



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

Τμήμα Πληροφορικής



00146739

# ΕΥΦΥΕΙΣ ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ ΣΕ ΕΙΚΟΝΙΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ

Διδακτορική Διατριβή

Σπυρίδωνα Βοσινάκη

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ	
ΑΡ. ΕΙΣ.	46739
COMP.	26629
ΤΑΞΗ	006 Β02
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ	

Πειραιάς, 2003

# Περίληψη

Τα εικονικά περιβάλλοντα είναι μια διαρκώς αναπτυσσόμενη περιοχή με πολλές και ενδιαφέρουσες εφαρμογές σε διάφορους τομείς, όπως η εκπαίδευση, η διασκέδαση και η προσομοίωση. Ένα σημαντικό τμήμα των εικονικών περιβαλλόντων που ενισχύει την αυτονομία και την αλληλεπιδραστικότητά τους είναι οι εικονικοί πράκτορες, δηλαδή οι αυτόνομες οντότητες του περιβάλλοντος που είναι σε θέση να αντιλαμβάνονται τον κόσμο γύρω τους και να εκτελούν ενέργειες ώστε να επιτύχουν τους στόχους τους.

Οι εικονικοί πράκτορες χωρίζονται σε φυσικούς και γνωσιακούς. Στους πρώτους δίνεται έμφαση στην κίνηση και αλληλεπίδρασή τους με τα αντικείμενα του περιβάλλοντος, ενώ στους δεύτερους σε περισσότερο νοητικές ικανότητες, όπως η δυνατότητα μάθησης, επικοινωνίας, εξαγωγής συμπερασμάτων, κλπ. Κατά συνέπεια, οι φυσικοί πράκτορες αξιοποιούν κυρίως την έρευνα στους χώρους της ρομποτικής, συνθετικής κίνησης και μοντελοποίησης φυσικών νόμων, ενώ οι γνωσιακοί στηρίζονται σε αρχιτεκτονικές ευφυών πρακτόρων από τον χώρο της τεχνητής νοημοσύνης.

Ένα βασικό μειονέκτημα της τρέχουσας έρευνας στους εικονικούς πράκτορες είναι η έλλειψη γενικών εργαλείων ανάπτυξης τέτοιων οντοτήτων, καθώς οι υπάρχουσες μηχανές τρισδιάστατων γραφικών φαίνεται να παρουσιάζουν σημαντικές ελλείψεις σε ό,τι αφορά την λειτουργικότητα των πρακτόρων. Το πρόβλημα αυτό εντείνεται ακόμη περισσότερο με την απουσία κοινών μεθοδολογιών και αρχιτεκτονικών για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη εικονικών πρακτόρων, γεγονός που καθιστά δύσκολη την σύγκριση μεταξύ διαφορετικών προσεγγίσεων, αλλά και την άμεση επαναχρησιμοποίηση τμημάτων κώδικα της υπάρχουσας έρευνας. Τέλος, ένα ακόμη θεμελιώδες πρόβλημα που εμφανίζεται στην περιοχή των εικονικών πρακτόρων είναι η δυσκολία διασύνδεσης μεταξύ φυσικών και γνωσιακών ικανοτήτων ενός εικονικού πράκτορα, λόγω του διαφορετικού επιπέδου αφαίρεσης στον τρόπο αναπαράστασης της γνώσης στις δύο αυτές περιοχές.

Τα παραπάνω προβλήματα αποτελούν το αντικείμενο μελέτης της τρέχουσας διατριβής, που έχει ως θέμα την εισαγωγή ευφυών πρακτόρων σε εικονικά



περιβάλλοντα, δηλαδή την δυνατότητα σχεδιασμού και ανάπτυξης τρισδιάστατων συνθετικών χαρακτήρων με ενισχυμένα γνωστικά χαρακτηριστικά. Πιο συγκεκριμένα:

- Προτείνεται ένα γενικό μοντέλο για ευφείς εικονικούς πράκτορες το οποίο διατηρεί τους κοινώς αποδεκτούς στους χώρους των γραφικών και της εικονικής πραγματικότητας τρόπους αναπαράστασης του κόσμου και εκτέλεσης ενεργειών, αλλά αξιοποιεί ταυτόχρονα και την υπάρχουσα έρευνα στους ευφείς πράκτορες, καθώς στηρίζεται στην αρχιτεκτονική Αίσθησης – Ελέγχου – Ενέργειας (Sense – Control – Act) για την λειτουργία των πρακτόρων.
- Παρουσιάζεται αναλυτικά ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και η χρήση του περιβάλλοντος SimHuman, μιας πλατφόρμας ανάπτυξης εικονικών περιβαλλόντων με ευφείς πράκτορες που βασίζεται στο προτεινόμενο μοντέλο και μπορεί να αξιοποιηθεί σε πληθώρα εφαρμογών.
- Προτείνεται η SLaVE, μια υψηλού επιπέδου γλώσσα η οποία επιτρέπει τον προσδιορισμό κανόνων αντίληψης και την περιγραφή σύνθετων ενεργειών των εικονικών πρακτόρων της πλατφόρμας SimHuman, διευκολύνοντας κατ' αυτό τον τρόπο την ανάπτυξή τους αλλά και την προσαρμογή τους σε διαφορετικού τύπου περιβάλλοντα.
- Τέλος, προτείνεται μια μεθοδολογία ανάπτυξης περιβαλλόντων με εικονικούς πράκτορες στον Παγκόσμιο Ιστό.

Για την καλύτερη κατανόηση των προτεινόμενων μοντέλων, μεθοδολογιών και εργαλείων, παρουσιάζονται αναλυτικά τέσσερα παραδείγματα χρήσης τους σε διαφορετικούς τομείς εφαρμογών.

# Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω πρώτο απ' όλους τον επιβλέποντα καθηγητή μου Θεμιστοκλή Παναγιωτόπουλο για την άψογη επίβλεψη, τη συνεχή υποστήριξη και την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια των μεταπτυχιακών μου σπουδών στο Πανεπιστήμιο Πειραιώς. Η παρούσα διατριβή δεν θα είχε πραγματοποιηθεί χωρίς τις γνώσεις του, την πολύτιμη εμπειρία του και τη συνεχή παρουσία του δίπλα μου. Ευχαριστώ ακόμη τα μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, Αναπληρωτή Καθηγητή Δουληγέρη Χρήστο και Επίκουρη Καθηγήτρια Βίρβου Μαρία για την βοήθειά τους κατά την διάρκεια του διδακτορικού μου. Επιπλέον ευχαριστώ τους: Καθηγητή Αλεξάνδρη Νικόλαο, Καθηγητή Γιαννακουδάκη Εμμανουήλ, Καθηγητή Κόλλια Στέφανο και Επίκουρο Καθηγητή Βαζιργιάννη Μιχαήλ, που δέχτηκαν να είναι μέλη της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής μου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συναδέλφους μου στο Εργαστήριο Τεχνολογίας Γνώσης Αβραντινή Νίκο, Αναστασάκη Γιώργο και Ζάχαρη Νίκο, τόσο για την άψογη επιστημονική συνεργασία που είχαμε, όσο και για τις πολύωρες συζητήσεις μας πάνω σε θέματα Ευφώνων Πρακτόρων και Εικονικής Πραγματικότητας, που αποτέλεσαν ουσιαστική πηγή έμπνευσης κατά την διάρκεια της έρευνάς μου. Επιπλέον, ευχαριστώ τους συναδέλφους Καλλιγάτση Γιάννη, Καμπάση Κατερίνα, Κατσιρέλο Γιώργο, Κουσιδου Σοφία, Μπαλάφα Λαμπρινή και Μπελεσιώτη Βασίλειο, με τους οποίους είχα πολύτιμη συνεργασία πριν ή και κατά την διάρκεια του διδακτορικού μου.

Αισθάνομαι ακόμη την ανάγκη να ευχαριστήσω τους φίλους και συναδέλφους Μάγκο Μάνο, Παπαδάκη Γιάννη, Κοτζανικολάου Πάνο, Τσιρίγκα Βίκη, Ανδρέου Γιάννη, Καλογήρου Χάρη, Μαυροπόδη Ρόζα, Ξενούλη Γιώργο και Μουντριδου Μαρία για τις ευχάριστες στιγμές που ζήσαμε κατά την διάρκεια της έρευνάς μας και για τις πολύτιμες συζητήσεις που είχαμε σχετικά με την εκπόνηση του διδακτορικού. Ευχαριστώ επίσης τα μέλη του Εργαστηρίου Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων Αναπληρωτή Καθηγητή Δεσπότη Δημήτριο, Μαραγκό Ηλία και Ανδρουλάκη Ανδρέα, με τους οποίους μοιραστήκαμε κοινή αίθουσα εργασίας τα τελευταία δύο χρόνια, για την πολύ καλή συνεργασία μας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, στην οποία και αφιερώνω την εργασία αυτή, για τη συνεχή συμπαράσταση και υποστήριξη της όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

