιες εξηγήσεις σε σφάλματα με αυτές του EasyMath σε μεγάλο ποσοστό. Συνεπώς, το EasyMath φάνηκε να έχει ικανοποιητική διαγνωστική ικανότητα. Παρόλα αυτά, σύμφωνα με τη μελέτη, εμφανίστηκαν κάποιες περιπτώσεις, στις οποίες το ποσοστό των εκπαιδευτικών που συμφώνησαν με την εξήγηση του EasyMath ήταν πολύ μικρό, όπως στην ερώτηση 4 του Πίνακα 7.1. Μετά από ανάλυση των αποτελεσμάτων, εξήχθη το συμπέρασμα ότι σε αυτές τις περιπτώσεις, υπάρχουν περισσότερες από μία εξηγήσεις για την αιτία του σφάλματος. Για παράδειγμα, η λανθασμένη απάντηση $3^4 * 3^{-5} = 3^9$ μπορεί να αποδοθεί σε δύο αιτίες. Η μία αιτία μπορεί να είναι ότι έγινε αφαίρεση αντί για πρόσθεση των εκθετών, ενώ η δεύτερη μπορεί να είναι ότι ο μαθητής απλά δεν έδωσε σημασία στο πρόσημο του δεύτερου εκθέτη. Στην περίπτωση του EasyMath, αυτό το λάθος αποδίδεται μόνο στην πρώτη αιτία, ενώ οι περισσότεροι καθηγητές παρείχαν την δεύτερη εξήγηση ως την πιο πιθανή.

Αξιολόγηση Αρχικού Πρωτοτύπου

Το αρχικό πρωτότυπο σύστημα που δημιουργήθηκε κατά τη φάση της επεξεργασίας αξιολογήθηκε με γνώμονα τις λειτουργικές απαιτήσεις που προέκυψαν, σύμφωνα με τα διαγράμματα περιπτώσεων-χρήσης. Στην αξιολόγηση

συμμετείχαν δύο καθηγητές μαθηματικών και δέκα μαθητές της δευτέρας τάξης του γυμνασίου. Για την αξιολόγηση του αρχικού πρωτοτύπου χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι ποιοτικής αξιολόγησης και συγκεκριμένα ερωτηματολόγια και η παρατήρηση της χρήσης του συστήματος. Τα ερωτηματολόγια που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη φάση δημιουργήθηκαν με βάση ένα σύνολο ευριστικών κανόνων που αξιολογούν τη «χρησιμοποιησιμότητα» ενός προϊόντος λογισμικού (“usability” heuristics) (Nielsen 1994). Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι ενδεικτική για την αξιολόγηση συστημάτων διεπαφής. Στην περίπτωση του EasyMath χρησιμοποιήθηκε ώστε να διασφαλίσει τη φιλικότητα του συστήματος ως προς τους τελικούς του χρήστες, καθώς και τη «χρησιμοποιησιμότητά» του σε πραγματικές συνθήκες.

Συγκεκριμένα, οι καθηγητές και οι μαθητές κλήθηκαν να χρησιμοποιήσουν το πρωτότυπο σύστημα του EasyMath, ώστε να πραγματοποιήσουν κάποιες συγκεκριμένες ενέργειες-σενάρια (π.χ. να διαβάσουν ένα συγκεκριμένο τμήμα της θεωρίας). Κατά τη διάρκεια χρήσης του συστήματος, καταγράφηκαν από το σχεδιαστή του συστήματος όλες οι δυσκολίες που αντιμετώπισαν οι χρήστες. Οι δυσκολίες αυτές αναλύθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν ως μέσο για τη βελτίωση του τελικού προϊόντος. Επιπρόσθετα, αφού οι εκπαιδευτικοί και οι μαθητές ολοκλήρωσαν τα σενάρια που τους είχαν δοθεί, κλήθηκαν να απαντήσουν σε ένα ερωτηματολόγιο. Όπως προαναφέρθηκε, το ερωτηματολόγιο στόχευε στην αξιολόγηση της φιλικότητας και της «χρησιμοποιησιμότητας του ΕΔΣ, και είχε σχεδιαστεί χρησιμοποιώντας ένα σύνολο ευριστικών κανόνων που αξιολογούν τη «χρησιμοποιησιμότητα» ενός προϊόντος λογισμικού. Το ερωτηματολόγιο περιείχε, μεταξύ άλλων και τις ακόλουθες ερωτήσεις:

1. Ήταν οι οδηγίες για τη χρήση του συστήματος εμφανείς ή εύκολα προσβάσιμες, όταν χρειαζόταν;
2. Υπήρχε συνέπεια στα σύμβολα και στο λεξιλόγιο που χρησιμοποιείται από το σύστημα;
3. Σας ήταν γνωστή η συμβολική αναπαράσταση των δυνάμεων που χρησιμοποιείται από το EasyMath;
4. Ήταν επαρκή τα διαφορετικά είδη των ασκήσεων που υποστηρίζει το σύστημα;

Οι πρώτες τρεις από τις παραπάνω ερωτήσεις είναι άμεσα συσχετισμένες με τους ευριστικούς κανόνες του Nielsen. Συγκεκριμένα, η πρώτη ερώτηση αναφέρεται στον κανόνα για «ανάγκη αναγνώρισης και όχι απομνημόνευσης», η δεύτερη σχετίζεται με την «ανάγκη για συνέπεια και προτυποποίηση», ενώ η τρίτη αφορά στη δυνατότητα του συστήματος διεπαφής του EasyMath να «απεικονίζει αληθοφανώς πραγματικές καταστάσεις». Τέλος, οι εκπαιδευτικοί που συμμετείχαν στην αξιολόγηση κλήθηκαν να σχολιάσουν το EasyMath ως προς τις βελτιώσεις που θα μπορούσαν να το κάνουν πιο χρήσιμο για τη διδασκαλία σε πραγματικές συνθήκες.

Τα σχόλια που συγκεντρώθηκαν σε αυτή τη φάση της ανάπτυξης του ΕΔΣ, χρησιμοποιήθηκαν για την περαιτέρω ανάλυση των λειτουργικών απαιτήσεων του EasyMath. Για παράδειγμα, ένα σχόλιο που έγινε από τους καθηγητές μαθηματικών σχετιζόταν με τις ασκήσεις πολλαπλών επιλογών. Συγκεκριμένα, στο αρχικό πρωτότυπο του ΕΔΣ, το EasyMath παρουσίαζε μία ερώτηση (σελίδα) στο μαθητή και περίμενε την απάντησή του. Τα αποτελέσματα του τεστ, το οποίο περιείχε δέκα ερωτήσεις εμφανίζονταν μόνο στο τέλος του τεστ. Οι καθηγητές, θεώρησαν ότι θα ήταν προτιμότερο να εμφανίζονται όλες οι ερωτήσεις του τεστ σε μία σελίδα, και τα αποτελέσματα να επισημειώνονται στη σελίδα αυτή. Το σχόλιο αυτό έγινε διότι οι καθηγητές έκριναν ότι οι μαθητές μπορεί να έχουν ξεχάσει ένα λάθος που έκαναν, μέχρι να τους παρουσιαστούν τα τελικά αποτελέσματα.

7.5.2 Αξιολόγηση Πρώτης Τελικής Έκδοσης του EasyMath

Στη φάση της επεξεργασίας σύμφωνα με τον κύκλο ζωής του EasyMath, δημιουργήθηκε μία πρώτη τελική έκδοση του ΕΔΣ, το οποίο μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από τους τελικούς χρήστες. Μετά την ολοκλήρωση της ανάπτυξης της πρώτης τελικής έκδοσης, πραγματοποιήθηκε μία εκτενής μελέτη αξιολόγησης, με σκοπό να εξεταστεί η χρησιμότητα του παραγόμενου ΕΔΣ σε πραγματικές συνθήκες. Η συμμετοχή εκπαιδευτικών και μαθητών κατά την αξιολόγηση της πρώτης έκδοσης του EasyMath θεωρήθηκε πολύ σημαντική. Γι' αυτό, δέκα καθηγητές μαθηματικών και διακόσιοι σαράντα μαθητές κλήθηκαν να αξιολογήσουν την πρώτη ολοκληρωμένη έκδοση του συστήματος ως προς την εκπαιδευτική του αξία. Επιπλέον, οι καθηγητές κλήθηκαν να εκτιμήσουν το κατά πόσο ένα σύστημα σαν το EasyMath θα τους βοηθούσε κατά τη διδασκαλία των μαθηματικών σε μία πραγματική σχολική αίθουσα.

Η συμμετοχή εκπαιδευτικών σε αυτή τη φάση της αξιολόγησης θεωρήθηκε αποφασιστικής σημασίας. Οι καθηγητές συνήθως πραγματοποιούν διάγνωση τυχόν σφαλμάτων των μαθητών τους, μιας και γνωρίζουν από την εμπειρία τους τα συνήθη λάθη που κάνουν οι μαθητές. Επιπρόσθετα, με βάση την διδακτική εμπειρία τους, οι εκπαιδευτικοί αποτελούν την πιο αξιόπιστη πηγή για την παροχή πληροφοριών σχετικά με την αποδοτικότητα των διδακτικών στρατηγικών που χρησιμοποιεί ένα ΕΔΣ.

Οι εκπαιδευτικοί κλήθηκαν να χρησιμοποιήσουν το EasyMath προσομοιώνοντας έναν μέσο μαθητή και στη συνέχεια κλήθηκαν να αξιολογήσουν το σύστημα ως προς την εκπαιδευτική του αξία. Συγκεκριμένα, οι καθηγητές, αφού χρησιμοποίησαν το σύστημα για κάποιο χρονικό διάστημα, κλήθηκαν να απαντήσουν σε ένα ερωτηματολόγιο. Το ερωτηματολόγιο κατασκευάστηκε σύμφωνα με μία μέθοδο αξιολόγησης που βασίζεται σε ένα σύνολο ευριστικών κανόνων «εκμάθησης μέσω λογισμικού» (Squires & Preece 1999). Οι κανόνες αυτοί αποτελούν μία προσαρμογή των ευριστικών κανόνων που αξιολογούν τη «χρησιμοποιησιμότητα» του Nielsen (1994) σε πακέτα εκπαιδευτικού λογισμικού. Κάποιοι από τους ευριστικούς κανόνες «εκμάθησης μέσω λογισμικού» είναι οι ακόλουθοι:

- ❖ *Πιστότητα στην πλοήγηση του χρήστη* (navigational fidelity): σχετίζεται με τη δομή της πλοήγησης, την αυθεντικότητα της αισθητικής που ακολουθεί το σύστημα, τον περιορισμό και την πολυπλοκότητα της αναπαράστασης του μικρόκοσμου του ΕΔΣ.
- ❖ *Κατάλληλα επίπεδα ελέγχου του μαθητή* (appropriate levels of learner control). Η απαίτηση αυτή πηγάζει από την ανάγκη:
 - α) για έλεγχο της μαθησιακής δραστηριότητας από το μαθητή και το διαμοιρασμό των υπευθυνοτήτων μεταξύ του ΕΔΣ και του μαθητή, και
 - β) για υποστήριξη μάθησης κατευθυνόμενης από τον κάθε μαθητή (self directed learning).
- ❖ *Αποτροπή περιφερειακών γνωστικών σφαλμάτων* (prevention of peripheral cognitive errors): αναφέρεται με τη σχέση μεταξύ της πολυπλοκότητας και της αποτροπής σφαλμάτων. Τα γνωστικά σφάλματα που μπορεί να κάνει κάποιος μαθητής θα πρέπει να αναφέρονται μόνο στο γνωστικό πεδίο που

διδάσκεται. Τυχόν περιφερειακά σφάλματα που σχετίζονται με τη χρήση του ΕΔΣ θα πρέπει να προλαμβάνονται και να αποφεύγονται όσο το δυνατόν περισσότερο.

- ❖ *Κατανοητή και σημασιολογικά σωστή συμβολική αναπαράσταση* (understandable and meaningful symbolic representation): πηγάζει από την ανάγκη για συνέπεια στη χρήση αναπαραστάσεων και συμβόλων από το ΕΔΣ. Οι μαθητές δεν θα πρέπει να επιφορτώνονται επιπλέον με την εκμάθηση και την αποστήθιση τυχόν περίπλοκων συμβολισμών και αναπαραστάσεων που χρησιμοποιούνται από το ΕΔΣ.
- ❖ *Υποστήριξη εξατομικευμένων προσεγγίσεων εκμάθησης* (support personally significant approaches to learning): σχετίζεται με το γεγονός ότι οι μαθητές μπορεί να αποδίδουν καλύτερα χρησιμοποιώντας διαφορετικές στρατηγικές διδασκαλίας. Το ΕΔΣ θα πρέπει να υποστηρίζει εξατομικευμένα το μαθητή, κατά τη μαθησιακή του δραστηριότητα.
- ❖ *Στρατηγικές για την αναγνώριση, τη διάγνωση και αντιμετώπιση γνωστικών σφαλμάτων* (strategies for cognitive error recognition, diagnosis and recovery cycle): σχετίζεται με την αναγκαιότητα να παρέχει το ΕΔΣ υποστήριξη στο μαθητή, όταν αυτός κάνει λάθη.
- ❖ *Εναρμόνιση με τη διδακτέα ύλη* (match with the curriculum): δεν θα πρέπει το ΕΔΣ να ακολουθεί διαφορετική διδακτέα ύλη από αυτή του δασκάλου.

Οι ευριστικοί κανόνες «εκμάθησης μέσω λογισμικού» έχουν προταθεί ως μία μέθοδος για την επιλογή του κατάλληλου πακέτου λογισμικού από ένα σύνολο έτοιμων προϊόντων. Στην περίπτωση του EasyMath, παρ' όλα αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ερωτηματολογίων που αξιολογούν τόσο τη διδακτική αξία, όσο και τη χρησιμοποίησιμότητα του ΕΔΣ σε πραγματικές συνθήκες διδασκαλίας.

Τα ερωτηματολόγια που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της πρώτης τελικής έκδοσης του EasyMath κατασκευάστηκαν προσεκτικά, ώστε να περιλαμβάνουν ερωτήσεις που σχετίζονται όσο το δυνατόν περισσότερο με τους ευριστικούς κανόνες «εκμάθησης μέσω λογισμικού». Ένα μέρος του ερωτηματολογίου καθώς και οι απαντήσεις των καθηγητών σε κάθε μία από τις ερωτήσεις παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.2. Στην πρώτη στήλη του πίνακα παρουσιάζεται η ερώτηση που τέθηκε, ενώ στις επόμενες τρεις εμφανίζεται

αντίστοιχα το ποσοστό των καθηγητών που έδωσαν θετικές, αρνητικές ή δεν έδωσαν καθόλου απαντήσεις. Επιπλέον, στον Πίνακα 7.3 παρουσιάζεται ο συσχετισμός των ερωτήσεων του Πίνακα 7.2 με τους ευριστικούς κανόνες «εκμάθησης μέσω λογισμικού».

Ερώτηση	Συμφωνώ	Διαφωνώ	Δεν Απαντώ
1) Είναι τα γραφικά του EasyMath κατανοητά και συνεπή;	97%	3%	0%
2) Είναι τα χρώματα και το κείμενο που χρησιμοποιείται συνεπή και βολικά;	86%	7%	7%
3) Ο ήχος που χρησιμοποιείται τραβά την προσοχή;	87%	11%	2%
4) Είστε ικανοποιημένοι από τις αποκρίσεις του ΕΔΣ στα λάθη;	82%	11%	7%
5) Πιστεύετε ότι το ΕΔΣ έχει ευελιξία στον τρόπο διδασκαλίας;	55%	42%	3%
6) Πιστεύετε ότι ο τρόπος που αλληλεπιδρούσατε με το σύστημα σας περιόριζε στην παροχή των απαντήσεών σας;	74%	24%	2%
7) Πιστεύετε ότι το EasyMath καλύπτει το γνωστικό αντικείμενο που διδάσκει;	66%	19%	15%
8) Ήταν αρκετά τα είδη των ασκήσεων που υποστηρίζονται από το EasyMath;	93%	4%	3%
9) Σας ήταν γνωστή η συμβολική αναπαράσταση των αλγεβρικών δυναμικών που χρησιμοποιείται στις ασκήσεις του EasyMath;	95%	1%	4%
10) Σας ικανοποίησε ο τρόπος που καταγράφονταν η επίδοση και η πρόοδος του μαθητή, καθώς και ο τρόπος που αυτά τα στοιχεία χρησιμοποιούνταν από το σύστημα;	78%	19%	3%
11) Πιστεύετε ότι η δυσκολία των ασκήσεων που παρουσιάζονται σε κάποιο μαθητή προσαρμόζεται ικανοποιητικά στο επίπεδο γνώσης του;	50%	48%	2%
12) Σας φάνηκε εύκολο να εξοικειωθείτε με το EasyMath?	88%	5%	7%
13) Θεωρείτε πως είναι εύκολο να «κοροϊδέψει» κάποιος το σύστημα;	15%	84%	1%

Πίνακας 7.2 Ερωτηματολόγιο αξιολόγησης της πρώτης τελικής έκδοσης του EasyMath.

Ευριστικός Κανόνας	Σχετική Ερώτηση
Πιότητα στην πλοήγηση του χρήστη	1, 2, 3
Κατάλληλα επίπεδα ελέγχου του μαθητή	6, 11
Αποτροπή περιφερειακών γνωστικών σφαλμάτων	12
Κατανοητή και σημασιολογικά σωστή συμβολική αναπαράσταση	9
Υποστήριξη εξατομικευμένων προσεγγίσεων εκμάθησης	4, 5, 8, 10
Στρατηγικές για την αναγνώριση, τη διάγνωση και αντιμετώπιση γνωστικών σφαλμάτων	4, 10, 11, 13
Εναρμόνιση με τη διδακτέα ύλη	7

Πίνακας 7.3 Συσχετισμός ερωτήσεων ερωτηματολογίου με τους ευριστικούς κανόνες «εκμάθησης μέσω λογισμικού».

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της πρώτης τελικής έκδοσης του EasyMath έδειξαν ότι το πολυμεσικό σύστημα διεπαφής του ΕΔΣ παρέχει ένα φιλικό προς το χρήστη και ελκυστικό περιβάλλον διδασκαλίας. Επιπλέον, η καταλληλότητα των συμβουλευτικών μηνυμάτων που παρέχονται σε περιπτώσεις σφαλμάτων κρίθηκε ικανοποιητική από τους εκπαιδευτικούς. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα της αξιολόγησης έδειξαν επίσης ότι υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω προσαρμογή των αποφάσεων που λαμβάνει το EasyMath στις προσωπικές ανάγκες του εκάστοτε μαθητή. Αυτό το συμπέρασμα εξήχθη από τη χαμηλή βαθμολογία του EasyMath στις ερωτήσεις που σχετιζόνταν με την ικανότητά του να προσαρμόζεται στις ανάγκες των μαθητών (ερωτήσεις 5 και 11 του Πίνακα 7.2).

Συμμετοχή Μαθητών στην Αξιολόγηση της Πρώτης Τελικής Έκδοσης

Όπως τονίζεται από τους Jones et al. (1999), είναι πολύ σημαντικό να γίνει εκτενής παρακολούθηση του τρόπου που οι μαθητές χρησιμοποιούν ένα εκπαιδευτικό πακέτο λογισμικού για να βγει κάποιο συμπέρασμα σχετικά με την αποδοτικότητα ή τα προβλήματα που μπορεί αυτό να έχει.

Η αξιολόγηση του EasyMath από τους μαθητές πραγματοποιήθηκε σε δύο διαφορετικά στάδια. Στο πρώτο στάδιο, οι μαθητές κλήθηκαν να αξιολογήσουν το EasyMath με την χρήση των ερωτηματολογίων που δόθηκαν και στους εκπαιδευτικούς. Στο δεύτερο στάδιο, οι μαθητές αφού χρησιμοποίησαν το ΕΔΣ για την εκμάθηση τμήματος της διδακτέας ύλης, απάντησαν σε κάποια γραπτά τεστ. Το δεύτερο στάδιο της αξιολόγησης αποσκοπεί στην εκτίμηση της αποδοτικότητας του EasyMath στη διδασκαλία του γνωστικού πεδίου.

Συγκεκριμένα, οι διακόσιοι σαράντα μαθητές που συμμετείχαν στην αξιολόγηση της πρώτης τελικής έκδοσης του ΕΔΣ χωρίστηκαν σε δύο ομάδες. Στους πρώτους εκατόν είκοσι μαθητές παρουσιάστηκε το EasyMath και στη συνέχεια κλήθηκαν να το χρησιμοποιήσουν για μία ώρα. Στη συνέχεια, τους δόθηκε ένα ερωτηματολόγιο για να συμπληρώσουν. Το ερωτηματολόγιο που δόθηκε στους μαθητές ήταν το ίδιο με αυτό που δόθηκε και στους εκπαιδευτικούς. Τα αποτελέσματα από την αξιολόγηση του συστήματος από τους μαθητές ήταν πιο ικανοποιητικά από τα αποτελέσματα της αξιολόγησης από τους καθηγητές, κάτι που ήταν αναμενόμενο μιας και οι μαθητές έδειξαν πολύ μεγάλο ενθουσιασμό για το πολυμεσικό σύστημα διεπαφής του EasyMath.

Στο δεύτερο στάδιο της αξιολόγησης του EasyMath από τους μαθητές, συμμετείχε η δεύτερη ομάδα των εκατόν είκοσι μαθητών. Αρχικά η ομάδα των μαθητών διδάχθηκε την μισή ύλη των αλγεβρικών δυνάμεων χωρίς τη χρήση του EasyMath και στη συνέχεια κλήθηκε να απαντήσει σε ένα διαγνωστικό τεστ. Στη συνέχεια, οι μαθητές διδάχθηκαν την υπόλοιπη διδακτέα ύλη με τη συμπληρωματική βοήθεια του EasyMath. Τέλος, στους μαθητές δόθηκε ένα ακόμη διαγνωστικό τεστ και τα αποτελέσματα των δύο τεστ συγκρίθηκαν. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 46% των μαθητών πήγε καλύτερα στο δεύτερο τεστ, το 43% δεν παρουσίασε καμία μεταβολή στην απόδοσή του ενώ μόλις 11% των μαθητών είχε χειρότερη επίδοση στο δεύτερο τεστ.

7.6 Συμπεράσματα

Τα πολυμεσικά συστήματα διεπαφής με το χρήστη, όταν συνδυαστούν με τις δυνατότητες αυτόματης συμπερασματολογίας των ΕΔΣ μπορούν να οδηγήσουν σε ελκυστικά και φιλικά προς το μαθητή περιβάλλοντα διδασκαλίας. Για να είναι αποδοτικό ένα πακέτο εκπαιδευτικού λογισμικού, είναι αναγκαίο να εξασφαλισθεί η ορθότητα του γνωστικού πεδίου του συστήματος, καθώς και να αξιολογηθεί η χρησιμότητα του προϊόντος. Ένας τρόπος για να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι είναι να αξιολογείται το διδακτικό σύστημα σε διάφορες φάσεις της ανάπτυξής του. Επιπρόσθετα, για να διασφαλιστεί η χρησιμοποίησιμότητα (usability) του παραγόμενου εκπαιδευτικού λογισμικού σε πραγματικές συνθήκες διδασκαλίας πολύ σημαντική είναι και η συμμετοχή εκπαιδευτικών και μαθητών τόσο κατά την ανάλυση των απαιτήσεων και κατά το σχεδιασμό του συστήματος όσο και στις διάφορες φάσεις της αξιολόγησης του εκπαιδευτικού λογισμικού.

8 Μεταφορά του EasyMath στο Διαδίκτυο

8.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο το EasyMath (το οποίο περιγράφηκε εκτενώς στο προηγούμενο κεφάλαιο) μεταφέρθηκε στο διαδίκτυο. Όπως προαναφέρθηκε, σύμφωνα με την αξιολόγηση του, το EasyMath φάνηκε να είναι αρκετά φιλικό και χρήσιμο για την υποβοήθηση της διδασκαλίας. Παρόλα αυτά, το γεγονός ότι ήταν μία αυτόνομη (standalone) εφαρμογή, περιόριζε τη χρήση του σε σχολικά εργαστήρια υπολογιστών, στα οποία έπρεπε να προεγκατασταθεί το σύστημα. Για να καταστεί εφικτή η χρήση του ΕΔΣ και υπό άλλες συνθήκες, π.χ. στο σπίτι κάποιου μαθητή, ο οποίος δεν έχει προεγκατεστημένο στον υπολογιστή του το EasyMath, θεωρήθηκε σκόπιμο να δημιουργηθεί και μία διαδικτυακή έκδοση του εκπαιδευτικού συστήματος.

Το διαδικτυακό σύστημα που κατασκευάστηκε ονομάζεται Web-EasyMath (Tsiriga & Virvou 2002d, Tsiriga & Virvou 2002e). Κατά τη μεταφορά του ΕΔΣ στο διαδίκτυο, έγινε προσπάθεια να επαναχρησιμοποιηθούν τα τμήματα της αυτόνομης εφαρμογής, τα οποία θεωρήθηκαν αποτελεσματικά σύμφωνα με την αξιολόγησή της. Επιπλέον, έγινε επανασχεδιασμός και αναπροσαρμογή του υποσυστήματος μοντελοποίησης μαθητών ώστε να μπορεί να κατασκευάζει πιο εξατομικευμένα μοντέλα που αντικατοπτρίζουν την τρέχουσα κατάσταση των μαθητών.