# Περιεχόμενα

<b>1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>1</b>
1.1	ΕΙΚΟΝΙΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ	1
1.2	ΕΙΚΟΝΙΚΟΙ ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ	3
1.3	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	6
1.4	ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	10
1.5	ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ	13
<b>2</b>	<b>ΕΙΚΟΝΙΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ</b>	<b>17</b>
2.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	17
2.1.1	Κατηγορίες	18
2.1.2	Ταξινόμηση	20
2.2	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΝΟΣ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	21
2.2.1	Μοντέλο περιβάλλοντος	21
2.2.2	Αλληλεπιδράσεις με το χρήστη	24
2.3	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ	27
2.3.1	Υλικό	28
2.3.2	Λογισμικό	29
2.4	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	32
<b>3</b>	<b>ΕΙΚΟΝΙΚΟΙ ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ</b>	<b>35</b>
3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	35
3.1.1	Ταξινόμηση Εικονικών Πρακτόρων	37
3.2	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΙΚΟΝΙΚΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ	40
3.2.1	Μοντελοποίηση του σώματος	41
3.2.2	Στάσεις του σώματος: Ευθεία και Αντίστροφη Κινηματική	46
3.2.3	Κίνηση	47
3.2.4	Αλληλεπίδραση με το περιβάλλον	52
3.2.5	Έλεγχος και συμπεριφορά	57
3.3	ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	63
3.3.1	Jack	63
3.3.2	Humanoid	65



3.3.3	Impron.....	65
3.3.4	ACE (Agents Common Environment).....	67
3.4	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	68
<b>4</b>	<b>ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΥΦΥΩΝ ΕΙΚΟΝΙΚΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ.....</b>	<b>71</b>
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	71
4.2	ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΚΟΣΜΟΥ.....	73
4.2.1	Οντότητες του Κόσμου.....	73
4.2.2	Στοιχειώδεις Ενέργειες.....	74
4.2.3	Νόμοι του κόσμου.....	75
4.3	ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΠΡΑΚΤΟΡΑ.....	76
4.3.1	Μνήμη και πεποιθήσεις.....	78
4.3.2	Αίσθηση.....	79
4.3.3	Αντίληψη.....	80
4.3.4	Απόφαση.....	81
4.3.5	Εκτέλεση έργων.....	82
4.3.6	Ενέργεια.....	82
4.4	ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΕ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ.....	83
4.5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	86
<b>5</b>	<b>ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΣΙΜΗΥΜΑΝ.....</b>	<b>89</b>
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	89
5.2	ΓΕΝΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ.....	91
5.2.1	Γεωμετρία αντικειμένων.....	94
5.2.2	Γεωμετρία χαρακτήρα και κίνηση.....	94
5.2.3	Αρχείο γεωμετρίας.....	94
5.2.4	Αρχείο σκελετού.....	95
5.2.5	Βιβλιοθήκη συνθετικών κινήσεων.....	97
5.2.6	Ορισμός σκηικού.....	98
5.2.7	Χρήση της βιβλιοθήκης.....	102
5.2.8	Βοηθητικές Εφαρμογές.....	104
5.3	ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.....	106
5.3.1	Στοιχειώδεις Ενέργειες.....	107
5.3.2	Μοντελοποίηση φυσικών νόμων.....	108

5.4	ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΠΡΑΚΤΟΡΑ .....	110
5.4.1	Μοντελοποίηση του σώματος.....	110
5.4.2	Ενέργειες.....	115
5.4.3	Κίνηση με θέσεις-κλειδιά .....	115
5.4.4	Αναγνώριση σύγκρουσης του σώματος του πράκτορα .....	116
5.4.5	Αντίστροφη κινηματική.....	119
5.4.6	Βάδισμα του πράκτορα.....	121
5.4.7	Εύρεση μονοπατιού .....	123
5.4.8	Αίσθηση.....	123
5.5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	125
6	<b>Η ΓΛΩΣΣΑ SLAVE .....</b>	<b>127</b>
6.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	127
6.2	ΣΥΝΤΑΞΗ ΤΗΣ SLAVE .....	128
6.2.1	Τύποι δεδομένων.....	129
6.2.2	Μεταβλητές.....	130
6.2.3	Συναρτήσεις .....	131
6.2.4	Χωρικές συναρτήσεις .....	131
6.2.5	Λογικές συναρτήσεις .....	134
6.2.6	Αριθμητικές συναρτήσεις .....	135
6.2.7	Προγραμματισμός κανόνων αντίληψης.....	136
6.2.8	Προγραμματισμός έργων.....	137
6.3	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ .....	141
6.3.1	Παρατηρώντας το περιβάλλον.....	141
6.3.2	Αλληλεπίδραση με αντικείμενα.....	143
6.4	ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ .....	145
6.5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	148
7	<b>ΕΙΚΟΝΙΚΟΙ ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ ΣΤΟΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΙΣΤΟ.....</b>	<b>151</b>
7.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	151
7.2	Η ΓΛΩΣΣΑ VRML.....	152
7.3	ΕΥΦΥΕΙΣ ΕΙΚΟΝΙΚΟΙ ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ VRML.....	155
7.3.1	Το μοντέλο του κόσμου.....	156
7.3.2	Το μοντέλο του πράκτορα.....	158

7.3.3	Σύνδεση με άλλες γλώσσες προγραμματισμού .....	159
7.4	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ .....	161
7.5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	164
<b>8</b>	<b>ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ</b> .....	<b>165</b>
8.1	ΕΙΚΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ .....	165
8.1.1	Τμήμα εικονικής αναπαράστασης .....	166
8.1.2	Τμήμα πληροφοριών .....	166
8.1.3	Τμήμα Αλληλεπίδρασης .....	167
8.1.4	Υλοποίηση .....	168
8.2	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ .....	169
8.3	ΕΙΚΟΝΙΚΟΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΤΗΣ .....	172
8.4	ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΑΦΗΓΗΣΗ ΙΣΤΟΡΙΑΣ .....	175
<b>9</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ</b> .....	<b>183</b>
9.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	183
9.2	ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ .....	185
9.3	ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	186
9.4	ΑΝΟΙΧΤΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ .....	187
	<b>ΑΝΑΦΟΡΕΣ</b> .....	<b>189</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b> .....	<b>205</b>
	ΛΕΞΙΚΟ ΟΡΩΝ .....	205
	ΕΓΧΡΩΜΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ .....	209

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

## 1.1 Εικονικά Περιβάλλοντα

Οι ραγδαίοι ρυθμοί ανάπτυξης των προσωπικών υπολογιστών την τελευταία δεκαετία έχουν δώσει στους απλούς χρήστες τη δυνατότητα να έρθουν σε επαφή με εφαρμογές γραφικών, που χρησιμοποιούν πολύπλοκα τρισδιάστατα μοντέλα, τα οποία κάποτε χρειαζόταν πανίσχυρα μηχανήματα για να τρέξουν σε πραγματικό χρόνο. Σήμερα τα τρισδιάστατα γραφικά βρίσκουν όλο και συχνότερη εφαρμογή σε χώρους, όπως η διασκέδαση, η εκπαίδευση και η προσομοίωση, καθώς παρέχουν στο χρήστη μια πιο ρεαλιστική και ολοκληρωμένη άποψη των αντικειμένων και ενισχύουν με αυτόν τον τρόπο τις δυνατότητες αλληλεπίδρασής του αλλά και το ενδιαφέρον του για την εφαρμογή.

Πέρα από την απλή απεικόνιση και το χειρισμό γραφικών μοντέλων, η σημαντική συνεισφορά της ραγδαίας ανάπτυξης των τρισδιάστατων γραφικών στις σύγχρονες εφαρμογές προσωπικών υπολογιστών είναι τα *εικονικά περιβάλλοντα* (virtual environments), δηλαδή οι συνθετικοί κόσμοι που διέπονται από ένα σύνολο κανόνων



και επιτρέπουν στο χρήστη να πλοηγηθεί μέσα σε αυτούς και να αλληλεπιδράσει μαζί τους. Πολλές φορές στα περιβάλλοντα αυτά χρησιμοποιείται εξειδικευμένο υλικό για την επικοινωνία με το χρήστη, που καθορίζει και τον τρόπο αλληλεπίδρασής του με αυτά. Κατά συνέπεια, *Περιβάλλοντα εμβύθισης* (immersive environments) ονομάζονται τα εικονικά περιβάλλοντα στα οποία οι χρήστες είναι εφοδιασμένοι με κατάλληλο υλικό, ώστε να δέχονται ερεθίσματα μόνο από το συνθετικό περιβάλλον και όχι από τον πραγματικό κόσμο. Στην περίπτωση που τα εικονικά αντικείμενα προστίθενται πάνω στην άποψη του πραγματικού κόσμου, τότε το περιβάλλον ονομάζεται *ενισχυμένο* (augmented environment). Αντίθετα, όταν ο συνθετικός κόσμος προβάλλεται ολόκληρος πάνω σε μια ή περισσότερες επιφάνειες του πραγματικού κόσμου (π.χ. τοίχος, τραπέζι ή δωμάτιο), τότε πρόκειται για *περιβάλλον προβολής* (projected environment), ενώ *περιβάλλον οθόνης* (desktop environment) είναι η συνήθης περίπτωση που ο τρισδιάστατος κόσμος απεικονίζεται στην οθόνη του υπολογιστή.