Εκτός από την επαναχρησιμοποίηση τμημάτων της αυτόνομης εφαρμογής, κάποια τμήματα του διαδικτυακού ΕΔΣ σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν εξ αρχής. Τα νέα τμήματα του διαδικτυακού συστήματος βασίζονται σε τεχνολογίες που έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμες για διαδικτυακά ΕΔΣ, όπως η τεχνολογία των ΠΣΥ. Συνεπώς, το διαδικτυακό σύστημα διδασκαλίας των αλγεβρικών δυνάμεων χρησιμοποιεί τεχνικές των ΕΔΣ και των ΠΣΥ για την παροχή διδασκαλίας και συμβουλευτικών μηνυμάτων που είναι προσαρμοσμένα στις προσωπικές ανάγκες του εκάστοτε μαθητή. Εξαιτίας των κοινών στοιχείων του Web-EasyMath με την

αυτόνομη έκδοση του συστήματος, καθώς και με το Web-PVT, κάποια σημεία της εφαρμογής δεν αναλύονται εκτενώς αλλά γίνεται αναφορά στα αντίστοιχα προηγούμενα κεφάλαια της διατριβής.

Στο κεφάλαιο αυτό, αρχικά περιγράφεται η αρχιτεκτονική του παραγόμενου ΔΕΔΣ (ενότητα 8.2). Στη συνέχεια (ενότητες 8.3 και 8.4) περιγράφονται τα δύο βασικά υποσυστήματα του Web-EasyMath (υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών και υποσύστημα λήψης διδακτικών αποφάσεων αντίστοιχα), καθώς και ο συσχετισμός τους με τα αντίστοιχα τμήματα του EasyMath. Τέλος, στην ενότητα 8.5 παρατίθενται κάποια συμπεράσματα.

8.2 Αρχιτεκτονική του Web-EasyMath

Η ανάπτυξη του Web-EasyMath βασίστηκε στην «επικεντρωμένη» (centralized) αρχιτεκτονική των διαδικτυακών εφαρμογών. Ένας παράγοντας που επηρέασε στην επιλογή της «επικεντρωμένης» αρχιτεκτονικής ήταν ότι ήδη υπήρχε ένα λειτουργικό αυτόνομο ΕΔΣ (EasyMath). Ακολουθώντας την προσέγγιση αυτή ήταν εφικτό να επαναχρησιμοποιηθούν εύκολα κάποια από τα τμήματα της αυτόνομης εφαρμογής, τα οποία είχαν αξιολογηθεί ως αποδοτικά από τους μαθητές και τους εκπαιδευτικούς.

Το Web-EasyMath ακολουθεί τη βασική γραμμή της αρχιτεκτονικής των ΕΔΣ, η οποία έχει προσαρμοστεί στο περιβάλλον και τις απαιτήσεις του παγκοσμίου ιστού. Κατά συνέπεια, όμοια με την αυτόνομη έκδοση, το ΔΕΔΣ αποτελείται από τέσσερα κύρια υποσυστήματα, συγκεκριμένα το γνωστικό πεδίο, το υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών, το υποσύστημα λήψης διδακτικών αποφάσεων και το σύστημα διεπαφής. Στη συνέχεια της ενότητας γίνεται μια σύντομη περιγραφή του γνωστικού πεδίου και του συστήματος διεπαφής με το μαθητή, ενώ στις ενότητες που ακολουθούν περιγράφονται εκτενώς τα δύο άλλα υποσυστήματα του ΔΕΔΣ.

Στο Web-EasyMath χρησιμοποιήθηκε η βάση γνώσης που αναπαρίστανε το γνωστικό πεδίο της αυτόνομης εφαρμογής. Κατά συνέπεια, το γνωστικό πεδίο του Web-EasyMath αναπαρίσταται ως ένα εννοιολογικό δίκτυο, το οποίο απεικονίζει τις σχέσεις μεταξύ του συνόλου των θεωρητικών εννοιών των αλγεβρικών δυνάμεων. Συγκεκριμένα, οι κόμβοι αναπαριστούν τις διάφορες θεωρητικές έννοιες, ενώ οι ακμές αναπαριστούν συνδέσμους μεταξύ των θεωρητικών εννοιών. Επιπρόσθετα, εξαιτίας της δομής υπερκειμένου που χρησιμοποιεί το διαδικτυακό ΕΔΣ, το γνωστικό πεδίο επεκτάθηκε ώστε να περιέχει πληροφορίες σχετικά με το συσχετισμό των διαφόρων θεωρητικών εννοιών με τις ιστοσελίδες υπερκειμένου θεωρίας. Όμοια με

την αυτόνομη εφαρμογή, κάθε θεωρητική έννοια του γνωστικού πεδίου είναι επίσης συσχετισμένη με ένα σύνολο από πρότυπα ασκήσεων, τα οποία χρησιμεύουν για την αξιολόγηση του γνωστικού επιπέδου του μαθητή στη συγκεκριμένη έννοια.

Το σύστημα διεπαφής του Web-EasyMath από την άλλη πλευρά, χρειάστηκε να κατασκευαστεί εξ αρχής, εξαιτίας της διαδικτυακής φύσης της εφαρμογής. Η διεπαφή με τους μαθητές πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενός συνόλου δυναμικά κατασκευασμένων HTML σελίδων, οι οποίες περιέχουν κείμενο και γραφικά. Το περιεχόμενο των ιστοσελίδων διαμορφώνεται από το υποσύστημα λήψης διδακτικών αποφάσεων με βάση το μοντέλο του μαθητή. Κατά συνέπεια, ανάλογα με το επίπεδο γνώσης του μαθητή, το σύστημα διεπαφής τροποποιείται ώστε να είναι προσαρμοσμένο στις ανάγκες του.

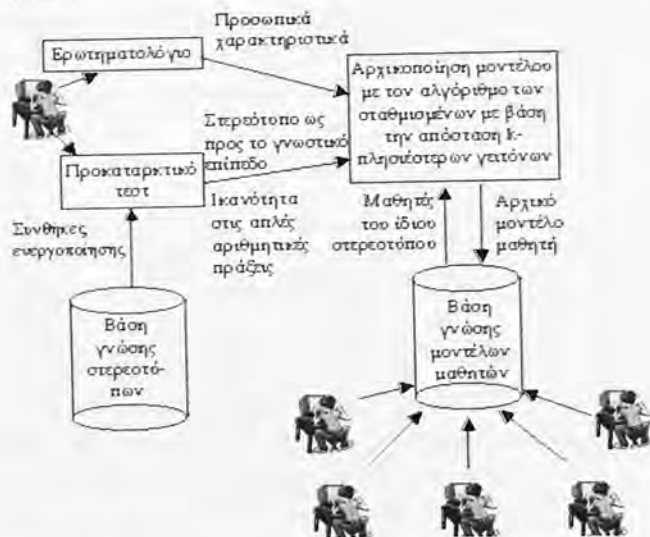
8.3 Μοντελοποίηση της Εξατομικευμένης Μαθησιακής Διαδικασίας στο Web-EasyMath

Στην ενότητα αυτή, περιγράφεται η προσέγγιση που ακολουθείται από το Web-EasyMath για την κατασκευή και την ενημέρωση του μοντέλου κάθε μαθητή (Tsiriga & Virvou 2003a). Το τμήμα αυτό της εφαρμογής τροποποιήθηκε σε μεγάλο βαθμό, ώστε να κατασκευάζει εξατομικευμένα αρχικά μοντέλα μαθητή, να αντιμετωπίζει τα προβλήματα της μοντελοποίησης μαθητών, όπως προέκυψαν από την αξιολόγηση της αυτόνομης εφαρμογής και να λαμβάνει υπ' όψη τον παράγοντα χρόνο κατά τη διαδικασία ενημέρωσης του μοντέλου (Virvou & Tsiriga 2001d).

8.3.1 Αρχικοποίηση του Μοντέλου

Όπως και στο Web-PVT, η αρχικοποίηση του μοντέλου του μαθητή στο Web-EasyMath βασίζεται σε ένα συνδυασμό των στερεοτύπων και του αλγορίθμου των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k -πλησιέστερων γειτόνων (Tsiriga & Virvou 2002c). Συγκεκριμένα, τα στερεότυπα χρησιμοποιούνται για τις αρχικές υποθέσεις του συστήματος όσον αφορά στο γνωστικό επίπεδο του μαθητή στις αλγεβρικές δυνάμεις. Στη συνέχεια, χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k -πλησιέστερων γειτόνων ώστε να αποδοθούν αρχικές τιμές στο σύνολο των χαρακτηριστικών του ατομικού μοντέλου του μαθητή. Αυτό πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπ' όψη την ομοιότητα του νέου μαθητή με άλλους μαθητές που ανήκουν στο ίδιο στερεότυπο όσον αφορά στο γνωστικό τους επίπεδο. Οι μαθητές αυτοί, όμως έχουν χρησιμοποιήσει το Web-EasyMath επαρκώς ώστε το

σύστημα να έχει εξάγει συμπεράσματα με βάση την παρατήρηση της πραγματικής συμπεριφοράς τους. Ο βαθμός ομοιότητας των μαθητών καθορίζεται στο Web-EasyMath με βάση τα χαρακτηριστικά του μαθητή που λαμβάνονται κατά την πρώτη αλληλεπίδραση αυτού με το ΔΕΔΣ. Στην Εικόνα 8.1, παρουσιάζεται μια γραφική απεικόνιση της διαδικασίας αρχικοποίησης του μοντέλου ενός μαθητή στο Web-EasyMath.



Εικόνα 8.1: Αρχικοποίηση του μοντέλου του μαθητή στο Web-EasyMath.

Συλλογή και Αναπαράσταση Αρχικών Πληροφοριών για το Μαθητή

Για να μπορεί ένα ΕΔΣ να κατασκευάσει ένα αρχικό μοντέλο για κάποιο μαθητή, πρέπει να συλλέξει κάποιες πληροφορίες για το μαθητή κατά την πρώτη αλληλεπίδραση αυτού με το σύστημα. Οι πληροφορίες αυτές μπορεί να είναι προσωπικά στοιχεία του μαθητή, ανεξάρτητα του γνωστικού αντικειμένου που διδάσκεται (π.χ. το όνομα του μαθητή), καθώς και κάποια χαρακτηριστικά του μαθητή που σχετίζονται με το πεδίο του ΕΔΣ (π.χ. η προηγούμενη γνώση του μαθητή). Για κάποιες από τις πληροφορίες που απαιτούνται, η απευθείας παροχή τους από το μαθητή είναι ο μόνος τρόπος απόκτησης τους. Τέτοιου είδους πληροφορίες συλλέγονται από το Web-EasyMath με τη βοήθεια ενός ερωτηματολογίου που παρέχεται στο μαθητή κατά την πρώτη του αλληλεπίδραση με

το σύστημα. Συγκεκριμένα, το ΔΕΔΣ ρωτά το μαθητή να δώσει στοιχεία σχετικά με το όνομά του, τη συγκεκριμένη τάξη στην οποία ανήκει, καθώς και μια αυτο-εκτίμηση του βαθμού προσοχής του κατά την επίλυση ασκήσεων. Αναφορικά με το βαθμό προσοχής του, ο μαθητής μπορεί να επιλέξει μεταξύ τριών εναλλακτικών κατηγοριών: α) απρόσεκτος (careless), β) μέτρια προσεκτικός (averagely careful) και γ) προσεκτικός (careful). Στην Εικόνα 8.2 παρουσιάζεται το ερωτηματολόγιο για τη συλλογή των προσωπικών στοιχείων του μαθητή, όπως αυτό παρουσιάζεται από το Web-EasyMath.

Web-EasyMath - New User Information - Microsoft Internet Explorer
File Edit View Go Favorites Help
Back Stop Refresh Home Search Favorites History Channels Fullscreen Mail Print Edit
Address http://www.cs.unipi.gr/~icstsi/easymath-di/New_User_Info
Name:
Surname:
Password:
Age:
Class:
In what category would you place yourself concerning your carefulness while solving exercises:
Before using Web-EasyMath, you have to take a preliminary test

Εικόνα 8.2: Ερωτηματολόγιο συλλογής προσωπικών στοιχείων του μαθητή.

Στη συνέχεια, το Web-EasyMath παρουσιάζει στο μαθητή ένα προκαταρκτικό τεστ, με σκοπό να εξάγει συμπεράσματα σχετικά με το επίπεδο γνώσης του μαθητή στο αντικείμενο των αλγεβρικών δυνάμεων, καθώς και την ικανότητά του να χρησιμοποιεί απλές αριθμητικές πράξεις (πρόσθεση, αφαίρεση, πολλαπλασιασμό, διαίρεση). Παρόλο που η ικανότητα του μαθητή στις απλές αριθμητικές πράξεις αποτελεί προαπαιτούμενη γνώση για τη διδασκαλία των αλγεβρικών δυνάμεων, στην περίπτωση του Web-EasyMath αποφασίστηκε να μη συμπεριληφθεί στο γνωστικό πεδίο του ΔΕΔΣ, για λόγους περιορισμού του διδακτικού αντικειμένου. Το προκαταρκτικό τεστ, σχεδιάστηκε ώστε να περιέχει ενδεικτικές ερωτήσεις που

καλύπτουν ένα μεγάλο τμήμα του γνωστικού αντικείμενου που διδάσκεται. Επιπρόσθετα, στο τέλος του προκαταρκτικού τεστ, υπάρχουν κάποιες απλές ασκήσεις που αντιστοιχούν στις τέσσερις βασικές αριθμητικές πράξεις.

Με βάση την επίδοση του μαθητή στις ερωτήσεις που σχετίζονται με τις αλγεβρικές δυνάμεις, το Web-EasyMath κατατάσσει το μαθητή σε κάποιο στερεότυπο ως προς το γνωστικό του επίπεδο στο διδασκόμενο αντικείμενο. Τα στερεότυπα που υποστηρίζονται από το ΔΕΔΣ είναι: α) αδαής (novice), β) αρχάριος (beginner), γ) με μέτρια γνώση (intermediate) και δ) προχωρημένος (advanced). Η ικανότητα του μαθητή να χρησιμοποιεί τις βασικές αριθμητικές πράξεις δεν σχετίζεται με την κατηγοριοποίηση του μαθητή σε κάποιο στερεότυπο. Η συγκεκριμένη πληροφορία καταγράφεται ως έχει και στη συνέχεια χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό γειτονικών μαθητών.

Με βάση τα στοιχεία που συλλέγονται κατά την πρώτη αλληλεπίδραση του μαθητή με το Web-EasyMath, το σύστημα σχηματίζει ένα πρώτο διάγραμμα αναπαράστασης του μοντέλου του μαθητή που δε σχετίζεται με το γνωστικό πεδίο του Web-EasyMath. Τα χαρακτηριστικά που συμπεριλαμβάνονται σε αυτό το διάγραμμα είναι το όνομα του μαθητή, τη συγκεκριμένη τάξη στην οποία ανήκει ο μαθητής, το στερεότυπο στο οποίο έχει καταταγεί ο μαθητής, η εκτίμηση του βαθμού προσοχής του μαθητή όταν επιλύει ασκήσεις, καθώς και μία εκτίμηση της ικανότητας του μαθητή να χρησιμοποιεί απλές αριθμητικές πράξεις. Κατά συνέπεια, το πρώτο διάγραμμα ορίζεται ως εξής:

<Κωδικός_Μαθητή, Όνομα, Κωδικός_Τάξης, Στερεότυπο, Βαθμός_Προσοχής,
Πρόσθεση, Αφαίρεση, Πολλαπλασιασμός, Διαίρεση>

Για παράδειγμα, το διάγραμμα:

<Stu_1, Γιώργος Κωνσταντίνου, C_14, Με μέτρια γνώση, Απρόσεκτος, 100%,
100%, 95%, 80%>

θα αναπαριστούσε κάποιο μαθητή που ονομάζεται Γιώργος Κωνσταντίνου και ο οποίος ανήκει στη σχολική τάξη με κωδικό C_14. Ο Γιώργος θεωρείται από το Web-EasyMath ως «με μέτρια γνώση» στο πεδίο των αλγεβρικών δυνάμεων και είναι απρόσεκτος (careless) όταν λύνει ασκήσεις. Επιπρόσθετα, ο συγκεκριμένος μαθητής φαίνεται να μην κάνει καθόλου σφάλματα στην πρόσθεση και την αφαίρεση μεταξύ αριθμών, ενώ η ικανότητά του στον πολλαπλασιασμό και τη διαίρεση είναι 95% και 80% αντίστοιχα.

Μόλις το ΔΕΔΣ κατασκευάσει το πρώτο διάνυσμα αναπαράστασης του μοντέλου ενός νέου μαθητή, χρησιμοποιεί πληροφορίες από τα μοντέλα άλλων μαθητών που ανήκουν στο ίδιο στερεότυπο για να θέσει αρχικές τιμές στο σύνολο των χαρακτηριστικών του μοντέλου. Συγκεκριμένα, το Web-EasyMath χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k -πλησιότερων γειτόνων για να εξάγει κάποια αρχικά συμπεράσματα σχετικά με το επίπεδο γνώσης και την τάση του μαθητή να κάνει λάθη σε κάθε μία από τις θεωρητικές έννοιες του γνωστικού πεδίου. Η πληροφορία αυτή καταγράφεται σε ένα δεύτερο διάνυσμα αναπαράστασης του μοντέλου του μαθητή.

Για κάθε έννοια του γνωστικού πεδίου του Web-EasyMath, υπάρχουν δύο ζεύγη «χαρακτηριστικό-τιμή» στο δεύτερο διάνυσμα του μοντέλου. Το πρώτο ζεύγος αφορά στο κατά πόσο ο μαθητής γνωρίζει τη συγκεκριμένη έννοια. Οι τιμές του χαρακτηριστικού αυτού κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1, με το 0 να απεικονίζει πλήρη άγνοια και το 1 πλήρη γνώση του μαθητή όσον αφορά στη συγκεκριμένη έννοια. Το δεύτερο χαρακτηριστικό που μοντελοποιείται είναι το κατά πόσο ο μαθητής είναι επιρρεπής στο να κάνει σφάλματα που αφορούν στη συγκεκριμένη θεματική ενότητα. Το χαρακτηριστικό αυτό μπορεί να λάβει τιμές εντός του διαστήματος [0..1]. Η τιμή 0 σε αυτή την περίπτωση αναπαριστά την εκτίμηση του ΔΕΔΣ ότι ο συγκεκριμένος μαθητής δεν κάνει ποτέ λάθη σε αυτή τη συγκεκριμένη έννοια, ενώ η τιμή 1 εκφράζει την εκτίμηση του συστήματος ότι ο μαθητής αυτός κάνει πάντα λάθη όταν χρησιμοποιεί αυτή τη θεωρητική έννοια.

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την αρχική εκτίμηση του επιπέδου γνώσης και της τάσης του μαθητή να κάνει λάθη ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

1. Υπολογισμός της απόστασης του νέου μαθητή με το σύνολο των μαθητών που ανήκουν στο ίδιο στερεότυπο. Για τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ μαθητών, λαμβάνονται υπ' όψη τα χαρακτηριστικά που είναι καταγεγραμμένα στο πρώτο διάνυσμα αναπαράστασης του μοντέλου του μαθητή. Συγκεκριμένα, η απόσταση δύο μαθητών επηρεάζεται από την τάξη στην οποία ανήκουν οι μαθητές, το βαθμό προσοχής των μαθητών καθώς και την ικανότητά τους στις απλές αριθμητικές πράξεις. Η συνάρτηση με την οποία υπολογίζεται η συνολική απόσταση δύο μαθητών μ_a και μ_b παρουσιάζεται στην Εξίσωση 8.1.

$$\Delta(\mu_a, \mu_b) = \sum_{j=1}^n d_j(x, y) \quad \text{Εξίσωση 8.1}$$

Στην παραπάνω εξίσωση, το n εκφράζει τον αριθμό των χαρακτηριστικών που λαμβάνονται υπ' όψη (στην περίπτωση του Web-EasyMath $n = 6$). Ως $d_j(x, y)$ ορίζεται η διαφορά μεταξύ δύο τιμών ενός χαρακτηριστικού j και υπολογίζεται με βάση την Εξίσωση 8.2.

$$d_j(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{εαν } x \text{ ή } y \text{ άγνωστα,} \\ \text{overlap}(x, y), & \text{αν } x, y \text{ τιμές απαριθμητού συνόλου} \\ \sqrt{(x-y)^2}, & \text{αν } x, y \text{ είναι πραγματικοί αριθμοί} \end{cases} \quad \text{Εξίσωση 8.2}$$

Συγκεκριμένα, εάν κάποια τιμή ενός χαρακτηριστικού δεν είναι γνωστή στο σύστημα, τότε η απόστασή της από οποιαδήποτε γνωστή ή άγνωστη τιμή ορίζεται ως η μέγιστη απόσταση (τιμή 1). Επιπλέον, για τον ορισμό της διαφοράς μεταξύ δύο τιμών που ανήκουν στο ίδιο απαριθμητό σύνολο, το Web-EasyMath χρησιμοποιεί μια απλή συνάρτηση επικάλυψης (Εξίσωση 8.3).

$$\text{overlap}(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{εαν } x \neq y \\ 1, & \text{διαφορετικά} \end{cases} \quad \text{Εξίσωση 8.3}$$

Μια διαφορά που υπάρχει σε σχέση με τη συνάρτηση απόστασης του Web-PVT είναι ότι στην περίπτωση αυτή η συνάρτηση της απόστασης δύο τιμών ενός χαρακτηριστικού πρέπει να μπορεί να υπολογίζει και διαφορές μεταξύ πραγματικών τιμών (ικανότητα μαθητών στις απλές αριθμητικές πράξεις). Για τον υπολογισμό αυτό, το Web-EasyMath χρησιμοποιεί την ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των πραγματικών τιμών.

2. Εκτίμηση του επιπέδου γνώσης του νέου μαθητή σε κάθε έννοια του γνωστικού πεδίου. Το Web-EasyMath εξαγει συμπεράσματα σχετικά με το επίπεδο γνώσης του νέου μαθητή (μ_a) σε κάποια θεωρητική έννοια (Έννοια_α) με βάση τις γνωστές τιμές του χαρακτηριστικού αυτού, όπως προκύπτουν από τα μοντέλα των υπολοίπων μαθητών που ανήκουν στο ίδιο στερεότυπο με το νέο μαθητή (Εξίσωση 8.4).

$$\text{Επίπεδο_Γνώσης(Εννοια}_z, \mu_q) = \frac{\sum_{i=1}^k w_i \text{Επίπεδο_Γνώσης(Εννοια}_z, \mu_i)}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad \text{Εξίσωση 8.4}$$

Στη συνεισφορά του κάθε μαθητή αποδίδεται κάποιο βάρος (w_i), το οποίο υπολογίζεται με βάση την απόστασή του από το νέο μαθητή (Εξίσωση 8.5).

$$w_i = \frac{1}{\Delta(\mu_q, \mu_i)^2} \quad \text{Εξίσωση 8.5}$$

- Ομοίως υπολογίζεται και η τάση του νέου μαθητή να κάνει σφάλματα σε κάθε θεωρητική έννοια του γνωστικού πεδίου.

Πρέπει να τονιστεί ότι στην περίπτωση που δεν υπάρχει κάποιος μαθητής που να ανήκει στο ίδιο στερεότυπο, το μοντέλο του νέου μαθητή αρχικοποιείται χρησιμοποιώντας τους κανόνες συμπερασμού του στερεοτύπου που έχει ενεργοποιηθεί. Στη συνέχεια, το Web-EasyMath κατασκευάζει ένα δεύτερο διάνυσμα αναπαράστασης του μοντέλου του νέου μαθητή, στο οποίο καταγράφονται οι αρχικές εκτιμήσεις. Το διάνυσμα αυτό είναι της μορφής:

<Κωδικός_Μαθητή, Επίπεδο_Γνώσης(Εννοια1), Λάθη(Εννοια1),
Επίπεδο_Γνώσης(Εννοια2), Λάθη(Εννοια2), ...>

Παράδειγμα Εκτίμησης Επιπέδου Γνώσης και Τάσης για Σφάλματα

Ας υποθέσουμε ότι στη βάση γνώσης των μοντέλων των μαθητών του Web-EasyMath υπάρχουν τα πρώτα διανύσματα αναπαράστασης του μοντέλου του μαθητή που παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.1.

Κωδικός_Μαθητή	Όνομα	Στερεότυπο	Κωδικός_Τάξης	Βαθμός_Προσοχής	Πρόσθεση	Αφαιρέση	Πολλαπλασιασμός	Διαιρέση
Stu_1	Κωνσταντίνος	Αρχάριος	C_1	Απρόσεκτος	0.8	0.8	0.7	0.5
Stu_2	Τίνα	Αρχάριος	C_1	Μέτρια Προσεκτικός	0.9	0.8	0.6	0.7
Stu_3	Άννα	Με μέτρια γνώση	C_3	Απρόσεκτος	0.9	1	0.8	0.9

Πίνακας 8.1 Πρώτα διανύσματα αναπαράστασης μοντέλων μαθητών του Web-EasyMath.