Τα εικονικά περιβάλλοντα φαίνεται να έχουν πολλές και ενδιαφέρουσες εφαρμογές σε διάφορους τομείς, γεγονός που αναδεικνύει τη σημασία τους ως σύγχρονου μέσου αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή. Στο χώρο της διασκέδασης και των τεχνών χρησιμοποιούνται, για να παρέχουν στο χρήστη ένα πιο ρεαλιστικό περιβάλλον απεικόνισης και κίνησης, και έχουν προκύψει ενδιαφέρουσες νέες εφαρμογές, όπως αλληλεπιδραστικό θέατρο, τρισδιάστατοι χώροι συνομιλίας, παιχνίδια εξομοίωσης, κλπ. Μεγάλη φαίνεται να είναι όμως και η χρησιμότητά τους στο χώρο της εκπαίδευσης, καθώς η δυνατότητα παρατήρησης των δεδομένων από διαφορετικές απόψεις και πειραματισμού με αυτά ενισχύει τη διαδικασία της μάθησης και της κατανόησης σε σχέση με την χρήση στατικού κειμένου και εικόνων. Ακόμα, η δυνατότητα προσομοίωσης ρεαλιστικών κόσμων βρίσκει μεγάλη χρησιμότητα στην εξάσκηση, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που οι αντίστοιχες ενέργειες σε πραγματικές συνθήκες μπορεί να έχουν μεγάλο κόστος ή και να είναι επικίνδυνες, όπως οι προσομοιωτές πτήσης και οι εικονικές χειρουργικές επεμβάσεις. Τέλος, σε ό,τι αφορά τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση νέων προϊόντων τα εικονικά περιβάλλοντα επιτρέπουν την αναπαράσταση και το χειρισμό ενός μοντέλου, με σκοπό τον έλεγχο και τη βελτίωση της λειτουργικότητάς του, πριν ακόμα βγει στο στάδιο παραγωγής.

Παρά τη χρησιμότητα των εικονικών περιβαλλόντων σε διάφορους τομείς και την πληθώρα έρευνας που έχει πραγματοποιηθεί γύρω από αυτά τις τελευταίες δεκαετίες, ο χώρος παρουσιάζει ακόμα σημαντικές ελλείψεις. Πρώτα απ' όλα, το εξειδικευμένο υλικό που χρησιμοποιείται είναι αφενός υπερβολικά ακριβό για το μέσο χρήστη, αφετέρου όχι ιδιαίτερα αξιόπιστο, με αποτέλεσμα η συνεχής χρήση του για μεγάλο χρονικό διάστημα να προκαλεί δυσφορία. Κατά συνέπεια, ένα μεγάλο μέρος της έρευνας επικεντρώνεται στα εικονικά περιβάλλοντα οθόνης, που φαίνεται να είναι η μόνη προσιτή λύση για το μέσο χρήστη.

Δεύτερον, φαίνεται να υπάρχει έλλειψη γενικού τύπου αρχιτεκτονικών και εργαλείων ανάπτυξης για εικονικά περιβάλλοντα, με αποτέλεσμα να είναι ιδιαίτερα επίπονη και χρονοβόρα η διαδικασία κατασκευής ενός τέτοιου περιβάλλοντος, ενώ απαιτείται και σημαντικό χρονικό διάστημα για τον έλεγχο και την αποσφαλμάτωσή του, ώστε να παρέχει στο χρήστη ένα αξιόπιστο και φιλικό περιβάλλον αλληλεπίδρασης.

Τέλος, στα υπάρχοντα εικονικά περιβάλλοντα παρουσιάζεται έλλειψη αυτονομίας. Σύμφωνα με την ταξινόμηση του Zeltzer (1992) οι τρεις διαστάσεις αξιολόγησης ενός εικονικού περιβάλλοντος είναι η *αυτονομία* (autonomy), δηλαδή η ικανότητα των αντικειμένων να δρουν από μόνα τους, η *αλληλεπίδραση* (interaction), δηλαδή το ποσοστό στο οποίο το σύστημα παρέχει έλεγχο των αντικειμένων, και η *παρουσία* (presence), που καθορίζεται από το εύρος και την πιστότητα των αισθητηρίων καναλιών του χρήστη που ελέγχει το περιβάλλον. Ενώ λοιπόν σήμερα οι χρήστες μπορούν να έχουν πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις με τα αντικείμενα χρησιμοποιώντας εξειδικευμένο υλικό, όπως τα γάντια δεδομένων (data gloves), και η παρουσία τους είναι ιδιαίτερα ενισχυμένη στα περιβάλλοντα προβολής και εμβύθισης, δε φαίνεται να υπάρχει αντίστοιχη πρόοδος στον τομέα της αυτονομίας. Αυτή η έλλειψη οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι μέχρι πρόσφατα η υπολογιστική ισχύς των μηχανημάτων αφιερωνόταν σχεδόν αποκλειστικά στην απεικόνιση και συνθετική κίνηση του κόσμου, με αποτέλεσμα να μην περισσεύει επιπλέον υπολογιστικός χρόνος για την αυτόνομη δράση των αντικειμένων του περιβάλλοντος.

## 1.2 Εικονικοί πράκτορες

Τα τελευταία χρόνια έχουν λάβει χώρα σημαντικές προσπάθειες στον τομέα της ενίσχυσης της αυτονομίας των εικονικών περιβαλλόντων με την ανάπτυξη ενός νέου πεδίου έρευνας στο χώρο αυτό, των εικονικών πρακτόρων. *Εικονικοί πράκτορες*

(virtual agents) ονομάζονται οι αυτόνομες οντότητες σε ένα εικονικό περιβάλλον, οι οποίες έχουν συνήθως τη μορφή συνθετικών χαρακτήρων, και αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον μέσω *αισθητήρων* (sensors) και *επιδραστήων* (effectors) λαμβάνοντας αποφάσεις με βάση κάποιο μοντέλο συμπεριφοράς. Οι χαρακτήρες αυτοί μπορούν να είναι άνθρωποι, ζώα, ή ακόμα και φανταστικά πλάσματα, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις εικονικοί πράκτορες μπορούν να είναι και μηχανήματα με πολύπλοκη συμπεριφορά, όπως αυτοκίνητα, ρομπότ, κλπ.

Οι εικονικοί πράκτορες παρουσιάζουν μεγάλη χρησιμότητα στα περισσότερα από τα πεδία εφαρμογής των εικονικών περιβαλλόντων, καθώς η παρουσία αυτόνομων χαρακτήρων σε τρισδιάστατους κόσμους ενισχύει την αληθοφάνειά τους αλλά και τις δυνατότητες αλληλεπίδρασης με τον χρήστη. Στο χώρο της μηχανολογίας, του σχεδιασμού και της συντήρησης προϊόντων αξιοποιούνται οι εικονικοί άνθρωποι για την ανάλυση και προσομοίωση εικονικών πρωτοτύπων και το σχεδιασμό βασισμένο στην προσομοίωση. Μοντέλα εικονικών πρακτόρων χρησιμοποιούνται ακόμα σε τηλεδιασκέψεις με τη χρήση ρεαλιστικών αναπαραστάσεων των χρηστών για τη μείωση του εύρους της επικοινωνίας. Στο χώρο της εκπαίδευσης έχει γίνει σημαντική έρευνα στη χρήση εικονικών πρακτόρων για την αλληλεπιδραστική καθοδήγηση του χρήστη στην πραγματοποίηση διαφόρων ενεργειών, όπως ο χειρισμός πολύπλοκων μηχανημάτων. Επιπλέον, εικονικοί πράκτορες χρησιμοποιούνται ως παρουσιαστές σε εκπαιδευτικές ή επιστημονικές εφαρμογές, ως ξεναγοί σε χώρους ειδικού ενδιαφέροντος αλλά και για άλλες μορφές επικοινωνίας, όπως η απόδοση κειμένου στη νοηματική γλώσσα των κωφαλάλων. Τέλος, η μεγαλύτερη χρήση συνθετικών χαρακτήρων εντοπίζεται σήμερα στο χώρο τις διασκέδασης και ιδιαίτερα στα παιχνίδια και στην αλληλεπιδραστική αφήγηση ιστοριών.