Αν κάποιος νέος μαθητής, στον οποίο έχει αποδοθεί από το σύστημα ο κωδικός Stu_4, βρέθηκε να ανήκει στο στερεότυπο «αρχάριος» (beginner) με βάση την επίδοσή του στο προκαταρκτικό τεστ, τότε το Web-EasyMath θα αρχικοποιούσε το μοντέλο του με βάση τα μοντέλα των μαθητών «Κωνσταντίνος» και «Τίνα». Εάν επιπλέον, η τάξη στην οποία ανήκει ο μαθητής έχει τον κωδικό "C_1", ο μαθητής έχει δηλώσει στο σύστημα ότι είναι «απρόσεκτος» (careless) και η ικανότητά του να χρησιμοποιεί τις βασικές αριθμητικές πράξεις έχει εκτιμηθεί ως 0.7, 0.8, 0.5 και 0.6 αντίστοιχα, τότε, το δεύτερο διάνυσμα αναπαράστασης του Κωνσταντίνου θα έχει μεγαλύτερη συνεισφορά στη διαδικασία της αρχικοποίησης του μοντέλου του νέου μαθητή. Αυτό συμβαίνει διότι όπως υπολογίζεται από την Εξίσωση 8.5, το βάρος της συνεισφοράς του Κωνσταντίνου είναι $w_{stu_1} = 6.25$, ενώ το βάρος της συνεισφοράς της Τίνας είναι $w_{stu_2} = 0.51$.

Συγκεκριμένα, η αρχική εκτίμηση του επιπέδου γνώσης του νέου μαθητή (Stu_4) στη θεωρητική έννοια «Έννοια_z» θα υπολογιστεί ως:

$$\text{Επίπεδο_Γνώσης(Έννοια}_z, \text{stu}_4) = \frac{w_{stu_1} \cdot \text{Επίπεδο_Γνώσης(Έννοια}_z, \text{stu}_1) + w_{stu_2} \cdot \text{Επίπεδο_Γνώσης(Έννοια}_z, \text{stu}_2)}{w_{stu_1} + w_{stu_2}}$$

και ομοίως, η αρχική εκτίμηση της τάσης του νέου μαθητή να κάνει σφάλματα κατά τη χρήση της έννοιας σε ασκήσεις θα υπολογιστεί ως:

$$\text{Λάθη(Έννοια}_z, \text{stu}_4) = \frac{w_{stu_1} \cdot \text{Λάθη(CΈννοια}_z, \text{stu}_1) + w_{stu_2} \cdot \text{Λάθη(Έννοια}_z, \text{stu}_2)}{w_{stu_1} + w_{stu_2}}$$

8.3.2 Ενημέρωση του Μοντέλου

Κάθε φορά που κάποιος μαθητής πραγματοποιεί κάποια ενέργεια κατά την αλληλεπίδρασή του με το Web-EasyMath (π.χ. επισκέπτεται κάποια ιστοσελίδα θεωρίας, λύνει σωστά κάποια άσκηση), το μοντέλο του συγκεκριμένου μαθητή ενημερώνεται με κατάλληλο τρόπο ώστε να αντανakλά την τρέχουσα κατάσταση της γνώσης και των αδυναμιών του.

Συγκεκριμένα, όταν κάποιος μαθητής επισκέπτεται μία ιστοσελίδα θεωρίας, η οποία αντιστοιχεί σε κάποια θεωρητική έννοια του γνωστικού πεδίου, το χαρακτηριστικό «Επίπεδο_Γνώσης» γι' αυτή τη θεωρητική έννοια λαμβάνει την τιμή 0.4 στο μοντέλο του μαθητή. Η τιμή αυτή υποδηλώνει ότι ο μαθητής έχει κάποια γνώση σχετικά με τη θεωρητική έννοια. Παρόλα αυτά, για να μπορεί το ΔΕΔΣ να

συμπεράνει ότι το γνωστικό επίπεδο του μαθητή στην έννοια αυτή είναι ικανοποιητικό, πρέπει ο μαθητής να εξεταστεί κατά την επίλυση ασκήσεων.

Η διαδικτυακή έκδοση του ΕΔΣ, όμοια με την αυτόνομη εφαρμογή υποστηρίζει δύο τύπους ασκήσεων: α) ασκήσεις πολλαπλών επιλογών και β) ασκήσεις εισαγωγής απάντησης. Σε κάθε τύπο ασκήσεων έχει αποδοθεί κάποιος βαθμός δυσκολίας. Οι ασκήσεις πολλαπλών επιλογών έχουν βαθμό δυσκολίας 1 (εύκολες), ενώ οι ασκήσεις εισαγωγής απάντησης έχουν βαθμό δυσκολίας 2 (δύσκολες).

Όταν ο μαθητής επιλύει σωστά κάποια άσκηση πολλαπλών επιλογών που σχετίζεται με κάποια έννοια, τότε το χαρακτηριστικό «Επίπεδο_Γνώσης» για τη συσχετισμένη θεωρητική έννοια αυξάνεται κατά 0.05. Παρόλα αυτά, επειδή οι ασκήσεις αυτές θεωρούνται εύκολες, η προσαύξηση αυτή δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 0.3 («Επίπεδο_Γνώσης» = 0.7). Για να μπορεί το σύστημα να θεωρήσει ότι ο μαθητής γνωρίζει ικανοποιητικά κάποια έννοια, πρέπει να επιλύσει και ασκήσεις εισαγωγής απάντησης. Αντίστοιχα, κάθε φορά που ο μαθητής δίνει μία σωστή απάντηση σε μία άσκηση εισαγωγής απάντησης, το χαρακτηριστικό «Επίπεδο_Γνώσης» για τη συσχετισμένη θεωρητική έννοια αυξάνεται κατά 0.05. Τέλος, μία θεωρητική έννοια θεωρείται ως ικανοποιητικά γνωστή όταν το χαρακτηριστικό «Επίπεδο_Γνώσης» έχει τιμή μεγαλύτερη από 0.8.

Εαν ο μαθητής θεωρεί ότι γνωρίζει αρκετά καλά κάποια θεωρητική έννοια, έχει τη δυνατότητα να παρακάμψει τις ασκήσεις πολλαπλών επιλογών και να επιλέξει να δοκιμαστεί μόνο σε ασκήσεις εισαγωγής απάντησης. Στην περίπτωση που ο μαθητής επιλύει σωστά κάποια από τις ασκήσεις εισαγωγής απάντησης, το σύστημα θεωρεί ότι ο μαθητής έχει απαντήσει σωστά και στις ασκήσεις πολλαπλών επιλογών σε ικανοποιητικό βαθμό. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση που ο μαθητής επιλέξει να λύσει ασκήσεις χωρίς να διαβάσει πριν το αντίστοιχο κομμάτι της θεωρίας που σχετίζεται με τη θεωρητική έννοια που εξετάζει η άσκηση.

Για παράδειγμα, αν κάποιος μαθητής δεν έχει επιλύσει καθόλου ασκήσεις πολλαπλών επιλογών που σχετίζονται με την έννοια «πολλαπλασιασμός δυνάμεων» αλλά επιλύει σωστά μία άσκηση εισαγωγής απάντησης, τότε το χαρακτηριστικό «Επίπεδο_Γνώσης» για τη συγκεκριμένη έννοια λαμβάνει την τιμή 0.75 στο μοντέλο του μαθητή.

Η τιμή του χαρακτηριστικού του μοντέλου του μαθητή που αναπαριστά την τάση αυτού να κάνει σφάλματα στη χρήση κάποιας θεωρητικής έννοιας σε ασκήσεις διαμορφώνεται με βάση μία τεχνική «γήρανσης» (data ageing mechanism). Η

τεχνική «γήρανσης» είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για την αναπαράσταση της τρέχουσας κατάστασης του μαθητή, εξαιτίας της ιδιότητάς της να αυξάνει το βάρος της πληροφορίας που σχετίζεται με την τρέχουσα συμπεριφορά του μαθητή, περιορίζοντας τα συμπεράσματα που έχει εξάγει το σύστημα βάσει της παλαιότερης συμπεριφοράς του μαθητή (Webb & Kuzmycz 1998).

Στο Web-EasyMath, κάθε φορά που ένας μαθητής παρέχει μία απάντηση (ανεξαρτήτως εάν η απάντησή του είναι ορθή ή όχι) σε κάποια άσκηση που σχετίζεται με κάποιες θεωρητικές έννοιες, το χαρακτηριστικό «Λάθη» του μοντέλου του μαθητή για το σύνολο των εννοιών που εξετάζονται μειώνεται κατά μία συγκεκριμένη τιμή, για παράδειγμα x (το οποίο στην τρέχουσα έκδοση του συστήματος έχει τεθεί αυθαίρετα σε 0.01). Αυτό συμβαίνει, έτσι ώστε τα αποτελέσματα της διάγνωσης λαθών στη νέα απάντηση του μαθητή να έχουν υψηλότερο βάρος από τα λάθη σε παλαιότερες απαντήσεις του. Στη συνέχεια, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη διάγνωση των οφθαλμάτων στην τρέχουσα απάντηση του μαθητή, το υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών του Web-EasyMath αυξάνει το χαρακτηριστικό «Λάθη» του μοντέλου του συγκεκριμένου μαθητή που αντιστοιχεί σε όλες τις θεωρητικές έννοιες που έχουν χρησιμοποιηθεί λανθασμένα κατά μία τιμή y , η οποία είναι μεγαλύτερη από την τιμή x ($y > x$). Στην τρέχουσα έκδοση του συστήματος η τιμή του y έχει τεθεί αυθαίρετα σε 0.1.

Το Web-EasyMath χρησιμοποιεί τις πληροφορίες που καταγράφονται για κάθε μαθητή στο δεύτερο διάγραμμα αναπαράστασης του μοντέλου του μαθητή ώστε να προβεί σε κατάλληλες τροποποιήσεις του στερεοτύπου στο οποίο ανήκει ο μαθητής ως προς το γνωστικό του επίπεδο στο διδασκόμενο αντικείμενο. Αυτό πραγματοποιείται με βάση τις συνθήκες ενεργοποίησης και αναιρέσης των διαφόρων στερεοτύπων. Επιπρόσθετα, το ΔΕΔΣ καταγράφει και τα λάθη απροσεξίας του κάθε μαθητή (π.χ. λάθη πληκτρολόγησης κατά την παροχή της απάντησης). Η πληροφορία αυτή χρησιμεύει ώστε να μπορεί το σύστημα να προβεί σε τροποποίηση της κατηγορίας του μαθητή όσον αφορά στο βαθμό προσοχής του.

8.4 Υποσύστημα Λήψης Διδακτικών Αποφάσεων

Το υποσύστημα λήψης διδακτικών αποφάσεων του Web-EasyMath χρησιμοποιεί τα στοιχεία που καταγράφονται στο μοντέλο του μαθητή για να προσαρμόζει τις διδακτικές αποφάσεις στις ανάγκες του μαθητή. Το τμήμα αυτό της διαδικτυακής

εφαρμογής τροποποιήθηκε και επεκτάθηκε ώστε να υποστηρίζει το μαθητή τόσο κατά τη μελέτη της θεωρίας όσο και κατά την επίλυση ασκήσεων.

8.4.1 Εξατομικευμένη Υποστήριξη κατά τη Μελέτη Θεωρίας

Το EasyMath υποστηρίζει το μαθητή κατά τη μελέτη της θεωρίας με την επιλογή κάποιας ενότητας την οποία πρότείνει στο μαθητή να επισκεφτεί. Παρόλα αυτά, όπως εντοπίστηκε από την αξιολόγηση του ΕΔΣ, η μέθοδος αυτή είναι αρκετά περιοριστική και δεν επιτρέπει στο μαθητή να συμμετέχει στη λήψη κάποιας απόφασης. Για το λόγο αυτό κρίθηκε σκόπιμο να μπορεί το Web-EasyMath να υποστηρίζει το μαθητή αφήνοντάς τον όμως να λαμβάνει την τελική απόφαση.

Κατά συνέπεια, όταν ο μαθητής επισκέπτεται τον πίνακα περιεχομένων της θεωρίας, το Web-EasyMath παρέχει δύο είδη βοήθειας. Το πρώτο είδος βοήθειας είναι όμοιο με την αυτόνομη έκδοση της εφαρμογής, όπου το σύστημα προτείνει στο μαθητή κάποια ενότητα, την οποία θεωρεί ως καταλληλότερη με βάση το μοντέλο του. Η βοήθεια αυτή επιτυγχάνεται μέσω της μεθόδου της αμέσου καθοδήγησης (*direct guidance*).

Παρόλα αυτά, για να μπορεί από μόνος του ο μαθητής να λάβει κάποια απόφαση για την ενότητα που επιθυμεί να μελετήσει, το Web-EasyMath παρέχει και ένα δεύτερο είδος βοήθειας. Συγκεκριμένα, όμοια με το Web-PVT, το Web-EasyMath επισημαίνει τους διάφορους συνδέσμους του πίνακα περιεχομένων της θεωρίας ώστε να γνωστοποιεί κάθε φορά στο μαθητή το κατά πόσο είναι θεμιτό να επισκεφτεί ο μαθητής το συγκεκριμένο σύνδεσμο.

Ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιείται η επισημείωση των συνδέσμων, καθώς και η μέθοδος επιλογής της επόμενης καταλληλότερης ενότητας είναι πανομοιότυπος με την περίπτωση του Web-PVT. Κατά συνέπεια, δεν κρίνεται σκόπιμο να γίνει εκτενής ανάλυση. Ένα παράδειγμα του πίνακα περιεχομένων της θεωρίας όπως αυτή εμφανίζεται σε κάποιον μαθητή που αλληλεπιδρά με το Web-EasyMath παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.3.



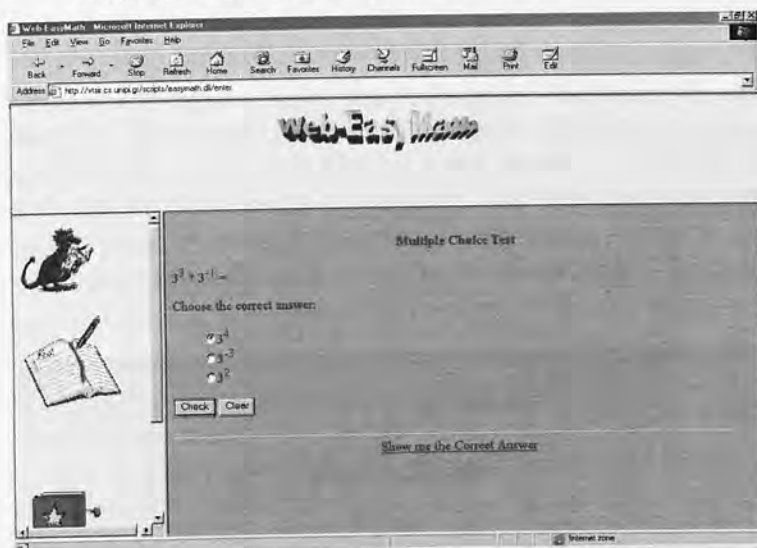
Εικόνα 8.3: Πίνακας περιεχομένων θεωρίας του Web-EasyMath.

8.4.2 Εξατομικευμένη Υποστήριξη κατά την Επίλυση Ασκήσεων

Για να αντιμετωπιστεί η απαίτηση για μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα του συστήματος στις ανάγκες του μαθητή, όπως προέκυψε από την αξιολόγηση του EasyMath, στο Web-EasyMath, η επιλογή των ασκήσεων που παρουσιάζονται γίνεται με βάση τις αδυναμίες και το επίπεδο γνώσης του εκάστοτε μαθητή. Συγκεκριμένα, αρχικά ο μαθητής επιλέγει το είδος της άσκησης που επιθυμεί να επιλύσει (άσκηση πολλαπλών επιλογών ή άσκηση εισαγωγής απάντησης). Στη συνέχεια, το σύστημα επιλέγει την άσκηση που θεωρεί κατάλληλη ως εξής:

- ❖ Αν στο μοντέλο ενός μαθητή υπάρχει μία ή περισσότερες θεωρητικές έννοιες για τις οποίες ο μαθητής έχει κάποια γνώση αλλά φαίνεται να έχει δυσκολία στη χρήση τους σε ασκήσεις ($0.4 \leq \text{Επίπεδο_Γνώσης} < 0.8$), το Web-EasyMath χρησιμοποιεί αυτή την πληροφορία ως κριτήριο για την επιλογή προτύπων ασκήσεων. Πιο λεπτομερειακά, το ΔΕΣΔ επιλέγει κάποιο πρότυπο άσκησης, που σχετίζεται με μία από αυτές τις έννοιες (η επιλογή γίνεται τυχαία). Για παράδειγμα, εάν ο μαθητής έχει επισκευτεί την ιστοσελίδα θεωρίας που είναι συχετισμένη με την έννοια «πολλαπλασιασμός αλγεβρικών δυνάμεων» αλλά

δεν έχει προσπαθήσει ποτέ να λύσει ασκήσεις που απαιτούν τη χρήση της συγκεκριμένης έννοιας, τότε το Web-EasyMath θα επέλεγε μία άσκηση παρόμοια με αυτή που παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.4.

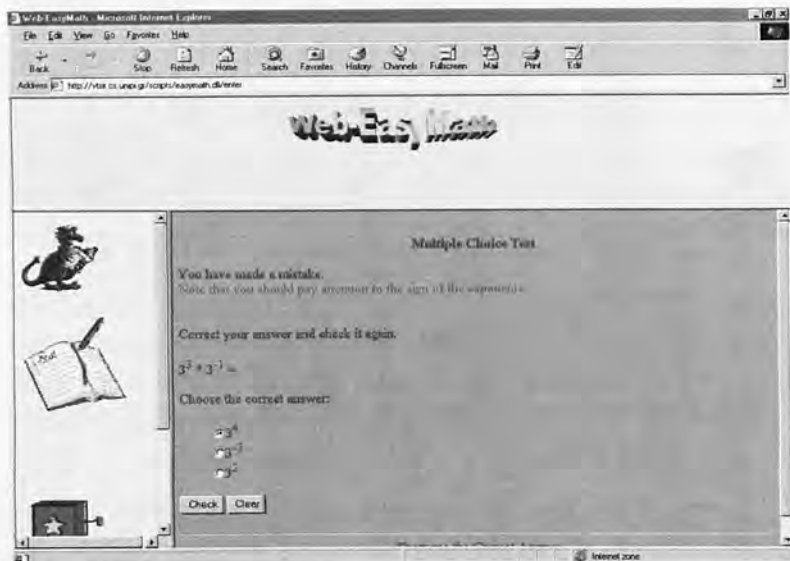


Εικόνα 8.4: Παράδειγμα άσκησης πολλαπλών επιλογών του Web-EasyMath.

- ✧ Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν θεωρητικές έννοιες για τις οποίες ο μαθητής έχει κάποια γνώση αλλά φαίνεται να έχει δυσκολία στη χρήση τους σε ασκήσεις, τότε το σύστημα επιλέγει τις έννοιες για τις οποίες ο μαθητής έχει τη μεγαλύτερη τάση να κάνει λάθη και παρουσιάζει μία άσκηση που σχετίζεται με αυτές.

Ο τρόπος με τον οποίο η διαδικτυακή εφαρμογή κατασκευάζει ασκήσεις πολλαπλών επιλογών και πραγματοποιεί διάγνωση των σφαλμάτων του μαθητή σε τέτοιες ασκήσεις είναι όμοιος με την αυτόνομη εφαρμογή και γι' αυτό δεν θα αναλυθεί παραπάνω. Παρόλα αυτά, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι το υποσύστημα διάγνωσης λαθών του Web-EasyMath έχει επεκταθεί ώστε να έχει τη δυνατότητα να αντιμετωπίζει την περίπτωση όπου ένα λάθος μπορεί να οφείλεται σε παραπάνω από μία αιτίες. Αυτή η επέκταση του ΕΔΣ πραγματοποιήθηκε εξαιτίας των αποτελεσμάτων της αξιολόγησης της αυτόνομης έκδοσης του συστήματος.

Συγκεκριμένα, αν κάποιος λάθος που κάνει ο μαθητής μπορεί να αποδοθεί σε περισσότερες από μία αιτίες, το σύστημα λαμβάνει υπ' όψη το ιστορικό του συγκεκριμένου μαθητή για να επιλέξει την πιο πιθανή αιτία. Για παράδειγμα, αν στην άσκηση της Εικόνας 8.4 ($3^3 * 3^{-1} =$), ο μαθητής επιλέξει την πρώτη από τις εναλλακτικές απαντήσεις (3^4), τότε το συγκεκριμένο λάθος μπορεί να οφείλεται είτε στην απροσεξία του μαθητή, ή στην πιο σοβαρή αιτία ότι ο μαθητής θεωρεί ότι πρέπει να αφαιρεί αντί να προσθέτει τους εκθέτες κατά τον πολλαπλασιασμό δυνάμεων. Στην περίπτωση αυτή, αν στο μοντέλο μακράς διάρκειας του προαναφερόμενου μαθητή έχει καταγραφεί ότι κάνει συχνά λάθη απροσεξίας, ενώ δεν αφαιρεί τους εκθέτες στον πολλαπλασιασμό δυνάμεων, τότε το σύστημα θα υποθέσει ότι το λάθος του μαθητή οφείλεται στην απροσεξία του και θα του παρέχει το διαγνωστικό μήνυμα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.5.



Εικόνα 8.5: Διαγνωστικό μήνυμα στην περίπτωση λάθους απροσεξίας στην άσκηση της Εικόνας 8.4.

Τέλος, όμοια με το Web-PVT, το σύστημα καθορίζει το επίπεδο λεπτομέρειας των διαγνωστικών μηνυμάτων που παρουσιάζονται στο μαθητή όταν κάνει λάθη κατά την επίλυση ασκήσεων ανάλογα με το γνωστικό του επίπεδο. Συγκεκριμένα, γίνεται

η παραδοχή ότι όσο μεγαλύτερο είναι το γνωστικό επίπεδο του μαθητή, τόσο λιγότερο λεπτομερές είναι το διαγνωστικό μήνυμα που του παρέχεται.

8.5 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό, περιγράφηκε η μεταφορά του EasyMath στο διαδίκτυο. Η κατασκευή του Web-EasyMath πραγματοποιήθηκε έτσι ώστε να γίνει επαναχρησιμοποίηση των τμημάτων της αυτόνομης εφαρμογής που κρίθηκαν αποτελεσματικά σύμφωνα με την αξιολόγησή της. Παρόλα αυτά, εξαιτίας της διαδικτυακής φύσης της νέας εφαρμογής και της ανάγκης για επιπλέον προσαρμοστικότητα του ΕΔΣ, έγιναν αρκετές επεκτάσεις σε διάφορα υποσυστήματα, όπως το υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών και το υποσύστημα λήψης διδακτικών αποφάσεων.

Η προσέγγιση που ακολουθείται για τη μοντελοποίηση μαθητών στο Web-EasyMath αντιμετωπίζει δύο βασικά ανοικτά ερευνητικά θέματα του τομέα της τεχνητής νοημοσύνης στην εκπαίδευση. Συγκεκριμένα, το υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών του ΔΕΔΣ αυτο-βελτιώνεται με βάση τη γνώση που αποκτά από άλλους μαθητές για τους οποίους μπορεί να εξάγει συμπεράσματα από την πραγματική τους συμπεριφορά καθώς αλληλεπιδρούν με το σύστημα. Επιπλέον, το Web-EasyMath ενημερώνει το μοντέλο ενός μαθητή σύμφωνα με τις ενέργειες που πραγματοποιεί ο μαθητής κατά τη μελέτη της θεωρίας και την επίλυση ασκήσεων. Ένα σημαντικό ζήτημα που λαμβάνεται υπ' όψη είναι η εξέλιξη της γνώσης του μαθητή καθώς αλληλεπιδρά με το σύστημα. Συγκεκριμένα, το Web-EasyMath κάνει κάποιο διαχωρισμό των «παλιών» και των «νέων» στοιχείων κατά τη μοντελοποίηση της τάσης του μαθητή να κάνει σφάλματα σε κάθε θεωρητική έννοια κατά την επίλυση ασκήσεων.

Με βάση τα στοιχεία που καταγράφονται στο μοντέλο του μαθητή, το Web-EasyMath προσαρμόζει τις διδακτικές του αποφάσεις στο επίπεδο γνώσης και τις αδυναμίες του μαθητή. Συγκεκριμένα, το σύστημα χρησιμοποιεί το μοντέλο του μαθητή για να τον υποστηρίξει όταν αυτός επιλέγει να μελετήσει κάποια θεωρητική ενότητα ή όταν λύνει ασκήσεις.

9 Γενικό Πλαίσιο Αρχικοποίησης Παραμέτρων Μαθησιακής Διαδικασίας

9.1 Εισαγωγή

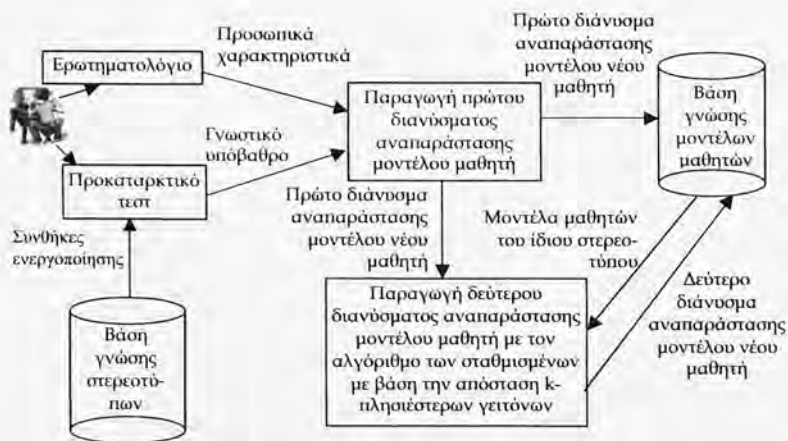
Η ποιότητα των αρχικών συμπερασμάτων που εξάγει ένα ΔΕΔΣ αναφορικά με κάποιο νέο μαθητή είναι εξαιρετικά μεγάλης σημασίας για την επιτυχία και την αποδοχή του. Αυτό συμβαίνει διότι το ΔΕΔΣ προσπαθεί να προσαρμόζεται στις ανάγκες των νέων μαθητών για τους οποίους όμως υπάρχουν ελλειπή δεδομένα. Στην περίπτωση που οι επιλογές του ΔΕΔΣ που αποσκοπούν στην εξατομίκευση της διδασκαλίας και της ανάδρασης σε λάθη δεν ανταποκρίνονται στις πραγματικές γνώσεις και τις αδυναμίες του μαθητή, τότε αυτός μπορεί να θεωρήσει το ΔΕΔΣ αναξιόπιστο και να μην θέλει να το χρησιμοποιήσει.

Παρόλο που είναι αναγνωρισμένη η σημασία της αρχικοποίησης του μοντέλου ενός μαθητή, μέχρι σήμερα υπάρχει λίγη ερευνητική προσπάθεια στον τομέα αυτό της μοντελοποίησης μαθητών. Συγκεκριμένα, τα περισσότερα ΔΕΔΣ και ΕΔΣ που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα χρησιμοποιούν τετριμμένες ή απλοϊκές μεθόδους για την ανάθεση αρχικών τιμών στο μοντέλο ενός νέου μαθητή. Επιπρόσθετα, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται είναι αυστηρά συσχετισμένες με το αντικείμενο που διδάσκεται από το εκπαιδευτικό λογισμικό και κατά συνέπεια δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάποιο άλλο γνωστικό αντικείμενο.

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται ένα γενικό πλαίσιο αρχικοποίησης των μοντέλων νέων μαθητών, το οποίο ονομάζεται *Initializing Student Models (ISM)* (Tsiriga & Virvou 2003b). Το πλαίσιο αυτό χρησιμοποιεί ένα καινοτομικό συνδυασμό των στερεοτύπων και ενός αλγορίθμου μηχανικής μάθησης (συγκεκριμένα του αλγορίθμου των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k -πλησιέστερων γειτόνων) για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με κάποιο νέο μαθητή. Το γενικό πλαίσιο ISM έχει εφαρμοστεί για την αρχικοποίηση των μοντέλων των μαθητών στα δύο ΔΕΔΣ

που περιγράφηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια (Web-PVT και Web-EasyMath). Η χρησιμοποίηση της συγκεκριμένης προσέγγισης σε δύο τόσο διαφορετικά γνωστικά αντικείμενα θεωρήθηκε ως ένα καλό κριτήριο για την απόδειξη της γενικότητάς της.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου αρχικά παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του γενικού πλαισίου ISM (ενότητα 9.2). Στη συνέχεια περιγράφεται ο τρόπος που χρησιμοποιεί το γενικό πλαίσιο τα στερεότυπα (ενότητα 9.3) και τον αλγόριθμο των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k -πλησιότερων γειτόνων (ενότητα 9.4). Επιπλέον, στην ενότητα 9.5 παρατίθενται κάποιοι γενικοί τρόποι με τους οποίους μπορεί να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο του κάθε μαθητή ώστε να μπορεί το ΔΕΔΣ να παρέχει εξατομικευμένη υποστήριξη τόσο όταν ο μαθητής μελετά θεωρία όσο και όταν λύνει ασκήσεις μέσω του συστήματος. Τέλος, στην ενότητα 9.6 γίνεται μία σύνοψη του παρόντος κεφαλαίου.



Εικόνα 9.1 Αρχιτεκτονική γενικού πλαισίου ISM.

9.2 Αρχιτεκτονική του Γενικού Πλαισίου

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται η αρχιτεκτονική του γενικού πλαισίου αρχικοποίησης μοντέλων μαθητών ISM. Η σχηματική αναπαράσταση της αρχιτεκτονικής του γενικού πλαισίου παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.1. Σύμφωνα με το γενικό πλαίσιο ISM, το ΔΕΔΣ συλλέγει κάποιες αρχικές πληροφορίες αναφορικά με το νέο μαθητή με βάση τις απαντήσεις του σε ένα ερωτηματολόγιο και την επίδοσή του σε ένα προκαταρκτικό τεστ. Το ερωτηματολόγιο παρουσιάζεται στο

μαθητή όταν αυτός εγγράφεται στο ΔΕΔΣ. Οι ερωτήσεις που περιλαμβάνει σχετίζονται με τα στοιχεία φακέλου (record) του μαθητή (π.χ. όνομα, ηλικία, κωδικός εισόδου στο σύστημα, κ.λπ.), καθώς και με έναν αριθμό χαρακτηριστικών του μαθητή που μπορεί να επηρεάζουν (θετικά ή αρνητικά) τη διαδικασία της μάθησης του διδασκόμενου αντικείμενου. Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά είναι συνήθως διαφορετικά ανάλογα με το αντικείμενο που διδάσκεται από το ΔΕΔΣ. Για παράδειγμα, τόσο στο Web-PVT όσο και στο Web-EasyMath, ένα χαρακτηριστικό που επηρεάζει την διαδικασία της μάθησης είναι ο βαθμός προσοχής του μαθητή όταν επιλύει ασκήσεις. Παρόλα αυτά, τα δύο ΔΕΔΣ χρησιμοποιούν και ένα πλήθος διαφορετικών χαρακτηριστικών. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση του Web-PVT, άλλα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τη μάθηση σχετίζονται με τη μητρική γλώσσα του μαθητή, καθώς και τις άλλες γλώσσες που γνωρίζει ήδη. Στο Web-EasyMath από την άλλη πλευρά τα άλλα χαρακτηριστικά σχετίζονται με τη σχολική τάξη στην οποία ανήκει ο μαθητής.

Το προκαταρκτικό τεστ, από την άλλη πλευρά, χρησιμοποιείται με σκοπό να εξάγει το ΔΕΔΣ κάποια συμπεράσματα σχετικά με το γνωστικό υπόβαθρο του μαθητή. Εναλλακτικά, το ΔΕΔΣ θα μπορούσε να βασιστεί στην αυτο-εκτίμηση του μαθητή αναφορικά με το γνωστικό του επίπεδο. Παρόλα αυτά, η υιοθέτηση αυτής της προσέγγισης δεν κρίθηκε ικανοποιητική διότι οι μαθητές δεν έχουν πάντα ορθή εικόνα σχετικά με τις δυνατότητες και τις αδυναμίες τους. Τα συμπεράσματα που εξάγονται με βάση την επίδοση του μαθητή στο προκαταρκτικό τεστ μπορεί να σχετίζονται με τη γνώση του μαθητή στο διδασκόμενο αντικείμενο ή/και με κάποια προαπαιτούμενη γνώση. Για παράδειγμα, στο Web-EasyMath, το προκαταρκτικό τεστ εξετάζει τη γνώση του μαθητή τόσο στο πεδίο των αλγεβρικών δυνάμεων όσο και στην ικανότητα του μαθητή να χρησιμοποιεί τις βασικές αριθμητικές πράξεις. Με βάση την επίδοσή του στις ερωτήσεις του προκαταρκτικού τεστ που σχετίζονται με το γνωστικό αντικείμενο του ΔΕΔΣ, ο μαθητής κατατάσσεται σε κάποιο στερεότυπο ως προς το γνωστικό του επίπεδο στο διδασκόμενο αντικείμενο. Επιπρόσθετα, η επίδοση του μαθητή σε ερωτήσεις που σχετίζονται με κάποια προαπαιτούμενη γνώση καταγράφεται και στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το ΔΕΔΣ για να εξάγει συμπεράσματα αναφορικά με την ομοιότητα μαθητών. Τα στοιχεία που συλλέγονται τόσο από το ερωτηματολόγιο, όσο και από το προκαταρκτικό τεστ αναπαρίστανται σε ένα διάγραμμα, το οποίο αποτελεί το *πρώτο διάγραμμα αναπαράσταση του μοντέλου του μαθητή*, το οποίο είναι της μορφής:

<Κωδικός_Μαθητή, Όνομα, Στερεότυπο, Χαρακτηριστικό₁, Χαρακτηριστικό₂, ..., Χαρακτηριστικό_ν>

Τα ν χαρακτηριστικά είναι αυτά που θεωρούνται ότι μπορούν να επηρεάσουν τη διαδικασία της μάθησης του συγκεκριμένου γνωστικού αντικείμενου που διδάσκεται από το ΔΕΔΣ. Για την επιλογή των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών είναι απαραίτητη η συμβολή ειδικών στο διδασκόμενο αντικείμενο και εκπαιδευτικών, οι οποίοι γνωρίζουν τους παράγοντες που μπορεί να παίζουν ρόλο στον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές κατανοούν και μαθαίνουν το συγκεκριμένο αντικείμενο.

Στη συνέχεια, το πρώτο διάνυσμα αναπαράστασης του νέου μαθητή και οι πληροφορίες που διατηρεί το ΔΕΔΣ για άλλους μαθητές χρησιμοποιούνται με σκοπό να παραχθεί ένα *δεύτερο διάνυσμα αναπαράστασης του μοντέλου του νέου μαθητή*. Το διάνυσμα αυτό αναπαριστά τις εκτιμήσεις του ΔΕΔΣ αναφορικά με κάποια χαρακτηριστικά του μαθητή που είναι άμεσα συσχετισμένα με το γνωστικό πεδίο. Το δεύτερο διάνυσμα αναπαράστασης του μοντέλου του μαθητή έχει την ακόλουθη μορφή:

<Κωδικός_Μαθητή, Χαρακτηριστικό_Συσχετισμένο_Γνωστικού_Πεδίου₁,
Χαρακτηριστικό_Συσχετισμένο_Γνωστικού_Πεδίου₂, ...,
Χαρακτηριστικό_Συσχετισμένο_Γνωστικού_Πεδίου_μ>

Τα μ χαρακτηριστικά που είναι συσχετισμένα με το γνωστικό πεδίο μπορεί να είναι οποιαδήποτε χαρακτηριστικά του μαθητή που λαμβάνουν τιμές από ένα συνεχές σύνολο πραγματικών αριθμών. Για παράδειγμα, ένα τέτοιο χαρακτηριστικό μπορεί να είναι το επίπεδο γνώσης του μαθητή σε κάποια έννοια του γνωστικού πεδίου. Ένα άλλο χαρακτηριστικό μπορεί να είναι η τάση του μαθητή να κάνει σφάλματα σε κάποια έννοια.

Οι εκτιμήσεις του συστήματος αναφορικά με τα χαρακτηριστικά του μαθητή που είναι άμεσα συσχετισμένα με το γνωστικό πεδίο του ΔΕΔΣ πραγματοποιούνται με βάση τον αλγόριθμο των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k-πλησιέστερων γειτόνων. Συγκεκριμένα, η εκτίμηση του συστήματος αναφορικά με κάποιο άγνωστο χαρακτηριστικό του δεύτερου διανύσματος αναπαράστασης του νέου μαθητή υπολογίζεται ως ο σταθμισμένος μέσος των τιμών του χαρακτηριστικού αυτού, όπως προκύπτουν από τα μοντέλα μαθητών που ανήκουν στο ίδιο στερεότυπο με το νέο μαθητή. Το βάρος συνεισφοράς του κάθε γειτονικού μαθητή υπολογίζεται λαμβάνοντας υπ' όψη την ομοιότητά του με το νέο μαθητή. Η ομοιότητα των

μαθητών υπολογίζεται με βάση τα χαρακτηριστικά που είναι καταγεγραμμένα στα πρώτα διανύσματα αναπαράστασης των μοντέλων των μαθητών.

9.3 Στερεότυπα

Το γενικό πλαίσιο ISM προτείνει την κατηγοριοποίηση των μαθητών σε στερεότυπα αναφορικά με το γνωστικό τους επίπεδο στο αντικείμενο που διδάσκεται από το ΔΕΔΣ. Το ISM δεν θέτει κάποιον περιορισμό στον αριθμό των στερεοτύπων που θα υποστηρίζονται από το ΔΕΔΣ. Παρόλα αυτά, η επιλογή του αριθμού των στερεοτύπων επηρεάζει τον αριθμό των γειτονικών μαθητών που θα συμμετάσχουν στη διαδικασία αρχικοποίησης του μοντέλου του νέου μαθητή. Αυτό συμβαίνει διότι το μοντέλο ενός νέου μαθητή αρχικοποιείται με βάση τα μοντέλα άλλων μαθητών που ανήκουν στο ίδιο στερεότυπο με αυτόν. Κατά συνέπεια, αν υποστηρίζονται πολλά στερεότυπα, μειώνεται ο αριθμός των γειτονικών μαθητών. Ο περιορισμός αυτός παύει να υπάρχει αν το ΔΕΔΣ αναμένεται να χρησιμοποιηθεί από μεγάλο αριθμό μαθητών, διότι θα υπάρχουν αρκετοί μαθητές που θα ανήκουν σε κάθε στερεότυπο. Παρόλα αυτά, ένας λογικός αριθμός στερεοτύπων, που έχει χρησιμοποιηθεί κατά κόρον από ΕΔΣ και ΔΕΔΣ που μοντελοποιούν τους μαθητές μέσω στερεοτύπων και ο οποίος χρησιμοποιήθηκε τόσο στο Web-PVT, όσο και στο Web-EasyMath είναι τέσσερα στερεότυπα (αδαής, αρχάριος, με μέτρια γνώση και προχωρημένος).

Η κατηγοριοποίηση ενός μαθητή σε κάποιο στερεότυπο πραγματοποιείται με βάση τη γνώση του ΔΕΔΣ αναφορικά με τη δομή του διδασκόμενου αντικειμένου και στις ενέργειες του μαθητή όταν αυτός αλληλεπιδρά για πρώτη φορά με το ΔΕΔΣ. Συγκεκριμένα, οι συνθήκες ενεργοποίησης των στερεοτύπων σχετίζονται με την επίδοση του μαθητή στο προκαταρκτικό τεστ που καλείται να επιλύσει την πρώτη φορά που αλληλεπιδρά με το ΔΕΔΣ. Για παράδειγμα, μία συνθήκη ενεργοποίησης ενός στερεοτύπου μπορεί να είναι ότι ο μαθητής έχει απαντήσει ορθά στις ερωτήσεις του προκαταρκτικού τεστ σε ένα ποσοστό μικρότερο από ένα κατώφλι.

Επιπλέον, κάθε στερεότυπο διαθέτει και έναν αριθμό προκαθορισμένων υποθέσεων, που το ΔΕΔΣ θεωρεί ότι ισχύουν για κάθε μαθητή που ανήκει στο στερεότυπο. Για παράδειγμα, οι προκαθορισμένες υποθέσεις μπορούν να σχετίζονται με το επίπεδο γνώσης και την τάση του μαθητή να κάνει σφάλματα σε κάθε θεωρητική έννοια. Οι προκαθορισμένες υποθέσεις χρησιμοποιούνται σύμφωνα με το γενικό πλαίσιο ISM για την αρχικοποίηση του μοντέλου ενός νέου μαθητή, μόνο σε

περιπτώσεις που δεν υπάρχουν άλλοι μαθητές που να ανήκουν στο ίδιο στερεότυπο με το νέο μαθητή.

9.4 Αλγόριθμος των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k-πλησιέστερων γειτόνων

Σύμφωνα με το γενικό πλαίσιο ISM, μετά την κατηγοριοποίηση του μαθητή σε κάποιο στερεότυπο, χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k-πλησιέστερων γειτόνων για την ανάθεση αρχικών τιμών στο σύνολο των χαρακτηριστικών που καταγράφονται στο μοντέλο του μαθητή. Συγκεκριμένα, με βάση τον αλγόριθμο αυτό, το ΔΕΔΣ πραγματοποιεί αρχικές εκτιμήσεις αναφορικά με τα χαρακτηριστικά του μοντέλου του μαθητή που είναι άμεσα συσχετισμένα με το γνωστικό πεδίο. Οι αρχικές τιμές που δίδονται στα χαρακτηριστικά του μοντέλου ενός νέου μαθητή προκύπτουν με βάση τις τιμές των χαρακτηριστικών αυτών, όπως καταγράφονται στα μοντέλα άλλων μαθητών που ανήκουν στο ίδιο στερεότυπο με το νέο μαθητή. Οι μαθητές αυτοί έχουν χρησιμοποιήσει το ΔΕΔΣ επαρκώς, ώστε το ΔΕΔΣ να έχει εξαγάγει συμπεράσματα σχετικά με τα χαρακτηριστικά των μαθητών από την παρατήρηση της πραγματικής τους συμπεριφοράς. Η συνεισφορά του κάθε μαθητή στην αρχικοποίηση του μοντέλου του νέου μαθητή υπολογίζεται με βάση την απόστασή του από αυτόν.

Ένα πρώτο σημαντικό ζήτημα στην εφαρμογή του αλγορίθμου των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k-πλησιέστερων γειτόνων για την αρχικοποίηση των μοντέλων μαθητών, είναι η επιλογή των χαρακτηριστικών των μαθητών που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ δύο μαθητών. Τα χαρακτηριστικά αυτά πρέπει να επιλεγούν με γνώμονα την επίδραση που μπορεί να έχουν στη γνώση ή τον τρόπο μάθησης του μαθητή αναφορικά με το αντικείμενο που διδάσκεται από το ΔΕΔΣ. Η απόφαση αυτή παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην τελική επιτυχία ή όχι της προσέγγισης. Η συμμετοχή ειδικών στη διδασκαλία του γνωστικού αντικείμενου είναι πολύ σημαντική σε αυτή τη φάση της λήψης αποφάσεων, διότι αποτελούν την πιο κατάλληλη πηγή εντοπισμού των χαρακτηριστικών που επηρεάζουν τη μάθηση. Επιπλέον, η επιλογή των χαρακτηριστικών αυτών θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί με βάση τα αποτελέσματα εκτεταμένων εμπειρικών μελετών, στις οποίες θα πρέπει να συμμετέχουν τόσο εκπαιδευτικοί του αντικείμενου που διδάσκεται από το ΔΕΔΣ, όσο και μαθητές. Τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της

απόστασης μεταξύ δύο μαθητών πρέπει να λαμβάνονται από το ΔΕΔΣ κατά την πρώτη αλληλεπίδραση του μαθητή με το σύστημα και να καταγράφονται στο πρώτο διάγραμμα αναπαράστασης του μοντέλου του μαθητή.

Τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ δύο μαθητών μπορεί να λαμβάνουν είτε αριθμητικές τιμές, είτε τιμές από ένα απαριθμητό σύνολο. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του Web-EasyMath, δύο χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ δύο μαθητών είναι ο βαθμός προσοχής των μαθητών και η ικανότητά τους να χρησιμοποιούν κάποια απλή αριθμητική πράξη. Το πρώτο από αυτά τα χαρακτηριστικά μπορεί να λάβει τιμές από ένα απαριθμητό σύνολο (απόσβεκτος, μέτρια προσεκτικός, προσεκτικός), ενώ το δεύτερο χαρακτηριστικό λαμβάνει κάποια αριθμητική τιμή. Κατά συνέπεια, η συνάρτηση υπολογισμού της απόστασης μεταξύ των τιμών ενός χαρακτηριστικού θα πρέπει να μπορεί να διαχειρίζεται και τα δύο είδη τιμών. Στην περίπτωση του γενικού πλαισίου ISM, η διαφορά μεταξύ δύο τιμών ενός χαρακτηριστικού j μπορεί να λάβει κάποια τιμή εντός του συνόλου $[0..1]$ και υπολογίζεται με βάση την Εξίσωση 9.1.

$$d_j(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{εαν } x \text{ ή } y \text{ άγνωστα,} \\ \text{overlap}(x, y), & \text{αν } x, y \text{ τιμές απαριθμητού συνόλου} \\ \sqrt{(x-y)^2}, & \text{αν } x, y \text{ είναι πραγματικοί αριθμοί} \end{cases} \quad \text{Εξίσωση 9.1}$$

Συγκεκριμένα, αν κάποια τιμή ενός χαρακτηριστικού δεν είναι γνωστή, τότε η απόστασή της από οποιαδήποτε γνωστή ή άγνωστη τιμή ορίζεται ως η μέγιστη απόσταση (τιμή 1). Αν οι τιμές ανήκουν σε ένα απαριθμητό σύνολο, η απόστασή τους ορίζεται με βάση μία συνάρτηση επικάλυψης, η οποία ορίζεται στην Εξίσωση 9.2. Τέλος, αν οι τιμές του χαρακτηριστικού είναι πραγματικοί αριθμοί, η διαφορά τους υπολογίζεται με βάση την ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των πραγματικών τιμών.

$$\text{overlap}(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{εαν } x = y \\ 1, & \text{διαφορετικά} \end{cases} \quad \text{Εξίσωση 9.2}$$

Η συνολική απόσταση μεταξύ δύο μαθητών μ_a και μ_b , στο γενικό πλαίσιο ISM υπολογίζεται με βάση την Εξίσωση 9.3.

$$\Delta(\mu_a, \mu_b) = \sum_{j=1}^n d_j(x, y)$$

Στην παραπάνω εξίσωση, το n εκφράζει τον αριθμό των χαρακτηριστικών των μαθητών που λαμβάνονται υπ' όψη για τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ δύο μαθητών. Κατά συνέπεια, η συνολική απόσταση μεταξύ δύο μαθητών ορίζεται ως το άθροισμα των διαφορών των τιμών όλων των χαρακτηριστικών που επηρεάζουν τη διαδικασία της μάθησης.

Η βασική διαδικασία του αλγορίθμου στοχεύει στην αρχική εκτίμηση κάποιων χαρακτηριστικών του νέου μαθητή που θα καταγραφούν στο δεύτερο διάνυσμα αναπαράστασης του μοντέλου του με βάση τα δεύτερα διανύσματα αναπαράστασης των μοντέλων k μαθητών που είναι γειτονικοί στο νέο μαθητή. Μία σημαντική απόφαση που πρέπει να ληφθεί είναι ο αριθμός των γειτονικών μαθητών (k) τα μοντέλα των οποίων θα χρησιμοποιηθούν για την αρχικοποίηση του μοντέλου του νέου μαθητή. Σύμφωνα με το γενικό πλαίσιο ISM, ο αριθμός των γειτονικών μαθητών έχει οριστεί ως ο αριθμός των μαθητών που ανήκουν στο ίδιο στερεότυπο με το νέο μαθητή αναφορικά με το γνωστικό τους επίπεδο στο αντικείμενο που διδάσκεται από το ΔΕΔΣ. Η επιλογή αυτή βασίστηκε στο γεγονός ότι οι μαθητές που ανήκουν σε διαφορετικά στερεότυπα δεν αναμένεται να έχουν το ίδιο επίπεδο γνώσης, ανεξαρτήτως των άλλων χαρακτηριστικών που μπορεί να επηρεάζουν τη μαθησιακή τους διαδικασία.