Αν και η υπάρχουσα έρευνα στους εικονικούς πράκτορες φαίνεται να βρίσκεται σε πρωταρχικά στάδια, καθώς υπάρχουν πολλά προβλήματα που δεν έχουν ακόμα επιλυθεί, μια πρώτη προσπάθεια ταξινόμησης των υπάρχοντων συστημάτων καταλήγει σε ένα φάσμα πρακτόρων. Στη μία άκρη του φάσματος τοποθετούνται οι *φυσικοί πράκτορες* (physical agents), δηλαδή αυτοί στους οποίους η έμφαση έχει δοθεί στην αληθοφανή φυσική συμπεριφορά. Στο χώρο αυτό η έρευνα επικεντρώνεται σε εικονικούς ανθρώπους ή και ζώα και τα θέματά της περιλαμβάνουν τη ρεαλιστική κίνηση και τη φυσική αλληλεπίδρασή τους με το



περιβάλλον, την ομιλία, τις χειρονομίες και τις εκφράσεις προσώπου. Τέτοιοι πράκτορες συνήθως αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον μέσω εικονικών αισθητήρων και επιδραστών που δε λειτουργούν σε συμβολικό επίπεδο αλλά προσομοιώνουν το φυσικό.

Στην άλλη άκρη του φάσματος αυτού τοποθετούνται οι *γνωσιακοί πράκτορες* (cognitive agents), δηλαδή αυτοί στους οποίους η έμφαση έχει δοθεί στην ανθρώπινη γνωσιακή συμπεριφορά, καθώς και στη γνωσιακή αλληλεπίδραση με τους χρήστες του συστήματος. Τα περισσότερα θέματα στο χώρο αυτό αφορούν τη φυσική γλώσσα, καθώς και τις διαδικασίες απόφασης, όπως είναι ο *σχεδιασμός ενεργειών* (planning). Τέτοιοι πράκτορες συνήθως λαμβάνουν μέσω των αισθήσεών τους συμβολική πληροφορία απευθείας από το περιβάλλον, με αποτέλεσμα να αμφισβητείται το κατά πόσο η διαδικασία αίσθησης είναι πραγματικά αυτόνομη.

Τα προβλήματα της έλλειψης εργαλείων ανάπτυξης στο χώρο των εικονικών περιβαλλόντων αντικατοπτρίζονται, όπως είναι φυσικό, και στην εξειδικευμένη περιοχή των εικονικών πρακτόρων. Έτσι, ενώ τα τελευταία χρόνια, κυρίως λόγω της εκτενούς χρήσης των τρισδιάστατων γραφικών στα παιχνίδια με υπολογιστή, έχουν κατασκευαστεί κάποιες μηχανές τρισδιάστατων γραφικών με δυνατότητα ενσωμάτωσης συνθετικών χαρακτήρων, είναι ευθύνη του σχεδιαστή να προγραμματίσει τη συμπεριφορά τους και να τους κάνει να συμπεριφέρονται με αληθοφανή τρόπο. Η μηχανή από μόνη της δεν εγγυάται ότι οι συνθετικοί χαρακτήρες συμπεριφέρονται όπως θα έπρεπε και δεν παρέχει κάποιο μηχανισμό, για να προγραμματιστεί και να ρυθμιστεί εύκολα η συμπεριφορά τους. Το γεγονός αυτό δε βοηθάει ιδιαίτερα στην επαναχρησιμοποίηση των πρακτόρων, καθώς θα χρειαστεί αρκετός επιπλέον προγραμματισμός, για να συνδεθούν τμήματα ενός πράκτορα σε κάποια άλλη εφαρμογή. Επιπροσθέτως, υπάρχουν ορισμένα χαρακτηριστικά και διαδικασίες των εικονικών πρακτόρων, όπως η χρήση κάποιας εσωτερικής μνήμης, η αντίληψη και η δυνατότητα πραγματοποίησης σύνθετων ενεργειών, που φαίνεται να είναι απαραίτητες σε οποιοδήποτε περιβάλλον απαιτεί σύνθετη συμπεριφορά και αληθοφάνεια. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά θα έπρεπε λοιπόν να αποτελούν μέρος της λειτουργικότητας του πράκτορα και όχι να προστίθενται κατά την διάρκεια ανάπτυξης της εφαρμογής.