Επιπλέον, πρέπει να οριστεί κάποια συνάρτηση με βάση την οποία θα υπολογίζονται οι αρχικές τιμές των άγνωστων χαρακτηριστικών του νέου μαθητή που θα καταγραφούν στο δεύτερο διάνυσμα αναπαράστασης του μοντέλου του. Στην περίπτωση του γενικού πλαισίου ISM, το ΔΕΔΣ μπορεί να πραγματοποιήσει αρχικές εκτιμήσεις για οποιοδήποτε χαρακτηριστικό του μοντέλου του νέου μαθητή (μ_a), το οποίο λαμβάνει τιμές εντός ενός συνεχούς συνόλου πραγματικών τιμών (π.χ. επίπεδο γνώσης, τάση για σφάλματα, κ.λπ.). Η αρχική εκτίμηση ενός τέτοιου χαρακτηριστικού υπολογίζεται ως ο σταθμισμένος μέσος των γνωστών τιμών του χαρακτηριστικού αυτού, όπως προκύπτουν από τα δεύτερα διανύσματα αναπαράστασης των μοντέλων των k γειτονικών μαθητών ($\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$). Το βάρος της συνεισφοράς κάθε γειτονικού μαθητή στην αρχική εκτίμηση υπολογίζεται με βάση την απόστασή του από το νέο μαθητή. Κατά συνέπεια, η αρχική εκτίμηση για ένα χαρακτηριστικό (Χαρακτηριστικό_α) υπολογίζεται με βάση την Εξίσωση 9.4,

$$\text{Χαρακτηριστικό}_x(\mu_q) = \frac{\sum_{i=1}^k w_i \text{Χαρακτηριστικό}_x(\mu_i)}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad \text{Εξίσωση 9.4}$$

όπου w_i είναι το βάρος συνεισφοράς του μαθητή μ_i και υπολογίζεται με τη βοήθεια της Εξίσωσης 9.5.

$$w_i = \frac{1}{\Delta(\mu_q, \mu_i)^2} \quad \text{Εξίσωση 9.5}$$

Όπως παρουσιάστηκε στα κεφάλαια 5 και 8, το γενικό πλαίσιο ISM χρησιμοποιήθηκε από το Web-PVT και από το Web-EasyMath με σκοπό την αρχική εκτίμηση δύο χαρακτηριστικών: α) του επιπέδου γνώσης του μαθητή και β) της τάσης του μαθητή να κάνει σφάλματα σε κάθε θεωρητική έννοια του γνωστικού πεδίου. Για παράδειγμα, η αρχική εκτίμηση του χαρακτηριστικού Επίπεδο_Γνώσης ενός νέου μαθητή σε μία θεωρητική έννοια Έννοια_z υπολογίζεται στα δύο αυτά ΔΕΔΣ με τη βοήθεια της Εξίσωσης 9.6.

$$\text{Επίπεδο_Γνώσης}(\text{Έννοια}_z, \mu_q) = \frac{\sum_{i=1}^k w_i \text{Επίπεδο_Γνώσης}(\text{Έννοια}_z, \mu_i)}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad \text{Εξίσωση 9.6}$$

9.5 Προτεινόμενες Χρήσεις του Μοντέλου της Εξατομικευμένης Μαθησιακής Διαδικασίας

Στην ενότητα αυτή παρατίθενται κάποιοι πιθανοί τρόποι με τους οποίους μπορεί ένα ΔΕΔΣ να χρησιμοποιήσει το μοντέλο του εκάστοτε μαθητή για την παροχή εξατομικευμένης διδασκαλίας και ανάδρασης. Οι προτεινόμενες χρήσεις που περιγράφονται είναι κάποια παραδείγματα των δυνατοτήτων που μπορεί να έχει ένα ΔΕΔΣ που διατηρεί ένα μοντέλο για κάθε μαθητή που αλληλεπιδρά με αυτό. Παρόλα αυτά, οι συγκεκριμένες δυνατότητες έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο στο Web-PVT όσο και στο Web-EasyMath και είναι κατά συνέπεια αρκετά γενικές και ανεξάρτητες του αντικειμένου που διδάσκεται από το ΔΕΔΣ. Επιπλέον, σύμφωνα με την αξιολόγηση του Web-PVT, οι συγκεκριμένες δυνατότητες εξατομικευσης φάνηκε να έχουν θετική επίδραση τόσο στο μαθησιακό αποτέλεσμα όσο και στην αποδοτικότερη χρήση του συστήματος από τους μαθητές.

Για να μπορεί το ΔΕΔΣ να παρέχει τις δυνατότητες εξατομίκευσης που περιγράφονται στη συνέχεια, αρκεί να διατηρεί δύο ζεύγη «χαρακτηριστικό-τιμή» στο μοντέλο του μαθητή, για κάθε έννοια του γνωστικού πεδίου. Συγκεκριμένα, στο πρώτο ζεύγος «χαρακτηριστικό-τιμή» αναπαρίσταται η εκτίμηση του ΔΕΔΣ αναφορικά με το κατά πόσο ο μαθητής γνωρίζει κάποια συγκεκριμένη έννοια. Στο δεύτερο ζεύγος, από την άλλη πλευρά, καταγράφεται η εκτίμηση του συστήματος αναφορικά με την τάση του μαθητή να κάνει σφάλματα καθώς χρησιμοποιεί την έννοια αυτή σε ασκήσεις που καλείται να επιλύσει. Μία άλλη προϋπόθεση που πρέπει να ισχύει για την υλοποίηση των συγκεκριμένων δυνατοτήτων, είναι ότι το γνωστικό πεδίο του ΔΕΔΣ πρέπει να είναι δομημένο ιεραρχικά και να περιγράφει τις ενδοσυσχετίσεις μεταξύ των διαφόρων εννοιών. Για παράδειγμα, το γνωστικό πεδίο του ΔΕΔΣ θα πρέπει να γνωρίζει τις έννοιες που είναι προαπαιτούμενες κάθε έννοιας του γνωστικού πεδίου.

Αν πληρούνται οι παραπάνω προϋποθέσεις, το ΔΕΔΣ μπορεί να παρέχει εξατομικευμένη υποστήριξη στο μαθητή όταν αυτός μελετά θεωρία ή όταν λύνει ασκήσεις.

9.5.1 Εξατομικευμένη Βοήθεια κατά τη Μελέτη της Θεωρίας

Όταν ο μαθητής καλείται να επιλέξει κάποια ιστοσελίδα θεωρίας για να μελετήσει, το ΔΕΔΣ μπορεί να του παρέχει εξατομικευμένη βοήθεια χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό των ακόλουθων δύο επιλογών:

- ✧ *Να εισηγηθεί τους συνδέσμους (link annotation) του πίνακα περιεχομένων της θεωρίας* ώστε να γνωστοποιεί στο μαθητή την καταλληλότητα των ιστοσελίδων της θεωρίας στις οποίες αυτοί οδηγούν σε σχέση με το τρέχων γνωστικό του επίπεδο. Η εισηγητική των συνδέσμων μπορεί να πραγματοποιείται με τη χρήση διαφορετικών εικονιδίων ή/και διαφορετικών στυλ γραμματοσειράς για κάθε μία από τις δυνατές καταστάσεις των συνδέσμων. Για παράδειγμα, το ΔΕΔΣ μπορεί να διαχωρίζει μεταξύ τεσσάρων δυνατών καταστάσεων των συνδέσμων:

- α) *Γνωστοί*: που αντιστοιχούν σε έννοιες που ο μαθητής γνωρίζει σε ικανοποιητικό βαθμό. Δηλαδή έννοιες, για τις οποίες το χαρακτηριστικό του μοντέλου του μαθητή που αντιστοιχεί στο επίπεδο γνώσης του στη συγκεκριμένη έννοια είναι μεγαλύτερο από ένα προκαθορισμένο

- κατώφλι, το οποίο πρέπει να οριστεί μετά από συνεννόηση με καθηγητές του διδασκόμενου αντικειμένου.
- β) *Πλέον προτεινόμενοι*: οι σύνδεσμοι αυτοί οδηγούν σε ιστοσελίδες θεωρίας τις οποίες έχει ξαναεπισκεφτεί ο μαθητής αλλά αντιστοιχούν σε έννοιες στις οποίες ο μαθητής φαίνεται να έχει δυσκολία όταν τις χρησιμοποιεί κατά την επίλυση ασκήσεων. Στην περίπτωση αυτή, το χαρακτηριστικό του μοντέλου του μαθητή που αντιστοιχεί στο επίπεδο γνώσης του στη συγκεκριμένη έννοια δεν έχει την ελάχιστη δυνατή τιμή αλλά είναι μικρότερο από το προκαθορισμένο κατώφλι που καθορίζει την επαρκή γνώση της έννοιας.
- γ) *Ικανά προτεινόμενοι*: είναι οι σύνδεσμοι που οδηγούν σε ιστοσελίδες θεωρίας που δεν έχει διαβάσει ο μαθητής σε κάποια προηγούμενη αλληλεπίδρασή του με το ΔΕΔΣΓ και οι οποίες αντιστοιχούν σε έννοιες για τις οποίες ο μαθητής γνωρίζει σε ικανοποιητικό βαθμό όλες τις έννοιες που θεωρούνται προαπαιτούμενες (οι σύνδεσμοι του πίνακα περιεχομένων της θεωρίας που αντιστοιχούν σε όλες τις προαπαιτούμενες έννοιες είναι επισημειωμένοι ως «γνωστοί»).
- δ) *Όχι προτεινόμενοι*: είναι οι σύνδεσμοι που αντιστοιχούν σε έννοιες, για τις οποίες υπάρχουν μία ή περισσότερες προαπαιτούμενες έννοιες τις οποίες δεν γνωρίζει σε ικανοποιητικό βαθμό ο μαθητής. Δηλαδή το επίπεδο γνώσης για κάποια προαπαιτούμενη έννοια είναι μικρότερο από το προκαθορισμένο κατώφλι που καθορίζει την επαρκή γνώση της έννοιας.
- ❖ *Να παρέχει άμεση καθοδήγηση στο μαθητή (direct guidance)*. Με τη μέθοδο αυτή, ο μαθητής μπορεί ζητήσει από το ΔΕΔΣ να τον οδηγήσει στην ιστοσελίδα θεωρίας που αυτό θεωρεί ως την πλέον κατάλληλη προς μελέτη. Η επιλογή της καταλληλότερης ιστοσελίδας θεωρίας, μπορεί να πραγματοποιηθεί με την παρακάτω διαδικασία:
- α) Αν υπάρχουν ιστοσελίδες θεωρίας, οι σύνδεσμοι των οποίων επισημειώνονται ως «πλέον προτεινόμενοι», ο μαθητής οδηγείται σε κάποια από αυτές.
- β) Εάν δεν υπάρχει κάποια ιστοσελίδα που να είναι πλέον προτεινόμενη για το συγκεκριμένο μαθητή, ως πλέον κατάλληλη ιστοσελίδα επιλέγεται κάποια που ο σύνδεσμός της επισημειώνεται ως «ικανά προτεινόμενος».

- γ) Στην περίπτωση που ο μαθητής έχει ολοκληρώσει τη μελέτη της θεωρίας, το ΔΕΔΣ τον ενημερώνει σχετικά και τον προτρέπει να εξασκηθεί στην επίλυση ασκήσεων μέσω του ΔΕΔΣ.

9.5.2 Εξατομικευμένη Υποστήριξη κατά την Επίλυση Ασκήσεων

Επιπλέον, το μοντέλο του μαθητή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή εξατομικευμένης βοήθειας στο μαθητή είτε όταν αυτός καλείται να επιλέξει κάποια από τις ασκήσεις προς επίλυση, είτε όταν ελέγχει την απάντησή του σε κάποια άσκηση.

Συγκεκριμένα, στην επιλογή κάποιας άσκησης προς επίλυση, το ΔΕΔΣ μπορεί να βοηθά το μαθητή με το να επιλέγει κάποια άσκηση που θεωρεί ως πλέον κατάλληλη. Για παράδειγμα, το σύστημα μπορεί να επιλέγει και να παρουσιάζει στο μαθητή κάποια άσκηση που να εξετάζει κάποια από τις έννοιες το θεωρητικό τμήμα των οποίων έχει μελετήσει ο μαθητής. Παρόλα αυτά, για να μην είναι πολύ εύκολη η άσκηση, το ΔΕΔΣ μπορεί να επιλέξει κάποια άσκηση που εξετάζει μία έννοια για την οποία το χαρακτηριστικό του μοντέλου του μαθητή που σχετίζεται με το επίπεδο γνώσης του μαθητή είναι μικρότερο από το προκαθορισμένο κατώφλι που καθορίζει την επαρκή γνώση της έννοιας. Δηλαδή κάποια έννοια που ο μαθητής είτε δεν έχει χρησιμοποιήσει επαρκώς ή τη χρησιμοποιεί λανθασμένα σε ασκήσεις. Αν δεν υπάρχει κάποια τέτοια έννοια, το σύστημα μπορεί να επιλέγει κάποια άσκηση που σχετίζεται με μία έννοια για την οποία το χαρακτηριστικό του μοντέλου του μαθητή που σχετίζεται με την τάση του μαθητή να κάνει σφάλματα σε ασκήσεις έχει τη μεγαλύτερη τιμή. Επιπλέον, το ΔΕΔΣ μπορεί καθορίζει το επίπεδο δυσκολίας που πρέπει να έχει η άσκηση που θα παρουσιαστεί στο μαθητή ανάλογα με το επίπεδο γνώσης του μαθητή στην έννοια που εξετάζεται από την άσκηση. Για παράδειγμα, μπορεί να γίνει η υπόθεση ότι όσο μεγαλύτερο είναι το επίπεδο γνώσης του μαθητή στη συγκεκριμένη έννοια, τόσο δυσκολότερη θα είναι και η άσκηση που επιλέγεται προς επίλυση.

Επιπρόσθετα, το μοντέλο του μαθητή αποτελεί την πλέον κατάλληλη πηγή για την ευφυή ανάλυση των απαντήσεων του μαθητή σε ασκήσεις και την παροχή εξατομικευμένων μηνυμάτων ανάδρασης σε τυχόν λάθη του μαθητή. Συγκεκριμένα, το ΔΕΔΣ μπορεί χρησιμοποιεί τις πληροφορίες που καταγράφονται στο μοντέλο του μαθητή για να αποδώσει κάποιο λάθος του μαθητή σε κάποια αιτία. Μερικές φορές, το σφάλμα ενός μαθητή μπορεί να οφείλεται σε περισσότερες από μία αιτίες. Σε

τέτοιες περιπτώσεις, η έλλειψη πληροφοριών αναφορικά με το γνωστικό επίπεδο του μαθητή και την τάση αυτού να κάνει λάθη, δεν θα επέτρεπε στο ΔΕΔΣ να εξάγει συμπεράσματα σχετικά με την πιθανότερη αιτία του σφάλματος. Αν από την άλλη πλευρά, το ΔΕΔΣ διαθέτει ένα μοντέλο για το μαθητή που έκανε το σφάλμα, μπορεί να χρησιμοποιήσει τις πληροφορίες που είναι καταγεγραμμένες στο μοντέλο του μαθητή για να αποδώσει το λάθος στην πιο πιθανή αιτία. Για παράδειγμα, όπως παρουσιάστηκε στα ΔΕΔΣ που περιγράφηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, το ΔΕΔΣ θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει την πληροφορία αναφορικά με την τάση του μαθητή να κάνει σφάλματα σε κάθε θεωρητική έννοια για να θεωρήσει κάποια από τις αιτίες ως την πιθανότερη. Συγκεκριμένα, το ΔΕΔΣ θα μπορούσε να θεωρήσει ως πιθανότερη την αιτία για την οποία το χαρακτηριστικό που καταγράφει την τάση του μαθητή να κάνει σφάλματα που οφείλονται σε αυτήν την αιτία έχει τη μεγαλύτερη τιμή.

Τέλος, το ΔΕΔΣ μπορεί να χρησιμοποιήσει στοιχεία σχετικά με το γνωστικό επίπεδο του μαθητή για να καθορίσει το επίπεδο λεπτομέρειας των διαγνωστικών μηνυμάτων που παρουσιάζονται στο μαθητή όταν κάνει λάθη κατά την επίλυση ασκήσεων. Για παράδειγμα, το ΔΕΔΣ μπορεί να κάνει την ακόλουθη υπόθεση «όσο μεγαλύτερο είναι το γνωστικό επίπεδο του μαθητή στην έννοια που έχει χρησιμοποιηθεί λανθασμένα, τόσο λιγότερο λεπτομερές θα είναι το διαγνωστικό μήνυμα που παρουσιάζεται στο μαθητή αναφορικά με το λάθος του». Αν ο μαθητής αποτύχει να διορθώσει το λάθος του με τη βοήθεια του συγκεκριμένου μηνύματος, τότε την επόμενη φορά που θα ελέγξει την απάντησή του, το ΔΕΔΣ μπορεί να του παρέχει πιο λεπτομερές μήνυμα βοήθειας.

9.6 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκε το γενικό πλαίσιο αρχικοποίησης μοντέλων μαθητών ISM. Το γενικό πλαίσιο βασίζεται στη χρήση ενός καινοτομικού συνδυασμού των στερεοτύπων και του αλγορίθμου των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k -πλησιέστερων γειτόνων για να εκτιμά όσο το δυνατό ακριβέστερα κάποια χαρακτηριστικά του μαθητή όταν αυτός εγγράφεται στο ΔΕΔΣ. Η προσέγγιση της αρχικοποίησης μοντέλων μαθητών χρησιμοποιεί τη γνώση του ΔΕΔΣ αναφορικά με άλλους μαθητές που έχουν χρησιμοποιήσει το σύστημα για αρκετό χρονικό διάστημα. Τα μοντέλα αυτών των μαθητών έχουν προκύψει με βάση την παρατήρηση της πραγματικής συμπεριφοράς τους. Στη συνέχεια, με βάση τα

μοντέλα των μαθητών αυτών και το βαθμό ομοιότητάς τους με κάποιο νέο μαθητή το ΔΕΔΣ εξάγει συμπεράσματα για κάποια χαρακτηριστικά του νέου μαθητή.

Το γενικό πλαίσιο που παρουσιάστηκε είναι ανεξάρτητο του αντικειμένου που καλείται να διδάξει το ΔΕΔΣ. Συγκεκριμένα, στα πλαίσια της έρευνας που παρουσιάζεται στην παρούσα διατριβή, το γενικό πλαίσιο ISM εφαρμόστηκε σε δύο εντελώς διαφορετικές εφαρμογές: α) στο Web-PVT, το οποίο είναι ένα ΔΕΔΣ για τη διδασκαλία της Αγγλικής γλώσσας, και β) στο Web-EasyMath, που στοχεύει στη διδασκαλία των αλγεβρικών δυνάμεων μέσω διαδικτύου. Τα δύο αυτά γνωστικά πεδία έχουν μεγάλες διαφορές στα χαρακτηριστικά που μπορεί να επηρεάζουν τον τρόπο μάθησης. Κατά συνέπεια, η εφαρμογή του γενικού πλαισίου ISM στα δύο αυτά ΔΕΔΣ θεωρήθηκε ένα καλό μέτρο για την αξιολόγηση της γενικότητάς του.

Τέλος, στο κεφάλαιο αυτό περιγράφηκαν και κάποιοι πιθανοί τρόποι για τη χρησιμοποίηση του μοντέλου του μαθητή από το ΔΕΔΣ με σκοπό την παροχή εξατομικευμένης διδασκαλίας και ανάδρασης. Συγκεκριμένα, παρουσιάστηκαν κάποιες γενικές τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υποστήριξη του μαθητή όταν μελετά θεωρία και όταν λύνει ασκήσεις μέσω του ΔΕΔΣ. Οι τεχνικές αυτές έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς τόσο από το Web-PVT, όσο και από το Web-EasyMath. Κατά συνέπεια, είναι αρκετά γενικές και ανεξάρτητες του αντικειμένου που διδάσκεται από το ΔΕΔΣ.

10 Συμπεράσματα

10.1 Σύνοψη Ερευνητικού Έργου

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας και ιδιαίτερα της πληροφορικής και των επικοινωνιών αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία για την εκπαιδευτική δραστηριότητα. Ιδιαίτερα η τεχνολογία του διαδικτύου αποτελεί ένα μέσο για την παροχή δια βίου εκπαίδευσης οποτεδήποτε και οπουδήποτε. Για το λόγο αυτό πολλά εκπαιδευτικά ιδρύματα καθώς και μεγάλες εταιρείες έχουν εκδηλώσει μεγάλο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη διαδικτυακών εκπαιδευτικών εφαρμογών. Εξαιτίας της φύσης της εξ αποστάσεως εκπαίδευσης, η οποία μπορεί να πραγματοποιείται χωρίς την παρουσία κάποιου δασκάλου, είναι αναγκαίο να παρέχεται στον εκπαιδευόμενο όσο το δυνατό μεγαλύτερη υποστήριξη κατά τη μαθησιακή διαδικασία. Η υποστήριξη του μαθητή πρέπει να παρέχεται με τρόπο που να είναι προσαρμοσμένος στο γνωστικό επίπεδο και τις αδυναμίες του συγκεκριμένου μαθητή. Παρόλα αυτά, οι περισσότερες εκπαιδευτικές εφαρμογές που διατίθενται στον παγκόσμιο ιστό, στερούνται της αλληλεπιδραστικότητας και της προσαρμοστικότητας στις ανάγκες του μαθητή.

Η αλληλεπιδραστικότητα και η παροχή εξατομικευμένου περιβάλλοντος εργασίας είναι στοιχεία που διατίθενται από τα ΕΔΣ και από τα ΠΣΥ. Κατά συνέπεια, η ενσωμάτωση τεχνικών από τις δύο παραπάνω ερευνητικές περιοχές θα μπορούσε να οφελήσει ιδιαίτερα τις διαδικτυακές εκπαιδευτικές εφαρμογές. Τα συστήματα που προκύπτουν από την ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών σε διαδικτυακές εφαρμογές είναι τα ΔΕΔΣ. Τα ΕΔΣ και τα ΠΣΥ βασίζονται στη γνώση τους αναφορικά με το πεδίο που διδάσκεται και στο μοντέλο που διαθέτουν για κάθε μαθητή για να προσαρμόσουν το περιεχόμενο και τη διαδικασία της εκπαίδευσης στις ανάγκες του κάθε μαθητή. Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει ότι η μοντελοποίηση μαθητών είναι πολύ σημαντική για την παροχή εξατομικευμένης διδασκαλίας και στην περίπτωση των ΔΕΔΣ.

Το ερευνητικό έργο της παρούσας διατριβής επικεντρώνεται στα ΔΕΔΣ και στο σημαντικό ζήτημα της μοντελοποίησης μαθητών σε τέτοια συστήματα. Συγκεκριμένα, η έρευνα που πραγματοποιήθηκε αποσκοπούσε στον καθορισμό ενός γενικού πλαισίου μοντελοποίησης μαθητών σε ΔΕΔΣ. Η θεσμοθέτηση γενικών πλαισίων μοντελοποίησης μαθητών είναι μια περίπλοκη διαδικασία, εξαιτίας των διαφόρων περιορισμών που τίθενται από το γνωστικό αντικείμενο κάθε εκπαιδευτικής εφαρμογής. Γι' αυτό το λόγο, μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν πολλά γενικά πλαίσια μοντελοποίησης μαθητών. Επιπλέον, τα γενικά πλαίσια μοντελοποίησης χρηστών που έχουν αναπτυχθεί, όπως το UMT (Brajnik & Tasso 1994), το BGP-MS (Kobsa & Pohl 1995), το DOPPELGÄNGER (Orwant 1995), και το um (Kay 1995), δεν έχουν τη δυνατότητα να αντιμετωπίσουν τις ιδιαιτερότητες των εφαρμογών που στοχεύουν στην παροχή διδασκαλίας.

Στην διατριβή αυτή παρουσιάζεται ένα γενικό πλαίσιο για την αρχικοποίηση μοντέλων μαθητών σε ΔΕΔΣ, το οποίο ονομάζεται ISM (Tsiriga & Virvou 2003b). Το ISM χρησιμοποιεί έναν καινοτομικό συνδυασμό των στερεοτύπων και του αλγορίθμου των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k -πλησιέστερων γειτόνων για την ανάθεση αρχικών τιμών στα διάφορα χαρακτηριστικά που καταγράφονται στα μοντέλα νέων μαθητών. Η αρχικοποίηση του μοντέλου ενός νέου μαθητή πραγματοποιείται με βάση τη γνώση του συστήματος αναφορικά με άλλους μαθητές που έχουν ομοιότητες με το νέο μαθητή. Οι μαθητές αυτοί, όμως, έχουν χρησιμοποιήσει το σύστημα για αρκετό χρονικό διάστημα ώστε το μοντέλο τους να έχει κατασκευαστεί με βάση την πραγματική τους συμπεριφορά καθώς αλληλεπιδρούν με το ΔΕΔΣ. Η ομοιότητα μεταξύ των μαθητών υπολογίζεται με βάση κάποια χαρακτηριστικά αυτών που επηρεάζουν τη διαδικασία της μάθησης του γνωστικού αντικείμενου που διδάσκεται. Για παράδειγμα, ένα τέτοιο χαρακτηριστικό θα μπορούσε να είναι η τάξη στην οποία ανήκει ο μαθητής και κατ' επέκταση ο υπεύθυνος δάσκαλος αυτού. Σε διαφορετικά γνωστικά αντικείμενα, τα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τη μαθησιακή διαδικασία είναι διαφορετικά.

Για την απόδειξη της γενικότητας του, το ISM εφαρμόστηκε σε δύο Διαδικτυακά Ευφυή Διδακτικά Συστήματα για διαφορετικά γνωστικά αντικείμενα. Το πρώτο ΔΕΔΣ στόχευε στη διδασκαλία του γνωστικού πεδίου των Αγγλικών. Το ΔΕΔΣΓ αυτό ονομάζεται Web-PVT (Tsiriga & Virvou 2002a, 2002b). Το δεύτερο ΔΕΔΣ στο οποίο εφαρμόστηκε το ISM για την αρχικοποίηση μοντέλων μαθητών είναι το Web-EasyMath, ένα σύστημα για τη διδασκαλία των αλγεβρικών δυνάμεων (Tsiriga &

Virvou 2002c). Τα δύο αυτά γνωστικά αντικείμενα είναι πολύ διαφορετικά μεταξύ τους, τόσο αναφορικά με τα χαρακτηριστικά των μαθητών που μπορούν να επηρεάσουν τη μαθησιακή τους δραστηριότητα, όσο και ως προς τη διδακτική προσέγγιση και τη διαδικασία επίλυσης προβλημάτων του πεδίου. Κατά συνέπεια, η εφαρμογή του ISM σε δύο τόσο διαφορετικά γνωστικά αντικείμενα θεωρήθηκε ως ένα καλό μέτρο αξιολόγησης της γενικότητάς του.

Τα δύο ΔΕΔΣ που περιγράφονται στη συγκεκριμένη διατριβή αναπτύχθηκαν με βάση δύο υπάρχοντα αυτόνομα ΕΔΣ (PVT και EasyMath αντίστοιχα). Τα ΕΔΣ είχαν αξιολογηθεί από πραγματικούς τελικούς χρήστες και τα αποτελέσματα των αξιολογήσεων χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για την ανάπτυξη των διαδικτυακών εκδόσεων. Κάποια από τα τμήματα των αυτόνομων εφαρμογών αξιολογήθηκαν θετικά και κατά συνέπεια κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν και στις διαδικτυακές εκδόσεις των ΕΔΣ. Η ανάγκη για επαναχρησιμοποίηση τμημάτων των αυτόνομων εφαρμογών επηρέασε σημαντικά πολλές σχεδιαστικές αποφάσεις που ελήφθησαν κατά τη μεταφορά τους στο διαδίκτυο. Εκτός από την επαναχρησιμοποίηση τμημάτων των αυτόνομων εφαρμογών, κάποια τμήματα των ΔΕΔΣ σχεδιάστηκαν και ολοποιήθηκαν εξ αρχής. Τα νέα αυτά τμήματα βασίζονται σε τεχνολογίες που έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα κατάλληλες για τη διδασκαλία μέσω του παγκοσμίου ιστού, όπως η τεχνολογία των ΠΣΥ (π.χ. Boyle & Encarnacion 1994, Murray et al. 2000).

Το Web-PVT είναι ένα υπερμεσικό ευφυές σύστημα διδασκαλίας της παθητικής φωνής της Αγγλικής γλώσσας που είναι προσβάσιμο μέσω του παγκοσμίου ιστού (Virvou & Tsiriga 2001a, 2001b). Το Web-PVT, έχει σχεδιαστεί ώστε να χρησιμοποιεί τεχνικές τόσο από τα ΕΔΣ όσο και από τα ΠΣΥ για την παροχή εξατομικευμένης διδασκαλίας και υποστήριξης στο μαθητή. Το Web-PVT κατασκευάζει και διατηρεί ένα μοντέλο για κάθε μαθητή. Η αρχικοποίηση του μοντέλου ενός μαθητή που αλληλεπιδρά για πρώτη φορά με το σύστημα πραγματοποιείται με βάση το γενικό πλαίσιο ISM. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση του Web-PVT, το γενικό πλαίσιο ISM αρχικοποιεί τα μοντέλα νέων μαθητών με βάση την υπόθεση ότι μαθητές του ίδιου γνωστικού υποβάθρου στην Αγγλική γλώσσα, οι οποίοι έχουν την ίδια μητρική γλώσσα, γνωρίζουν τις ίδιες ξένες γλώσσες και είναι το ίδιο προοεκτικοί όταν λύνουν ασκήσεις, θα έχουν παρόμοιες επιδόσεις κατά την εκμάθηση Αγγλικών. Στη συνέχεια, το Web-PVT ενημερώνει το μοντέλο του εκάστοτε μαθητή με βάση τις ενέργειες του κατά τις επόμενες αλληλεπιδράσεις του με το σύστημα. Με βάση το

μοντέλο που διατηρεί το Web-PVT για κάθε μαθητή, παρέχει εξατομικευμένη υποστήριξη στους μαθητές, όταν αυτοί μελετούν θεωρία ή λύνουν ασκήσεις.

Μετά την ολοκλήρωση της ανάπτυξης του Web-PVT αξιολογήθηκε από πραγματικούς τελικούς χρήστες (εκπαιδευτικούς και μαθητές). Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν δύο εμπειρικές μελέτες. Η πρώτη μελέτη, αφορούσε στην αξιολόγηση της διαδικασίας αρχικοποίησης μοντέλων μαθητών του Web-PVT. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής ήταν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά και έδειξαν ότι η ικανότητα του συστήματος να αυτο-βελτιώνεται όσο χρησιμοποιείται από μαθητές οδήγησε στην κατασκευή ακριβέστερων αρχικών μοντέλων. Η δεύτερη εμπειρική μελέτη αξιολόγησης του Web-PVT στόχευε στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του να προάγει τη γνώση του μαθητή και να τον βοηθά ώστε να επιτύχει πιο αποδοτική αλληλεπίδραση με το σύστημα. Επιπλέον, αξιολογήθηκε το σύστημα και ως προς την ευχρηστία, τη φιλικότητα και τη χρησιμότητά του. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής έδειξαν ότι οι ευφείς δυνατότητες εξατομικεύσης του Web-PVT οδήγησαν τους μαθητές σε αυξημένο μαθησιακό αποτέλεσμα και αποδοτικότερη χρήση του συστήματος.

Το δεύτερο ΔΕΔΣ που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της έρευνας που περιγράφεται στην παρούσα διατριβή είναι το Web-EasyMath (Tsiriga & Virvou 2002d, 2002e). Το Web-EasyMath κατασκευάζει και διατηρεί ένα μοντέλο για κάθε μαθητή (Tsiriga & Virvou 2003a). Όμοια με το Web-PVT, η αρχικοποίηση του μοντέλου ενός νέου μαθητή στο Web-EasyMath πραγματοποιείται με βάση το γενικό πλαίσιο ISM. Στην περίπτωση αυτή, το ISM αρχικοποιεί τα μοντέλα νέων μαθητών με βάση την υπόθεση ότι οι μαθητές του ίδιου γνωστικού επιπέδου, που έχουν τον ίδιο βαθμό προσοχής όταν λύνουν ασκήσεις, που ανήκουν στην ίδια σχολική τάξη (και έχουν κατά συνέπεια τον ίδιο καθηγητή), και οι οποίοι είναι το ίδιο ικανοί στη χρήση απλών αριθμητικών πράξεων θα έχουν παρόμοια συμπεριφορά κατά την εκμάθηση των αλγεβρικών δυνάμεων. Επιπλέον, κάθε φορά που κάποιος μαθητής πραγματοποιεί κάποια ενέργεια κατά την αλληλεπίδρασή του με το Web-EasyMath (επισκέπτεται κάποια ιστοσελίδα θεωρίας ή λύνει κάποια άσκηση), το μοντέλο του συγκεκριμένου μαθητή ενημερώνεται με κατάλληλο τρόπο ώστε να αντανακλά την τρέχουσα κατάσταση της γνώσης και των αδυναμιών του.

Το Web-EasyMath χρησιμοποιεί τα στοιχεία που καταγράφονται στο μοντέλο του μαθητή για να προσαρμόζει τις διδακτικές αποφάσεις στις ανάγκες του μαθητή. Όμοια με το Web-PVT, το Web-EasyMath συμβουλευεται το μοντέλο του κάθε

μαθητή ώστε να τον υποστηρίζει τόσο κατά τη μελέτη της θεωρίας όσο και κατά την επίλυση ασκήσεων. Οι τρόποι με τους οποίους χρησιμοποιείται το μοντέλο του μαθητή για την παροχή εξατομικευμένης διδασκαλίας και υποστήριξης είναι όμοιοι με το Web-PVT. Κατά συνέπεια, οι διάφορες αποφάσεις που λαμβάνουν τα δύο συστήματα για την παροχή εξατομικευμένου περιβάλλοντος διδασκαλίας είναι γενικές και ανεξάρτητες του γνωστικού αντικείμενου που διδάσκεται από το σύστημα.

10.2 Συνεισφορά στην Ερευνητική Περιοχή

Το ερευνητικό έργο που περιγράφεται στην παρούσα διατριβή συνεισφέρει στην ευρύτερη ερευνητική περιοχή των διαδικτυακών εκπαιδευτικών εφαρμογών στους επόμενους τομείς. Πρωτίστως στον τομέα της μοντελοποίησης μαθητών και δευτερευόντως στα Διαδικτυακά ευφυή συστήματα διδασκαλίας γλώσσας και στην αξιολόγηση των ΔΕΔΣ.

10.2.1 Μοντελοποίηση της Εξατομικευμένης Μαθησιακής Διαδικασίας

Το ερευνητικό έργο που παρουσιάζεται στη συγκεκριμένη διατριβή έχει αντιμέτωποι κάποια ανοικτά ερευνητικά ζητήματα του τομέα μοντελοποίησης μαθητών, τα οποία περιγράφονται στο κεφάλαιο 3. Συγκεκριμένα, η συνεισφορά συνίσταται σε δύο κύρια σημεία. Το πρώτο σημείο αφορά στο ζήτημα της αρχικοποίησης των μοντέλων νέων μαθητών σε ΔΕΔΣ. Το δεύτερο ζήτημα σχετίζεται με την αναπαράσταση της εξέλιξης της γνώσης του μαθητή μέσα από τη αλληλεπίδρασή του με το ΔΕΔΣ.

Αναφορικά με την αρχικοποίηση των μοντέλων νέων μαθητών σε ΔΕΔΣ, η συνεισφορά έγκειται στη θεσμοθέτηση του γενικού πλαισίου αρχικοποίησης μοντέλων μαθητών ISM. Παρόλο που είναι αναγνωρισμένη η σημασία της αρχικοποίησης του μοντέλου ενός μαθητή, μέχρι σήμερα υπάρχει λίγη ερευνητική προσπάθεια στον τομέα αυτό της μοντελοποίησης μαθητών. Συγκεκριμένα, τα περισσότερα ΔΕΔΣ και ΕΔΣ που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα χρησιμοποιούν τετριμμένες ή απλοϊκές μεθόδους για την ανάθεση αρχικών τιμών στο μοντέλο ενός νέου μαθητή. Το γενικό πλαίσιο ISM έχει εφαρμοστεί σε δύο ΔΕΔΣ με διαφορετικά διδακτικά αντικείμενα: α) στο Web-PVT (ΔΕΔΣΓ) και β) στο Web-EasyMath (ΔΕΔΣ για μαθηματικά). Η εφαρμογή του γενικού πλαισίου σε δύο τόσο διαφορετικά πεδία

αποτελέσει μία καλή μέθοδο για την απόδειξη της γενικότητάς του. Το γενικό πλαίσιο ISM χρησιμοποιεί έναν καινοτομικό συνδυασμό των στερεοτύπων και του αλγορίθμου των σταθμισμένων με βάση την απόσταση k -πλησιότερων γειτόνων. Η χρήση του συγκεκριμένου συνδυασμού για την αρχικοποίηση μοντέλων μαθητών αποτελεί μία συνεισφορά στον τομέα της μοντελοποίησης μαθητών. Επιπρόσθετα, οι περισσότερες προσεγγίσεις μοντελοποίησης μαθητών είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με το γνωστικό αντικείμενο που διδάσκεται από το εκπαιδευτικό λογισμικό. Κατά συνέπεια, η θεσμοθέτηση ενός γενικού πλαισίου μοντελοποίησης μαθητών που είναι ανεξάρτητο του διδασκόμενου αντικείμενου αποτελεί μία επιπλέον συνεισφορά της έρευνας που παρουσιάζεται στην παρούσα διατριβή.

Επιπλέον, ένα άλλο πολύ σημαντικό ζήτημα κατά τη διαδικασία ενημέρωσης του μοντέλου ενός μαθητή είναι ο παράγοντας χρόνος. Παρόλο που έχει αναγνωριστεί η σημασία της χρονικής παραμέτρου εξαιτίας της εξελικτικής φύσης της διαδικασίας της μάθησης, πολύ λίγα ΕΔΣ πραγματοποιούν κάποιο διαχωρισμό μεταξύ της «παλιάς» και της «νέας» γνώσης του μαθητή (Giangrandi & Tasso 1996, Chiu & Webb 1998, Webb & Kuzmycz 1998). Στα πλαίσια της έρευνας που παρουσιάζεται (και συγκεκριμένα στο *Web-EasyMath*) χρησιμοποιήθηκε μία τεχνική «γήρανσης» (*data ageing mechanism*) για την μοντελοποίηση της χρονικής παραμέτρου στα μοντέλα των μαθητών (Virvou & Tsiriga 2001d). Η τεχνική «γήρανσης» είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για την αναπαράσταση της τρέχουσας κατάστασης του μαθητή, εξαιτίας της ιδιότητάς της να αυξάνει το βάρος της πληροφορίας που σχετίζεται με την τρέχουσα συμπεριφορά του μαθητή, περιορίζοντας τα συμπεράσματα που έχει εξαγει το σύστημα βάσει της παλαιότερης συμπεριφοράς του μαθητή (Webb & Kuzmycz 1998).

Τέλος, παρουσιάζονται και κάποιοι γενικοί τρόποι χρησιμοποίησης των μοντέλων των μαθητών για την εξατομίκευση του περιβάλλοντος διδασκαλίας που παρέχει το ΔΕΔΣ. Συγκεκριμένα, παρουσιάστηκαν κάποιες γενικές τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υποστήριξη του μαθητή όταν μελετά θεωρία και όταν λύνει ασκήσεις μέσω του ΔΕΔΣ. Οι προτεινόμενες χρήσεις που περιγράφονται δίνουν παραδείγματα των δυνατοτήτων που μπορεί να έχει ένα ΔΕΔΣ που διατηρεί ένα μοντέλο για κάθε μαθητή που αλληλεπιδρά με αυτό. Οι συγκεκριμένες δυνατότητες έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο στο *Web-PVT* όσο και στο *Web-EasyMath* και είναι κατά συνέπεια αρκετά γενικές και ανεξάρτητες του αντικείμενου που διδάσκεται από το ΔΕΔΣ. Επιπλέον, σύμφωνα με την αξιολόγηση του *Web-PVT*, οι συγκεκριμένες δυνατότητες εξατομίκευσης φάνηκε να έχουν

θετική επίδραση τόσο στο μαθησιακό αποτέλεσμα όσο και στην αποδοτικότερη χρήση του συστήματος από τους μαθητές.

10.2.2 Διαδικτυακά Ευφυή Διδακτικά Συστήματα για τη Διδασκαλία Γλωσσών

Η συνεισφορά του ερευνητικού έργου της παρούσας διατριβής στον τομέα των διαδικτυακών συστημάτων για τη διδασκαλία κάποιας γλώσσας έγκειται στην ανάπτυξη του Web-PVT. Το Web-PVT είναι ένα ΔΕΔΣΓ για το αντικείμενο της παθητικής φωνής της Αγγλικής γλώσσας. Παρόλο που τα ΕΔΣΓ είναι ένα παράδειγμα ΕΔΣ που θα μπορούσαν να ωφεληθούν ιδιαίτερα από την τεχνολογία του διαδικτύου και του παγκοσμίου ιστού, μέχρι σήμερα, δεν υπάρχουν πολλά ΔΕΔΣΓ. Τα περισσότερα ΔΕΔΣΓ που έχουν αναπτυχθεί χρησιμοποιούν τεχνικές άμεσα υιοθετημένες από τα αυτόνομα ΕΔΣ, ώστε να παρέχουν εξατομικευμένη διδασκαλία. Πολύ λίγα είναι αυτά που κάνουν χρήση τεχνικών των ΠΣΥ ώστε να προσαρμόζουν το περιβάλλον διδασκαλίας στις ανάγκες των μαθητών (Gampet & Knapp 2002).

Κατά συνέπεια, εξαιτίας του πολύ περιορισμένου αριθμού των ΔΕΔΣΓ, η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου τέτοιου συστήματος αποτελεί σημαντική συνεισφορά στον ερευνητικό τομέα. Η συνεισφορά αποκτά ακόμη μεγαλύτερη σημασία εξαιτίας του γεγονότος ότι το Web-PVT είναι από τα λίγα ΔΕΔΣΓ που χρησιμοποίησε τεχνικές τόσο των ΕΔΣ όσο και των ΠΣΥ για την παροχή εξατομικευμένης διδασκαλίας και υποστήριξης στους μαθητές. Τα πορίσματα που προέκυψαν από την ανάπτυξη του Web-PVT καθώς και οι προσεγγίσεις που ακολουθήθηκαν για κάθε τμήμα του ΔΕΔΣΓ μπορούν να αξιοποιηθούν για να διευκολύνουν την ανάπτυξη νέων εκπαιδευτικών συστημάτων για τη διδασκαλία γλωσσών.

10.2.3 Αξιολόγηση ΔΕΔΣ

Είναι αναγνωρισμένο ότι δεν μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με το κατά πόσο ένα ευφύες σύστημα είναι καλύτερο από ένα μη ευφύες χωρίς τη διεξαγωγή κάποιας μελέτης αξιολόγησης (Chin 2001). Παρόλα αυτά, σύμφωνα με τη μελέτη της βιβλιογραφίας που διεξήχθη παρατηρήθηκε ότι δεν υπάρχουν πολλές αναφορές σε τέτοιου είδους μελέτες στη βιβλιογραφία των ΔΕΔΣ. Επιπρόσθετα, οι περισσότερες από τις μελέτες αξιολόγησης των ΔΕΔΣ επικεντρώνονται στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας μίας μόνο προσαρμοστικής δυνατότητας του συστήματος, π.χ. την προσαρμοστική υποστήριξη κατά την πλοήγηση (Specht 1998,

Brusilovsky & Eklund 1998, Calvi 2000). Παρόλα αυτά, πολλοί είναι οι ερευνητές που υποστηρίζουν ότι είναι αναγκαία η συνολική αξιολόγηση των ΕΔΣ (π.χ. Barker et al. 2002). Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, όπως έχει αναγνωριστεί και από άλλους ερευνητές (π.χ. Eklund & Sinclair 2000, Mitrovic et al. 2002), είναι εμφανής η ανάγκη για περαιτέρω έρευνα στην κατεύθυνση της αξιολόγησης των ΔΕΔΣ.

Στα πλαίσια της έρευνας που παρουσιάζεται σε αυτή τη διατριβή πραγματοποιήθηκε μία εκτενής αξιολόγηση του Web-PVT. Η προσέγγιση που ακολουθείται για την αξιολόγηση του Web-PVT κινείται στα ίδια πλαίσια με τις προσεγγίσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση και άλλων ΕΔΣ (π.χ. Shute 1995, Webb & Kuzmycz 1996, Sison et al. 1998). Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν δύο εμπειρικές μελέτες, στις οποίες συμμετείχαν τόσο μαθητές, όσο και καθηγητές Αγγλικών.

Στην πρώτη εμπειρική μελέτη, αξιολογήθηκε το υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών του Web-PVT και συγκεκριμένα η προσέγγιση που ακολουθείται για την αρχικοποίηση των μοντέλων νέων μαθητών. Η συγκεκριμένη αξιολόγηση θεωρήθηκε πολύ σημαντική, αφού η μεθοδολογία αρχικοποίησης του μοντέλου του μαθητή είναι το βασικό καινοτομικό στοιχείο του ΔΕΔΣΓ. *Τα ευρήματα της συγκεκριμένης μελέτης έδειξαν ότι η ικανότητα του υποσυστήματος μοντελοποίησης μαθητών του Web-PVT να αυτοβελτιώνεται όσο χρησιμοποιείται από μαθητές οδήγησε στην κατασκευή καλύτερων και πιο εξατομικευμένων αρχικών μοντέλων.*

Επιπλέον, για να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα του συστήματος στην παροχή εξατομικευμένης διδασκαλίας καθώς και η επίδραση αυτής της εξατομικεύσεως στους μαθητές, πραγματοποιήθηκε μία δεύτερη εμπειρική μελέτη αξιολόγησης του Web-PVT. Η συγκεκριμένη μελέτη στόχευε στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του Web-PVT να προάγει τη γνώση του μαθητή, και να τον βοηθά ώστε να επιτύχει πιο αποδοτική αλληλεπίδραση με το ΔΕΔΣΓ. Επιπλέον, σε αυτή τη φάση αξιολογήθηκε το σύστημα και ως προς την ευχρηστία, τη φιλικότητα και τη χρησιμότητά του. *Η συνεισφορά αυτής της μελέτης αξιολόγησης είναι ότι επιβεβαίωσε κάποιες από τις θετικές ή/και αρνητικές επιδράσεις των ευφρών δυνατοτήτων των ΔΕΔΣ. Επιπλέον, τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης, οδήγησαν στην εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με ζητήματα που παραμένουν ανοικτά. Για παράδειγμα, όπως προέκυψε από τη μελέτη, οι δυνατότητες εξατομικεύσεως της διδασκαλίας οδήγησε σε στατιστικά σημαντική αύξηση του μαθησιακού αποτελέσματος. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα είναι*

σημαντικό, διότι σε αρκετές παρόμοιες μελέτες δεν υπήρχε σημαντική αύξηση του μαθησιακού αποτελέσματος (π.χ. Brusilovsky & Eklund 1998, Calvi 2000).

10.3 Ανοικτά Ερευνητικά Θέματα

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται πιθανοί τρόποι με τους οποίους μπορεί να επεκταθούν στο μέλλον τα αποτελέσματα της έρευνας της παρούσας διατριβής. Συγκεκριμένα, αναφέρονται πιθανές επεκτάσεις σε δύο βασικές κατευθύνσεις: α) στη μοντελοποίηση μαθητών, και β) στην αξιολόγηση του ΔΕΔΣΓ.

10.3.1 Ανοικτά Ερευνητικά Θέματα στη Μοντελοποίηση της Εξατομικευμένης Μαθησιακής Διαδικασίας

Υπάρχουν πολλοί πιθανοί τρόποι για τη βελτίωση της προσέγγισης μοντελοποίησης μαθητών που παρουσιάζεται σε αυτή τη διατριβή. Σύμφωνα με την τρέχουσα έκδοση του γενικού πλαισίου αρχικοποίησης μοντέλων μαθητών ISM, το ΔΕΔΣ μπορεί να εξάγει συμπεράσματα αναφορικά με κάποια χαρακτηριστικά ενός νέου μαθητή που λαμβάνουν τιμές εντός ενός συνεχούς συνόλου πραγματικών αριθμών. Σε μία μελλοντική έκδοση του γενικού πλαισίου, αυτό θα μπορούσε να επεκταθεί ώστε να μπορεί να διαχειρίζεται και χαρακτηριστικά που λαμβάνουν τιμές από ένα απαριθμητό σύνολο. Για παράδειγμα, θα μπορούσε να εξάγει συμπεράσματα αναφορικά με τις προτιμήσεις των μαθητών στον τρόπο με τον οποίο μαθαίνουν με βάση ένα απαριθμητό σύνολο πιθανών τρόπων διδασκαλίας (π.χ. μάθηση μέσω παραδειγμάτων, μελέτη της θεωρίας, κ.λπ.).

Επιπλέον, το γενικό πλαίσιο ISM προτείνει την χρήση προκαθορισμένων στερεοτύπων που αναφέρονται στο γνωστικό επίπεδο των μαθητών στο αντικείμενο που διδάσκεται από το ΔΕΔΣ. Τα στερεότυπα αυτά παρέχονται χειρονακτικά κατά την ανάπτυξη του ΔΕΔΣ και δεν μπορούν να τροποποιηθούν αυτόματα από το σύστημα. Μία πιθανή επέκταση του γενικού πλαισίου θα μπορούσε να είναι η αυτοματοποίηση της διαδικασίας καθορισμού των στερεοτύπων. Τέτοιες προσεγγίσεις έχουν προταθεί από τους Aïmeur et al. (2002) για τη μοντελοποίηση μαθητών και από τους Paliouras et al. (1999) για τη μοντελοποίηση χρηστών. Οι συγκεκριμένες προσεγγίσεις χρησιμοποιούν μεθόδους μηχανικής μάθησης για τη δυναμική κατασκευή των στερεοτύπων με βάση τη γνώση του συστήματος αναφορικά με άλλους χρήστες.

Τέλος, το γενικό πλαίσιο θα μπορούσε να επεκταθεί ώστε να προτείνει κάποια γενική μέθοδο ενημέρωσης του μοντέλου του μαθητή. Μία πιθανή τέτοια μέθοδος θα μπορούσε να χρησιμοποιεί την τεχνική «γήρανσης» που χρησιμοποιήθηκε στο Web-EasyMath ώστε να αναπαριστά και τη διαδικασία εξέλιξης της γνώσης του μαθητή.

10.3.2 Ανοικτά Ερευνητικά Θέματα στην Αξιολόγηση του ΔΕΔΣΓ

Οι μελέτες που πραγματοποιήθηκαν μετά την ολοκλήρωση του Web-PVT στόχευαν στην αξιολόγηση του υποσυστήματος μοντελοποίησης μαθητών του ΔΕΔΣΓ, καθώς και των δυνατοτήτων του συστήματος να εξατομικεύει το περιβάλλον διδασκαλίας στις ανάγκες και στο γνωστικό επίπεδο του εκάστοτε μαθητή. Στην πρώτη μελέτη που αφορούσε στο υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών αξιολογήθηκαν τα μοντέλα μαθητών από καθηγητές Αγγλικών σε διάφορες φάσεις χρησιμοποίησης του συστήματος. Στο μέλλον, η συγκεκριμένη μελέτη μπορεί να συνεχιστεί με σκοπό τη διερεύνηση της βελτίωσης του υποσυστήματος μοντελοποίησης μαθητών του Web-PVT σε πιο μακροχρόνια βάση. Επιπρόσθετα, στη μελέτη που διεξήχθη συμμετείχαν μαθητές μικρής ηλικίας (πέμπτης και έκτης τάξης δημοτικού). Εξαιτίας αυτού του γεγονότος θεωρήθηκε ως μη ικανοποιητικός τρόπος αξιολόγησης να ερωτηθούν οι ίδιοι οι μαθητές κατά πόσο συμφωνούν με το μοντέλο που κατασκευάζει το σύστημα γι' αυτούς. Στο μέλλον, μπορεί να πραγματοποιηθεί μία νέα μελέτη με τη συμμετοχή μαθητών μεγαλύτερης ηλικίας, οι οποίοι έχουν καλύτερη επίγνωση της γνώσης και των αδυναμιών τους. Σε μία τέτοια μελέτη, θα μπορούσαν και οι ίδιοι οι μαθητές να εκφράσουν τη συμφωνία τους με το προσωπικό τους μοντέλο, όπως αυτό προκύπτει από το Web-PVT.

Στη δεύτερη εμπειρική μελέτη αξιολογήθηκε η αποτελεσματικότητα του Web-PVT να προάγει τη γνώση του μαθητή, και να τον βοηθά ώστε να επιτύχει πιο αποδοτική αλληλεπίδραση με το ΔΕΔΣΓ. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης εμπειρικής μελέτης, η δυνατότητα του συστήματος να προσαρμόζεται στο γνωστικό επίπεδο και στις αδυναμίες του κάθε μαθητή οδήγησε σε καλύτερο μαθησιακό αποτέλεσμα και σε αποδοτικότερη χρήση του συστήματος από τους μαθητές. Παρόλα αυτά, η μελέτη αυτή θα μπορούσε να επεκταθεί ώστε να μπορέσουμε να εξαγάγουμε συμπεράσματα αναφορικά με το ποιοι μαθητές ήταν αυτοί που οφελήθηκαν περισσότερο από τις δυνατότητες εξατομικεύσης. Αυτό θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί με την μελέτη των επιδράσεων των προσαρμοστικών αποφάσεων του ΔΕΔΣ σε κάθε ένα από τα στερεότυπα μαθητών που υποστηρίζονται. Επιπλέον,

θα μπορούσαν να εξεταστούν και παράγοντες που σχετίζονται με το κατά πόσο οι μαθητές εμπιστεύονται τις αποφάσεις του ΔΕΔΣ.

Βιβλιογραφία

- Aïmeur, E., Blanchard, E. Brassard, G. & Gamps, S. (2001). QUANTI: a Multidisciplinary Knowledge-based System for Quantum Information Processing. In *Proceedings of the International Conference on Computer Aided Learning in Engineering Education (CALIE'01)*, pp. 51-57.
- Aïmeur, E., Brassard, G., Dufort, H. & Gamps, S. (2002). CLARISSE: a machine learning tool to initialize student models. In Cerri, S. A., Gouardères, G. & Paraguaçu, F. (Eds.) *Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 2363, pp. 718-728, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Aka, M. & Frasson, C. (2002). ASIMIL: Overview of a Distance Learning Flight-Training System. In Cerri, S. A., Gouardères, G. & Paraguaçu, F. (Eds.) *Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 2363, pp. 484-495, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Albrecht, F., Koch, N. & Tiller, T. (2000). SmexWeb: an Adaptive Web-based Hypermedia Teaching System. *Journal of Interactive Learning Research, Special Issue on Intelligent Systems/Tools in Training and Lifelong Learning*, **11** (3-4), pp. 367-388.
- Alpert, S. R., Singley, M. K. & Fairweather, P. G. (1999). Deploying Intelligent Tutors on the Web: An Architecture and an Example. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, **10**, pp. 183-197.
- Amory, A., Naicker, K., Vincent, J. & Adams, C. (1998). Computer Games as a Learning Resource. In *Proceedings of ED-MEDIA, ED-TELECOM 98, World Conference on Education Multimedia and Educational Telecommunications*. Vol. 1, pp. 50-55, Charlottesville VA: AACE.
- Amory, A., Naicker, K., Vincent, J. & Adams, C. (1999). The Use of Computer Games as an Educational Tool: Identification of Appropriate Game Types and Game Elements. *British Journal of Educational Technology*, **30** (4), pp. 311-321.
- Anderson, J., Corbett, A., Koedinger, K. & Palletier, R. (1995). Cognitive Tutors: Lessons Learned. *The Journal of the Learning Sciences*, **4** (2), pp. 167-207.
- Arroyo, I., Beck, J., Woolf, B., Beaf, C. & Schultz, K. (2002). Macroadapting Animalwatch to Gender and Cognitive Differences with Respect to Hint Interactivity and Symbolism. In

- Cerri, S. A., Gouardères, G. & Paraguaçu, F. (Eds.) *Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 2363, pp. 574-583, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Arruabarrena, R., López-Cuadrado, J., Gutriérrez, J. & Vadillo, J. (2002). On Evaluating Adaptive Systems for Education. In De Bra, P., Brusilovsky, P. & Conejo, R. (Eds.) *Proceedings of AH2002, Lecture Notes on Computer Science*, Vol. 2347, pp. 363-367, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Baffes, P. & Mooney, R. (1996a). Refinement-based student modeling and automated bug library construction. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, 7 (1), pp. 75-116.
- Barker, P. & Yeates, H. (1985). *Introducing Computer-Assisted Language Learning*. London: Prentice-Hall International.
- Barker, T., Jones, S., Britton, C. & Messer, D. (2002). The Use of Co-operative Student Model of Learner Characteristics to Configure a Multimedia Application. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 12 (2-3), pp. 207-241.
- Beaumont, I. (1994). User Modeling in the Interactive Anatomy Tutoring System ANATOM-TUTOR. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 4 (1), pp. 21-45.
- Beck, J. & Woolf, B. (2000). High-level student modeling with machine learning. In Gauthier, G., Frasson, C. & VanLehn, K. (Eds.) *Proceedings of the Fifth International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 1839, pp. 584-593, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Beck, J., Stern, M. & Woolf, B. (1997). Using the Student Model to Control Problem Difficulty. In Jameson, A., Paris, C. & Tasso, C. (Eds.) *Proceedings of the 6th International Conference on User Modeling (UM 97)*, pp. 277-288, Vienna New York: Springer.
- Beeson, M. (1989). The user model in MATHPERT: an expert system for learning mathematics. In Bierman, D., Breuker, J. & Sandberg, J. (Eds.) *Proceedings of the 4th International Conference on Artificial Intelligence and Education*, pp. 9-14, Amsterdam: IOS.
- Belkada, S., Cristea, A. & Okamoto, T. (2001). Measuring Knowledge Transfer Skills by Using Constrained-Student Modeler Autonomous Agent. In Okamoto, T., Hartley, R., Kinshuk, & Klus, J. (Eds.) *Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies: Issues, Achievements and Challenges*, pp. 131-134, Los Alamitos: IEEE Computer Society Press.
- Bennett, C. & Pilkington, R. (2001). Using a Virtual Learning Environment in Higher Education to Support Independent and Collaborative Learning. In Okamoto, T., Hartley, R., Kinshuk, & Klus, J. (Eds.) *IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies: Issues, Achievements and Challenges*, pp. 285-288, Los Alamitos NY: IEEE Computer Society Press.

- Bertels, K. (1994). A Dynamic View on Cognitive Student Modeling in Computer Programming. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, 5 (1), pp. 85-105.
- Boehm, B. (1988). A Spiral Model of Software Development and Enhancement. *IEEE Computer*, 21 (5), pp. 61-72.
- Boehm, B. (1996). Anchoring the Software Process. *IEEE Software*, 13 (4), pp. 73-82.
- Bontcheva, K. (2002). Adaptivity, Adaptability, and Reading Behaviour: Some Results from the Evaluation of a Dynamic Hypertext System. In De Bra, P., Brusilovsky, P. & Conejo, R. (Eds.) *Proceedings of AH2002, Lecture Notes on Computer Science*, Vol. 2347, pp. 69-78, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Booch, G., Jacobson, I., & Rumbaugh, J. (1997). *Version 1.0 of the Unified Modelling Language*, available online: <http://www.rational.com/uml/references/docset.html>.
- Bos, E. & Van de Plassche, J. (1994). A Knowledge-Based, English Verb-Form Tutor. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, 5 (1), pp. 107-129.
- Boticario, J., Gaudioso, E. & Hernandez, F. (2000). Adaptive Navigation Support and Adaptive Collaboration Support in WebDL. In P. Brusilovsky, O. Stock & C. Strapparava (Eds.) *Proceedings of the First International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH 2000), Lecture Notes in Computer Science*, Vol 1892, pp. 51-61, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Boyle, C. & Encarnacion, O. (1994). Metadoc: An adaptive hypertext reading system. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 4, pp. 1-19.
- Brajnik, G. & Tasso, C. (1994). A Shell for Developing non-monotonic User Modeling Systems. *International Journal of Human-Computer Studies*, 40, pp. 31-62.
- Brown J.S. & Burton R.R. (1978). Diagnostic Models for Procedural bugs in Basic Mathematical Skills. *Cognitive Science*, 2, pp. 155-191.
- Brown, J.S., Burton, R.R. & deKleer, J. (1982). Pedagogical, Natural Language and Knowledge Engineering Techniques in SOPHIE I, II and III. In Sleeman, D.H. & Brown, J.S. (Eds.) *Intelligent Tutoring Systems*, pp. 227-282, London: Academic Press.
- Brusilovsky, P. (1996). Methods and Techniques of Adaptive Hypermedia. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 6 (2-3), pp. 87-129.
- Brusilovsky, P. (1999). Adaptive and Intelligent Technologies for Web-based Education. *Künstliche Intelligenz*, 4, pp. 19-25.
- Brusilovsky, P. (2001). Adaptive Hypermedia. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11 (1-2), pp. 87-110.
- Brusilovsky, P. & Eklund, J. (1998). A Study of User Model Based Link Annotation in Educational Hypermedia. *Journal of Universal Computer Science*, 4 (4), pp. 429-448.

- Brusilovsky, P. & Pesin, L. (1998). Adaptive Navigation Support in Educational Hypermedia: An Evaluation of the ISIS Tutor. *Journal of Computing and Information Technology*, 6 (1), pp. 27-38.
- Brusilovsky, P., Schwarz, E. & Weber, G. (1996). ELM-ART: an Intelligent Tutoring System on the World Wide Web. In Frasson, C., Gutier, A. & Lesgold, A. (Eds.) *Proceedings of the 3rd International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, pp. 261-269, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag
- Brusilovsky, P. & Su H. (2002). Adaptive Visualization Component of a Distributed Web-based Adaptive Educational System. In Cerri, S. A., Gouardères, G. & Paraguaçu, F. (Eds.) *Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 2363, pp. 229-238, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Burns, H.L. & Capps, C.G. (1988). Foundations of Intelligent Tutoring Systems: An Introduction. In Polson, M.C. & Richardson, J.J. (Eds.) *Foundations of Intelligent Tutoring Systems*, Hillsdale NJ: Lawrence Erlbaum.
- Burton, R. (1982). Diagnosing bugs in a simple procedural skill. In Sleeman, D. & Brown, L. (Eds.) *Intelligent Tutoring Systems*, pp. 157-183, London: Academic Press.
- Burton, R.R., & Brown, J.S. (1976). A Tutoring and Student Modeling Paradigm for Gaming Environments. In Colman, R. & Lorton, P.Jr. (Eds.) *Computer Science and Education*, ACM SIGCSE Bulletin, 8 (1), pp. 236-246.
- Burton, R.R. & Brown, J.S. (1982). An Investigation of Computer Coaching for Informal Learning Activities. In Sleeman, D.H. & Brown, J.S. (Eds.) *Intelligent Tutoring Systems*, pp. 79-98, London: Academic Press.
- Calvi, L. (2000). Formative Evaluation of Adaptive CALLware: a Case Study. In P. Brusilovsky, O. Stock & C. Strapparava (Eds.) *Proceedings of the First International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH 2000)*, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol 1892, pp. 276-279, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Calvi, L. & De Bra, P. (1997). Proficiency-Adapted Information Browsing and Filtering in Hypermedia Educational Systems. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 7 (4), pp. 257-277.
- Carbonell, J.R. (1970). AI in CAI: An Artificial Intelligence Approach to Computer Aided Instruction. *IEEE Transactions on Man-Machine Systems*, 11, pp. 190-202.
- Caro, R., Pulido, E. & Rodríguez, P. (1999). Dynamic Generation of Adaptive Internet-based Courses. *Journal of Network and Computer Applications*, 22, pp. 249-257.
- Carro, R.M., Pulido, E. & Rodríguez, P. (2001). TANGOW: a Model for Internet Based Learning. *International Journal of Continuing Engineering Education and Life-Long Learning*, 11 (1/2).

- Carr, B. & Goldstein, I.P. (1977). *Overlays: a Theory of Modeling for Computer Aided Instruction*. AI MEMO, Vol. 406, Cambridge MA: MIT.
- Chin, D. (2001). Empirical Evaluation of User Models and User Adapted Systems. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11 (1/2), pp. 181-194.
- Chiu, B.C. & Webb, G.I. (1998). Using decision trees for agent modeling: improving prediction performance. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 8 (1-2), pp. 131-152.
- Clansy, W.J. (1987). *Knowledge-Based Tutoring: The GUIDON Program*, Cambridge Massachusetts: MIT Press.
- Conati, C., Gertner, A., VanLehn, K. & Druzdzel, M. (1997). On-line Student Modelling for Coached Problem Solving Using Bayesian Networks. In Jameson, A., Paris, C. & Tasso, C. (Eds.) *Proceedings of the 6th International Conference on User Modeling (UM 97)*, pp. 231-242, Vienna New York: Springer.
- Collins, A. & Stevens, A.L. (1982). Goals and Strategies of Inquiry Teachers. In Glaser (Ed.) *Advances in Instructional Psychology II*, pp. 65-119, Hillsdale NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cover, T. & Hart, P. (1967). Nearest Neighbor Pattern Classification. *IEEE Transactions on Information Theory*, 13 (1), pp. 21-27.
- Cristea, A., Okamoto, T. & Cristea P. (2000). MyEnglishTeacher - An Evolutionary, Web-based, multi-Agent Environment for Academic English Teaching. *Congress on Evolutionary Computation*, pp. 1345-1353.
- Dasarathy, B. (1991). *Nearest Neighbor (NN) Norms: NN Pattern Classification Techniques*. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press.
- da Silva, P., Van Durm, R., Hendriks, K., Duval, E. & Olivie, H. (1997). A simple model for adaptive courseware navigation. In Lobodzinski S. & Tomek I. (Eds.) *Proceedings of WebNet '97, World Conference of the WWW, Internet and Intranet*, pp. 959-960 Charlottesville VA: AACE.
- da Silva, P., Van Durm, R., Duval, E. & Olivie, H. (1998). Concepts and documents for adaptive educational hypermedia: a model and a prototype. In *Proceedings of the 2nd Workshop on Adaptive Hypertext and Hypermedia*.
- De Bra, P. (1996). Teaching Hypertext and Hypermedia through the Web. In *Proceedings of WebNet'96, World Conference of the Web Society*, pp. 130-135, Charlottesville VA: AACE.
- De Bra, P. (2000). Pros and Cons of Adaptive Hypermedia in Web-based Education. *Journal of CyberPsychology and Behavior*, 3 (1), pp. 71-77.
- De Bra, P., Houben, G. J. & Wu, H. (1999). AHAM: A Dexter-based Reference Model for Adaptive Hypermedia. In *Proceedings of the 10th ACM Conference on Hypertext and Hypermedia*, pp. 147-156, New York: ACM Inc.

- De Koning, K., Bredeweg, B., Breuker, J., Wielinga, B. (2000). Model-based Reasoning about Learner Behaviour. *Artificial Intelligence*, **117**, pp. 173-229.
- de La Passadiere, B. & Durfesne, A. (1992). Adaptive Navigational Tools for Educational Hypermedia. In Tomek, I. (ed.) *Computer Assisted Learning*, pp. 555-567, NY: Springer-Verlag.
- Dillenbourg, P. & Self, J. (1992). A Framework for Learner Modelling. *Interactive Learning Environments*, **2** (2), pp. 111-137.
- Dix, A., Finlay, J., Abowd, G. & Beale, R. (1993). *Human-Computer Interaction*, New York: Prentice-Hall.
- Dudani, S. (1976). The Distance-Weighted k-Nearest-Neighbor Rule. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, **6** (4), pp. 325-327.
- Eklund, J. & Sinclair, K. (2000). An Empirical Appraisal of the Effectiveness of Adaptive Interfaces for Instructional Systems. *Educational Technology and Society*, **3** (4), pp. 165-177.
- Emde, W. & Wettshereck, D. (1996). Relational Instance-Based Learning. In Saitta, L. (ed.) *Proceedings of the 13th International Conference on Machine Learning*, pp. 122-130.
- Ebner, T., Magele, C. & Dietinger, T. (1999). Design and Implementation of Interactive, Web-based Courses. In de Bra, P. & Leggett, J. (Eds.) *Proceedings of WebNet 99 World Conference on the WWW and Internet*, pp. 319-324, Charlottesville VA: AACE.
- Elsom-Cook, M. (1988). Guided Discovery Tutoring and Bounded User Modelling. In Self, J. (Ed.) *Artificial Intelligence and Human Learning: Intelligent Computer-Aided Instructions*, pp. 259-277, NY: Chapman and Hall.
- Fum D., Giangrandi O. & Tasso C. (1992). The Use of Explanation-Based Learning for Modeling Student Behavior in Foreign Language Tutoring . In Swartz, M.L. & Yazdani M. (Eds.) *Intelligent Tutoring Systems for Foreign Language Learning*, pp. 151-170, NY: Springer-Verlag.
- Gamper, J. & Knapp, J. (2002). A Review of ICALL Systems. *Computer Assisted Language Learning*, **15** (4), pp. 329-342.
- Garofalakis, J., Sakkopoulos, E., Sirmakessis, S. & Tsakalidis, A. (2002). Integrating adaptive techniques into virtual university learning environment. In Petrushin, V., Kommers, P., Kinshuk & Galeev, I. (Eds.) *Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies: Media and the Culture of Learning*, pp. 28-33, Palmerston North New Zealand: IEEE Computer Society Press.
- Giangrandi, P. & Tasso, C. (1996). Modeling the Temporal Evolution of Student's Knowledge. In Brna, P., Paiva, A. & Self, J. (Eds.) *Proceedings of the European Conference on Artificial Intelligence in Education*, pp. 184-190.

- Giangrandi, P. & Tasso, C. (1997). Managing Temporal Knowledge in Student Modeling. In Jameson, A., Paris, C. & Tasso, C. (Eds.) *Proceedings of the 6th International Conference on User Modeling (UM 97)*, pp. 415-426, Vienna New York: Springer.
- Ginsberg, M. (1993). *Essentials of Artificial Intelligence*. San Mateo CA: Morgan Kaufmann.
- Goldstein, I.P. (1978). Developing a Computational Representation for Problem Solving Skills. *AI Memo*, Vol. 495, Cambridge MA: MIT.
- Goldstein, I.P. (1982). The Genetic Graph: a Representation for the Evolution of Procedural Knowledge. In Sleeman, D.H. & Brown, J.S. (Eds.) *Intelligent Tutoring Systems*, London: Academic Press.
- Goldstein, I.P. & Papert, S. (1977). Artificial Intelligence, Language, and the Study of Knowledge. *Cognitive Science*, 1 (1), pp. 84-123.
- Grandbastien, M. (1999). Teaching Expertise is at the Core of ITS Research. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 10, pp. 335-349.
- Grigoriadou, M., Kornilakis, H., Papanikolaou, K. & Magoulas, G. (2002). Fuzzy Inference for Student Diagnosis in Adaptive Educational Hypermedia. In Vlahavas, I.P. & Spyropoulos, C. (Eds.) *Proceedings of the 2nd Hellenic Conference on Artificial Intelligence-SETN 2002, Lecture Notes on Artificial Intelligence*, Vol. 2308, pp. 191-202, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Granić, A., Stankov, S. & Glavinić, V. (2000). User Interface Aspects of an Intelligent Tutoring System. In *Proceedings of the 22nd International Conference Information Technology Interfaces, ITI 2000*, pp. 157-164.
- Guzman, E. & Conejo, R. (2002). Simultaneous evaluation of multiple topics in SIETTE. In Cerri, S. A., Gouardères, G. & Paraguaçu, F. (Eds.) *Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 2363, pp. 739-748, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Hartley, J. R. & Sleeman, D. H. (1973). Towards intelligent teaching systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, 5, pp. 215-236.
- Heift, T. & Nicholson, D. (2000). Theoretical and Practical Considerations for Web-based Intelligent Language Tutoring Systems. In Gauthier G., Frasson, C., & VanLehn K. (Eds.) *Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 1839, pp. 354-363, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Heift, T., Nicholson, D. (2001). Web Delivery of Adaptive and Interactive Language Tutoring. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 12, pp. 310-324.
- Henze, N. & Nejd, W. (2001). Adaptation in Open Corpus Hypermedia. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 12, pp. 325-350.

- Hohl, H., Böcker, H. & Gunzenhäuser, R. (1996). Hypadapter: An Adaptive Hypertext System for Exploratory Learning and Programming. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 6 (2-3), pp. 131-155.
- Hollan, J.D., Hutchins, E.L. & Weitzman, L. (1984). STEAMER: an Interactive Inspectable Simulation-based Tutoring System. *AI Magazine*, 5 (2), pp. 15-27.
- Holt, P., Dubs, S., Jones, M. & Greer, J. (1994). The State of Student Modelling. In Greer, J. & McCalla, G. (Eds.) *Student Modelling: the Key to Individualized Knowledge-based Instruction*, NATO-ASISeries F, Vol. 125, pp. 3-35, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Höök, K. (1998). Evaluating the Utility and Usability of an Adaptive Hypermedia System. *Journal of Knowledge-Based Systems*, 10 (5), pp. 311-319.
- Hoppe, U. (1994). Deductive error diagnosis and inductive error generalization for intelligent tutoring systems. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, 5 (1), pp. 27-49.
- Hoppe, U. (1995). Use of multiple student modeling to parametrize group learning. In Greer, J. (Ed.) *Proceedings of the 7th World Conference on Artificial Intelligence in Education*, pp. 234-249, Charlottesville VA: AACE.
- Hothi, J. & Hall, W. (1998). An evaluation of adaptive hypermedia techniques using static user modeling. In *Proceedings of the 2nd Workshop on Adaptive Hypertext and Hypermedia*, pp. 45-55.
- Huang, X., McCalla, G., Greer, J. & Neufeld, E. (1991). Revising Deductive Knowledge and Stereotypical Knowledge in a Student Model. *User Modeling and User Adapted Interaction*, 1 (1), pp. 87-115.
- Ikeda, M., Go, S. & Mizoguchi, R. (1997). Opportunistic group formation. In du Boulay, B. & Mizoguchi, R. (Eds.) *Artificial Intelligence in Education: Knowledge and Media in Learning Systems*. Amsterdam: IOS.
- Jacobson, I., Christerson, M., Jonsson P. & Overgaard, G. (1992). *Object-Oriented Software Engineering. A Use Case Driven Approach*. Reading Mass.: Addison-Wesley.
- Johnson, L. & O'Neill-Jones, P. (1999). Innovative Mathematical Learning Environments- Using Multimedia to Solve Real World Problems. In Bullinger, H.J. & Ziegler, J. (Eds.) *Human-Computer Interaction: Communication, Cooperation, and Application Design, Proceedings of the 8th International Conference on Human-Computer Interaction - HCI International '99*, Vol. 2, pp. 677-681, Mahwah NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Johnson, L. & Soloway, E. (1984). PROUST: Knowledge Based Program Debugging. In *Proceedings of the 7th International Software Engineering Conference*, pp. 369-380.
- Jones, J., Virvou, M. (1991). User Modelling and Advice Giving in Intelligent Help systems for UNIX. *Information and Software Technology*, 33, pp. 121-133.
- Jones, A., Kirkup, G. & Kirkwood, A. (1993). *Personal Computers for Distance Learning*. New York: St. Martin's Press.

- Jones, A., Scanlon, E., Tosunoglu, C., Morris, E., Ross, S., Butcher, P. & Greenberg, J. (1999). Contexts for Evaluating Educational Software. *Interacting with Computers*, **11** (5), pp. 499-516.
- Jones, J., Virvou, M. (1991). User Modelling and Advice Giving in Intelligent Help systems for UNIX. *Information and Software Technology*, **33**, pp. 121-133.
- Kass (1989). Student Modelling in Intelligent Tutoring Systems-Implications for User Modelling. In Kobsa, A. & Wahlster, W. (Eds.) *User Models in Dialog Systems*, pp. 386-410, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Kay, J. (1995). The um Toolkit for Reusable, Long Term User Models. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, **4** (3), pp. 149-196.
- Kay, J. (2000). Stereotypes, Student models and scrutability. In: Gauthier, G., Frasson, C. & VanLehn, K. (Eds.) *Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 1839, pp. 19-30, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Kay, J. (2001). Learner Control. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, **11** (1-2), pp.111-127.
- Kay, J. & Kummerfeld, R. (1994). An Individualized Course for the C Programming Language. In *Proceedings of the 2nd WWW Conference: Mosaic and the Web*.
- Kobsa, A. & Pohl, W. (1995). The BGP-MS User Modeling System. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, **4** (2), pp. 59-106.
- Kobsa, A., Koenemann, J. & Pohl, W. (2001). Personalized hypermedia presentation techniques for improving online customer relationships. *The Knowledge Engineering Review*, **16** (2), pp. 111-155.
- Kono, Y., Ikeda, M. & Mizoguchi, R. (1994). THEMIS: a nonmonotonic inductive student modeling system. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, **5** (3), pp. 371-413.
- Kruchten, P. (1999). *Rational Unified Process-An Introduction*. Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- Krüger, A. & Hamilton, S. (1997). RECALL: Individual Language Tutoring Through Intelligent Error Diagnosis. *ReCALL*, **9** (2).
- Kuhnäpfel, U., Cakmak, H. & Maass, H. (2000). Endoscopic surgery training using virtual reality and deformable tissue simulation. *Computers and Graphics*, **24** (1), pp. 671-682.
- Kunichike, H., Takeuchi, A. & Otsuki, S. (1998). Automatic Generation of Questions for a Comprehension Test in English Learning. In Ottmann, T. & Tomek, I. (Eds.) *Proceedings of ED-MEDIA, ED-TELECOM 98, World Conference on Education Multimedia and Educational Telecommunications*. Vol. 1, pp. 767-772, Charlottesville VA: AACE.
- Kurhila, J., Miettinen, M., Niemivirta, M., Nokelainen, P., Silander, T. & Tirri, H. (2001). Bayesian Modeling in an Adaptive On-line Questionnaire for Education and Educational Research. In *Proceedings of the Tenth International PEG Conference*, pp. 194-201.

- Langley, P. & Ohlsson, S. (1984). Automated Cognitive Modeling. In *Proceedings of the 2nd National Conference on Artificial Intelligence*, pp. 193-197.
- Langley, P., Wogulis, J. & Ohlsson, S. (1987). Rules and Principles of Cognitive Diagnosis. In Federicksen, N. (Ed.) *Diagnostic Monitoring of Skill and Knowledge Acquisition*, Hillsdale NJ: Lawrence Erlbaum.
- Lester, J.C., Stone, B.A. & Stelling, G.D. (1999). Lifelike Pedagogic Agents in Mixed-initiative Problem Solving in Constructivist Learning Environments. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 9 (1-2), pp. 1-44.
- Los Acros, J.L., Muller, W., Fuente, O., Orúe, L., Arroyo, E., Leaznibarrutia, I. & Santander, J. (2000). LAHYSTOTRAIN: Integration of Virtual Environments and ITS for Surgery Training. In Gauthier C., Frasson, C., & VanLehn K. (Eds.) *Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 1839, pp. 43-52, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- MacLeod, J., Luk, A. & Titterton, D. (1987). A Re-examination of the Distance-Weighted k-Nearest-Neighbor Classification Rule. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 17 (4), pp. 689-696.
- Martin, B. (1999). Constraint-based Modeling: Representing Student Knowledge. *New Zealand Journal of Computing*, 7 (2), pp. 30-38.
- Marz, M. (1982). Toward a Process Model for High School Algebra Errors. In Sleeman, D.H. & Brown, J.S. (Eds.) *Intelligent Tutoring Systems*, pp. 25-50, London: Academic Press.
- Mayo, M. & Mitrovic, A. (2001). Optimizing ITS Behaviour with Bayesian Networks and Decision Theory. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 12, pp. 124-153.
- McCalla, G. (1992). The Centrality of Student Modelling to Intelligent Tutoring. In Costa, E. (Ed.) *New Directions for Intelligent Tutoring Systems*, pp. 107-131, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Michaud, L., McCoy, K. & Stark, L. (2001). Modeling the acquisition of English: an intelligent CALL approach. In Bauer, M., Gmytrasiewicz, P. J. & Vassileva, J. (Eds.) *Proceedings of the 8th International Conference on User Modeling*, pp. 14-23, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Milsevy, R. & Gitomer, D.H. (1996). The Role of Probability-based Inference in an Intelligent Tutoring System. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 5, pp. 253-282.
- Minsky, M. (1975). A Framework for Representing Knowledge. In Winston, P. (Ed.) *The Psychology of Computer Vision*, NY: McGraw-Hill.
- Mitchell, T. (1997). *Machine Learning*. McGraw-Hill: New York.
- Mitrovic, A., Djordjevic-Kajan, S. & Stoimenov, L. (1996). INSTRUCT: Modeling Students by Asking Questions. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 6 (4), pp. 273-302.

- Mitrovic, A. & Hausler K. (2000). Porting SQL-Tutor to the Web. In Peylo, C. (Ed.) *Proceedings of the International Workshop on Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems*, pp. 37-44.
- Mitrovic, A., Martin, B. & Mayo, M. (2002). Using Evaluation to Shape ITS Design: Results and Experiences with SQL-Tutor. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, **12** (2-3), pp. 243-274.
- Mitrovic, A. & Ohlsson, S. (1999). Evaluation of a Constraint-based Tutor for a Database Language. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, **10**, pp. 238-256.
- Mitrovic, A. & Suraweera, P. (2000). Evaluating an Animated Pedagogical Agent. In Gauthier G., Frasson, C., & VanLehn K. (Eds.) *Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 1839, pp. 73-82, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Moriarty, C. Kushmerick, N. & Smyth, B. (2001). Personalised Intelligent Tutoring for Digital Libraries. In *Proceedings of the 2nd DELOS Network of Excellence Workshop on Personalisation and Recommender Systems in Digital Libraries*.
- Moundridou, M. & Virvou, M. (2002). Evaluating the Persona Effect of an Interface Agent in a Tutoring System. *Journal of Computer Assisted Learning*, **18** (3), pp. 371-376.
- Muller, M. J., Haslwanter, J. H. & Dayton, T. (1997). Participatory Practices in the Software Lifecycle. In Helander, M., Landauer, T. K. & Prabhu P. (Eds.) *Handbook of Human-Computer Interaction*, pp. 255-297, Amsterdam BV: Elsevier Science.
- Murphy, M. & McTear, M. (1997). Learner Modelling for Intelligent CALL. In Jameson, A., Paris, C. & Tasso, C. (Eds.) *Proceedings of the 6th International Conference on User Modeling (UM 97)*, pp. 301-312, Vienna New York: Springer.
- Murray, T., Piemonte, J., Khan, S., Shen, T. & Condit, C. (2000). Evaluating the Need for Intelligence in an Adaptive Hypermedia System. In Gauthier, G., Frasson, C. & VanLehn, K. (Eds.) *Intelligent Tutoring Systems, Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 1839, pp. 373-382, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Nagata, N. (1998). Input vs. Output Practice in Educational Software for Second Language Acquisition. *Language Learning and Technology*, **1** (2), pp. 23-40.
- Najjar, L. J. (1998). Principles of educational multimedia user interface design. *Human Factors*, **40** (2), pp. 311-323.
- Najjar, L. J. (2001). Principles of educational multimedia user interface design. In Swezey, R.W. & Andrews, D. H. (Eds.) *Readings in training and simulation: A 30-year perspective*, pp. 146-158, Santa Monica CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Nielsen, J. (1994). *Usability Inspection Methods*. New York: John Wiley.

- Nkambou, R., Lefebvre, B. & Gauthier, G. (1996). A Curriculum-based Student Model for Intelligent Tutoring Systems. In *Proceedings of UM 1996*, pp. 91-98.
- Nwana, H. (1991). User Modelling and User Adapted Interaction in an Intelligent Tutoring System. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 1 (1), pp. 1-32.
- Oda, T., Satoh, H. & Watanabe, S. (1998). Searching Deadlocked Web Learners by Measuring Similarity of Learning Activities. In *Proceedings of the Workshop "WWW-Based Tutoring, 4th International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, available online: <http://sw.cas.uec.ac.jp/~watanabe/conference/its98workshop1.ps>
- Ohlsson, S. (1994). Constraint-based Student Modelling. In Greer, J. & McCalla, G. (Eds.) *Student Modelling: the Key to Individualized Knowledge-based Instruction, NATO-ASISeries F*, Vol. 125, pp. 167-189, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Okazaki, Y. Watanabe, K. & Kondo, H. (1996). An Implementation of an Intelligent Tutoring System (ITS) on the World-Wide Web (WWW). *Educational Technology Research*, 19 (1), pp. 35-44.
- Orey, M. & Nelson, W.A. (1993). Developing Principles for Intelligent Tutoring Systems: Integrating Cognitive Theory into the Development of Computer-based Instruction. *Educational Technology Research and Development*, 41 (1), pp. 59-72.
- Orwant, J. (1995). Heterogenous Learning in the Doppelgänger User Modeling System. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 4 (2), pp. 107-130.
- Paliouras, G., Karkaletsis, V., Papatheodorou, C. & Spyropoulos, C. D. (1999). Exploiting learning techniques for the acquisition of user stereotypes and communities. In Kay, J. (Ed.) *Proceedings of the Seventh International Conference on User Modeling, CISM Courses and Lectures*, No. 407, pp. 169-178, Wien NY: Springer-Verlag.
- Peylo, C., Teiken, W., Rollinger, C. & Gust, H. (2000a). An Ontology as Domain Model in a Web-based Educational System for Prolog. In Etheredge J., & Manaris B. (Eds.) *Proceedings of the 13th International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference*, pp. 55-59, Menlo Park CA: AAAI Press.
- Peylo, C., Thelen, T., Rollinger, C. & Gust, H. (2000b). A Web-based Intelligent Educational System for PROLOG. In Peylo, C. (Ed.) *Proceedings of the International Workshop on Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems*, pp. 85-96.
- Prentzas, J., Hatzilygeroudis, I. & Garofalakis, J. (2002). A Web-based Intelligent Tutoring System Using Hybrid Rules as its Representational Basis. In Cerri, S. A., Gouardères, G. & Paraguaçu, F. (Eds.) *Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 2363, pp. 119-128, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

- Prentzas, J. & Hatzilygeroudis, I. (2002). Intelligent Educational Systems for Individualized Learning. In *Proceedings of the 4th International Workshop on Computer Science and Information Technologies CSIT'2002*.
- Quatrani, T. (1998). *Visual Modeling with Rational Rose and UML*. Reading Mass.: Addison Wesley.
- Ragnemalm, E. (1996). Student Diagnosis in Practice; Bridging a Gap. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 5, pp. 93-116.
- Reiser, B.J., Anderson, J.R. & Farrell, R.G. (1985). Dynamic Student Modelling in an Intelligent Tutor for LISP Programming. In *Proceedings of IJCAI-85*, pp. 8-14.
- Rich, E. (1979). User Modelling via Stereotypes. *Cognitive Science*, 3 (4), pp. 329-354.
- Rich, E. (1983). Users are Individuals: Individualizing User Models, *International Journal of Man-Machine Studies*, 18, pp. 199-214.
- Rich, E. (1983). *Artificial Intelligence*. Singapore: McGraw-Hill.
- Rickel, J.W. (1989). Intelligent Computer-Aided Instruction: a Survey Organized around System Components. *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics*, 19 (1), pp. 40-57.
- Rickel, J. & Johnson, W.L. (1999). Virtual Humans for Team Training in Virtual Reality, In *Proceedings of the 9th International Conference on AI in Education*, pp. 578-585, IOS Press.
- Ritter, S. (1997). PAT Online: a Model-Tracing Tutor on the World-Wide Web. In Brusilovsky, P., Nakabayashi, K. & Ritter, S. (Eds.) *Proceedings of the Workshop "Intelligent Educational Systems on the World Wide Web"*, 8th Conference of the AIED Society, available online: http://www.contrib.andrew.cmu.edu/~plb/AIED97_workshop/Ritter/Ritter.html
- Schwab, I. & Kobsa, A. (2002). Adaptivity through unobstructive learning. *Künstliche Intelligenz*, 3, pp 5-9.
- Self, J. (1974). Student Models in Computer-Aided Instruction. *International Journal of Man-Machine Studies*, 6, pp. 261-276.
- Self, J. (1990). Bypassing the Intractable Problem of Student Modelling. In Frasson, C. & Gauthier, G. (Eds.) *Intelligent Tutoring Systems: at the Crossroads of Artificial Intelligence and Education*, pp. 107-123, Norwood NJ: Ablex.
- Self, J. (1999). The Defining Characteristics of Intelligent Tutoring Systems Research: ITsS Care, Precisely. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 10, pp. 350-364.
- Shute, V.J. (1995). SMART: Student Modeling Approach for Responsive Tutoring. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 5 (1), pp. 1-44.
- Sison, R. & Shimura, M. (1998). Student modeling and machine learning. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 9, pp. 128-158.
- Sison, R., Numao, M. & Shimura, M. (1998). Discovering error classes from discrepancies in novice behaviors via multistrategy conceptual clustering. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 8 (1-2), pp. 103-129.

- Sison, R., Numao, M. & Shimura, M. (2000). Multistrategy discovery and detection of novice programmer errors. *Machine Learning*, 38, pp. 157-180.
- Sleeman, D. (1987). PIXIE: a shell for developing intelligent tutoring systems. In Lawer, R. & Yazdani, M. (Eds.) *Artificial Intelligence in Education*, New Jersey: Ablex.
- Sleeman, D., Hirsh, H., Ellery, I. & Kim, I. (1990). Extending Domain Theories: Two Case Studies in Student Modeling. *Machine Learning*, 5, pp. 11-37.
- Sommerville, I. (1992). *Software Engineering*. Reading Mass.: Addison-Wesley.
- Specht, M. (1998). Empirical Evaluation of Adaptive Annotation in Hypermedia. In T. Ottman and I. Tomek (Eds.) *Proceedings of ED-MEDIA, ED-TELECOM 98, World Conference on Education Multimedia and Educational Telecommunications*, Vol. 2, pp. 1327-1332, Charlottesville VA: AACE.
- Squires, D. & Preece, J. (1999). Predicting Quality in Educational Software: Evaluating for learning, usability and the synergy between them. *Interacting with Computers*, 11 (5), pp. 467-483.
- Stevens, A.L. & Collins, A. (1980). Multiple models of a complex system. In Snow, R., Frederico, P. & Montague, W. (Eds.) *Aptitude, Learning, and Instruction*, Vol. 2, Hinsdale NJ: Lawrence-Erlbaum Associates.
- Stevens, A., Collins, A & Goldin, S. (1982). Misconceptions in Students' Understanding. In Sleeman, D.H. & Brown, J.S. (Eds.) *Intelligent Tutoring Systems*, pp. 13-24, London: Academic Press.
- Suthers, D., Weiner, A., Connelly, J. & Paolucci, M. (1995). Belvedere: Engaging students in critical discussion of science and public policy issues. In Greer, J. (Ed.) *Proceedings of the 7th World Conference on Artificial Intelligence in Education*, pp. 266-273, Charlottesville VA: AACE.
- Suraweera, P. & Mitrovic, A. (2002). Kermit: a Constraint-based Tutor for Database Modeling. In: Cerri, S. A., Gouardères, G. & Paraguaçu, F. (Eds.) *Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 2363, pp. 377-387, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Swartz, M.L. & Yazdani, M. Eds. (1992). *Intelligent Tutoring Systems for Foreign Language Learning*. NY: Springer-Verlag.
- Tchêtagni, J. & Nkambou, R. (2002). Hierarchical representation and evaluation of the student in an intelligent tutoring system. In Cerri, S. A., Gouardères, G. & Paraguaçu, F. (Eds.) *Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 2363, pp. 708-717, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Tsaganou, G., Grigoriadou, M. And Cavoura, Th. (2002). Case-based History Learning: Design of the HyperBase. In Fernstrom, K. (Ed.) *Proceedings of the 3rd International*

- Conference on Information Communication Technologies in Education*, pp. 423-426, Athens: National and Kapodistrian University of Athens.
- Tsiriga, V. & Virvou, M. (2002a). Diagnosing Language Transfer in a Web-based ICALL that Self-Improves its Student Modeler. In Petrushin, V., Kommers, P., Kinshuk & Galeev, I. (Eds.) *Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies: Media and the Culture of Learning*, pp. 349-353, Palmerston North, New Zealand: IEEE Learning Technology Task Force.
- Tsiriga, V. & Virvou, M. (2002b). Dynamically Initializing the Student Model in a Web-based Language Tutor. In *Proceedings of the 2002 1st International IEEE Symposium "Intelligent Systems"*, Vol. I, pp. 138-143, IEEE Computer Society.
- Tsiriga, V. & Virvou, M. (2002c). Initializing the student model using stereotypes and machine learning. In El Kamel, A., Mellouli, K. and Borne, P. (Eds.) *Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics*.
- Tsiriga, V. & Virvou, M. (2002d). Transferring a Standalone Intelligent Algebra Tutor over the WWW. In *Proceedings of the 4th International Workshop on Computer Science and Information Technologies CSIT'2002*.
- Tsiriga, V. & Virvou, M. (2002e). Individualized Assessment in a Web-based Algebra Tutor. In Fernstrom, K. (Ed.) *Proceedings of the 3rd International Conference on Information Communication Technologies in Education*, pp. 443-448, Athens: National and Kapodistrian University of Athens.
- Tsiriga, V. & Virvou, M. (2002f). Συμμετοχή Καθηγητών και Μαθητών στην Ανάπτυξη Εκπαιδευτικού Λογισμικού. 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο για τη "Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και την Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση".
- Tsiriga, V. & Virvou, M. (2003a). Integrating Machine Learning Methods throughout the Temporal Extent of the Web-based Student Model. To appear in *Proceedings of the 10th International Conference on Human - Computer Interaction (HCI 2003)*.
- Tsiriga, V. & Virvou, M. (2003b). Initializing Student Models in Web-based ITSs: a Generic Approach. To appear in *Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*.
- Tsiriga, V. & Virvou, M. (2003c). Evaluation of an Intelligent Web-based Language Tutor. To appear in *Proceedings of the 7th International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information & Engineering Systems*, Lecture Notes in Artificial Intelligence.
- Turner, C. R., Fuggetta, A., Lavazza, L. & Wolf, A. L. (1999) A Conceptual Basis for Feature Engineering. *Journal of Systems and Software*, **49**, pp. 3-15.
- VanLehn, K. (1983). *Felicity Conditions for Human Skill Acquisition: Validating an AI-based Theory*, Ph.D. Thesis. Cambridge MA: Massachusetts Institute of Technology.
- VanLehn, K. (1988). Learning one Subprocedure Per Lesson, *Artificial Intelligence*, **31**, pp. 1-40.

- Vassileva, J. (1997a). Dynamic Courseware Generation on the WWW. In Brusilovsky, P., Nakabayashi, K. & Ritter, S. (Eds.) *Proceedings of the Workshop "Intelligent Educational Systems on the World Wide Web"*, 8th Conference of the AIED Society, available online: http://www.contrib.andrew.cmu.edu/~plb/AIED97_workshop/Vassileva/Vassileva.html
- Vassileva, J. (1997b). A Three-dimensional Perspective on the Current Trends in Student Modelling. In Kommers, P. (Ed.) *New Media and Telematic Technologies for Education in Eastern European Countries*, pp. 74-79, Twente: Twente University Press.
- Virvou, M. & DuBoulay, B. (1999). Human Plausible Reasoning for Intelligent Help. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 9 (4), pp. 321-375.
- Virvou, M. & Kabassi, K. (2002). Intelligent Online Training for a GUI. In Fernstrom, K. (Ed.) *Proceedings of the 3rd International Conference on Information Communication Technologies in Education*, pp. 257-261, Athens: National and Kapodistrian University of Athens.
- Virvou, M. & Maras, D. (1999a). An intelligent multimedia tutor for English as a second language. In Collis, B. & Oliver, R. (Eds.) *Proceedings of ED-MEDIA 99, World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications*, Vol. 2, pp. 928-932, Charlottesville VA: AACE.
- Virvou, M. & Maras, D. (1999b). Error Diagnosis in an English Tutor. In Bullinger, H.-J. & Ziegler, J. (Eds.) *Human-Computer Interaction: Communication, Cooperation, and Application Design, Proceedings of the 8th International Conference on Human-Computer Interaction - HCI International '99*, Vol. 2, pp. 657-661, Mahwah NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Virvou, M., Maras, D. & Tsiriga, V. (2000a). Student Modelling in an Intelligent Tutoring System for the Passive Voice of English Language. *Educational Technology and Society*, 3 (4), pp. 139-150.
- Virvou, M. & Moundridou, M. (2001a). Adding an instructor modelling component to the architecture of ITS authoring tools. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 12, pp. 185-211
- Virvou, M. & Moundridou, M. (2001b). Student and instructor models: two kinds of user model and their interaction in an ITS authoring tool. In Bauer, M., Gmytrasiewicz, P. and Vassileva, J. (Eds.) *Proceedings of the Eighth International Conference on User Modeling, Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Vol. 2109, pp. 158-167, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Virvou, M. & Tsiriga, V. (1999a). A Role for School Teachers in the Development of an ITS. In Bullinger, H.-J. & Ziegler, J. (Eds.) *Human-Computer Interaction: Communication, Cooperation, and Application Design, Proceedings of the 8th International Conference on Human-Computer Interaction - HCI International '99*, Vol. 2, pp. 691-695, Mahwah NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- Virvou, M. & Tsiriga, V. (1999b). EasyMath: A Multimedia Tutoring System for Algebra. In Collis, B. & Oliver, R. (Eds.) *Proceedings of ED-MEDIA 99, World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications*, Vol. 2, pp. 933-938, Charlottesville VA: AACE.
- Virvou, M. & Tsiriga, V. (2000a). Involving Effectively Teachers and Students in the Life Cycle of an Intelligent Tutoring System. *Educational Technology and Society*, 3 (3), pp. 511-521.
- Virvou, M. & Tsiriga, V. (2000b). Evaluation throughout the Life Cycle of a Multimedia Tutoring System. In *Proceedings of ED-MEDIA 2000, World Conference on Educational Multimedia and Educational Telecommunications*, pp. 1505-1506, Charlottesville VA: AACE.
- Virvou, M. & Tsiriga, V. (2001a). Web Passive Voice Tutor: an Intelligent Computer Assisted Language Learning System over the WWW. In Okamoto, T., Hartley, R., Kinshuk, & Klus, J. (Eds.) *Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies: Issues, Achievements and Challenges*, pp. 131-134, Los Alamitos: IEEE Computer Society Press
- Virvou, M. & Tsiriga, V. (2001b). Adaptive Tutoring based on the Student Model of a Web-based ICALL. In *Proceedings of TELEMATICA 2001 International Conference on Telematics and Web-Based Education, International Volume*, pp. 47-50.
- Virvou, M. & Tsiriga, V. (2001c). An Object-oriented Software Life Cycle of an Intelligent Tutoring System, *Journal of Computer Assisted Learning*, 17 (2), pp. 200-205.
- Virvou, M. & Tsiriga, V. (2001d). Student Modelling in a Web-based Algebra Tutor. In *Proceedings of TELEMATICA 2001 International Conference on Telematics and Web-Based Education, International Volume*, pp. 43-44.
- Virvou, M., Tsiriga, V. & Maras, D. (2000b). Evaluation of an ITS for the Passive Voice of the English Language Using the CIAO! Framework. In Bourdeau J. & Heller R. (Eds.) *Proceedings of ED-MEDIA 2000, World Conference on Educational Multimedia and Educational Telecommunications*, pp. 1722-1723, Charlottesville VA: AACE.
- Warendorf, K. & Tan, C. (1997). ADIS-an Animated Data Structure Intelligent Tutoring System, or Putting an Interactive Tutor on the World Wide Web. In Brusilovsky, P., Nakabayashi, K. & Ritter, S. (Eds.) *Proceedings of the Workshop "Intelligent Educational Systems on the World Wide Web"*, 8th Conference of the AIED Society, available online: http://www.contrib.andrew.cmu.edu/~plb/AIED97_workshop/Warendorf/Warendorf.html
- Webb, G. & Kuzmycz, M. (1996). Feature Based Modelling: a Methodology for Producing Coherent, Consistent, dynamically Changing Models of Agent's Competencies. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 5 (2), pp. 117-150.

- Webb, G. & Kuzmycz, M. (1998). Evaluation of data aging: A technique for discounting old data during student modeling. In *Proceedings of the 4th International Conference on Intelligent Tutoring Systems*.
- Weber, G. & Specht, M. (1997). User Modeling and Adaptive Navigation Support in WWW-based Tutoring Systems. In Jameson, A., Paris, C. & Tasso, C. (Eds.) *Proceedings of the 6th International Conference on User Modeling*, pp. 289-300, Vienna NY: Springer.
- Weibelzahl, S. & Weber, G. (2002). Advantages, Opportunities and Limits of Empirical Evaluations: Evaluating Adaptive Systems. *Künstliche Intelligenz*, 3, pp. 17-20.
- Wenger, E. (1987). *Artificial Intelligence and Tutoring Systems*. Los Altos, CA: Morgan Kaufman.
- White, B.Y. & Frederiksen, J.R. (1985). QUEST: Qualitative Understanding of Electrical System Trouble-shooting. *ACM SIGART Newsletter*, 93, pp. 34-37.
- Wilson, R. & Martinez, T. (1997). Improved Heterogeneous Distance Functions. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 6, pp. 1-34.
- Woolf, B. & Hall, W. (1995). Multimedia Pedagogues: Interactive Multimedia Systems for Teaching and Learning. *IEEE Computer*, 28 (5), pp. 74-80.
- Yang, J. & Akahori, K. (1997). Development of Computer Assisted Language Learning System for Japanese Writing using Natural Language Processing Techniques: a Study on Passive Voice. In Brusilovsky, P., Nakabayashi, K. & Ritter, S. (Eds.) *Proceedings of the Workshop "Intelligent Educational Systems on the World Wide Web"*, 8th Conference of the AIED Society, available online:
http://www.contrib.andrew.cmu.edu/~plb/AIED97_workshop/Yang/Yang.html.
- Yang, J. & Akahori, K. (1999). An Evaluation of Japanese CALL Systems on the WWW. Comparing a Freely Input Approach with Multiple Selection. *Computer Assisted Language Learning*, 12 (1), pp. 59-79.