Εκτός από την έλλειψη εργαλείων ανάπτυξης στην υπάρχουσα έρευνα στο χώρο των ευφυών εικονικών πρακτόρων είναι χαρακτηριστική επίσης και η έλλειψη κοινών μεθοδολογιών και αρχιτεκτονικών για την κατασκευή τέτοιων χαρακτήρων και την ενσωμάτωσή τους σε ευρύτερες εφαρμογές. Οι δυνατότητες, η λειτουργικότητα και ο τρόπος μοντελοποίησης τόσο των εικονικών περιβαλλόντων, όσο και των πρακτόρων που κατοικούν σε αυτά, διαφέρει από εφαρμογή σε εφαρμογή στην τρέχουσα βιβλιογραφία, με αποτέλεσμα να είναι ιδιαίτερα δύσκολο να γίνει συντονισμένη έρευνα προς μια κοινή κατεύθυνση. Η σημερινή απουσία κοινών πρωτοκόλλων και τυποποιήσεων δυσκολεύει αφάνταστα την αξιοποίηση και ενσωμάτωση τμημάτων κώδικα από άλλες προσεγγίσεις, με αποτέλεσμα να επιβαρύνεται ιδιαίτερα η διαδικασία ανάπτυξης.

Τέλος, η ανάπτυξη ενός μοντέλου πράκτορα με ικανότητες τόσο σε φυσικό, όσο και σε γνωσιακό επίπεδο, παρουσιάζει ιδιαίτερα προβλήματα λόγω της δυσκολίας διασύνδεσης μεταξύ των δύο αυτών επιπέδων. Η δυσκολία έγκειται στο γεγονός ότι οι ερευνητικές θεωρίες σε κάθε ένα από τα δύο αυτά επίπεδα βασίζονται σε διαφορετικούς τρόπους αναπαράστασης του κόσμου και των αντικειμένων του. Στους φυσικούς πράκτορες ο κόσμος αναπαρίσταται με μεγάλη λεπτομέρεια και χρησιμοποιούνται τεχνικές ελέγχου παρόμοιες με αυτές του χώρου της ρομποτικής. Αντίθετα, οι γνωσιακοί πράκτορες χρησιμοποιούν συμβολική αναπαράσταση του κόσμου, η οποία εμπεριέχει υψηλότερου επιπέδου πληροφορίες, και βασίζονται σε πολύπλοκα μοντέλα συμπεριφοράς αξιοποιώντας τις θεωρίες των ευφυών πρακτόρων, της λογικής και της συμβολικής τεχνητής νοημοσύνης. Έτσι, σε μια κοινή αρχιτεκτονική παρουσιάζεται το γνωστό από τους ευφυείς πράκτορες *πρόβλημα της μετάφρασης* (transduction problem), δηλαδή πώς θα μεταφραστεί η λεπτομερής αναπαράσταση του κόσμου σε μια επαρκή και ακριβή συμβολική περιγραφή.

### 1.3 Περιεχόμενο της διατριβής

Η παρούσα διατριβή έχει ως αντικείμενο την εισαγωγή ευφυών πρακτόρων σε εικονικά περιβάλλοντα και στόχος της είναι να συνεισφέρει στην επίλυση ορισμένων από τα παραπάνω προβλήματα που εμφανίζονται στους εικονικούς πράκτορες και τα εικονικά περιβάλλοντα γενικότερα. Προτείνεται ένα γενικό μοντέλο ευφυών εικονικών πρακτόρων, που επιτρέπει την ενσωμάτωση ικανοτήτων τόσο σε φυσικό όσο και σε γνωσιακό επίπεδο, ενώ διατηρούνται οι παραδοσιακοί τρόποι

αναπαράστασης του κόσμου στα δύο αυτά επίπεδα ευνοώντας την αξιοποίηση υπαρχόντων αλγορίθμων από τους χώρους των ευφυών πρακτόρων αλλά και των γραφικών. Επιπλέον, παρουσιάζεται αναλυτικά η κατασκευή και η χρήση του SimHuman, μιας πλατφόρμας ανάπτυξης εικονικών περιβαλλόντων με ευφυείς πράκτορες, που αναπτύχθηκε με βάση την προτεινόμενη αρχιτεκτονική. Στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά η γλώσσα SLaVE, μια υψηλού επιπέδου γλώσσα ειδικά κατασκευασμένη για την πλατφόρμα SimHuman, η οποία επιτρέπει τον προσδιορισμό κανόνων αντίληψης και την περιγραφή σύνθετων ενεργειών των εικονικών πρακτόρων, διευκολύνοντας κατ' αυτό τον τρόπο την ανάπτυξη τους αλλά και την προσαρμογή τους σε διαφορετικού τύπου περιβάλλοντα. Τέλος, εξετάζεται ξεχωριστά η ιδιαίτερη περίπτωση των εικονικών περιβαλλόντων στο Web και περιγράφονται οι δυνατότητες ενσωμάτωσης ευφυών πρακτόρων σε αυτά.

Το προτεινόμενο μοντέλο ευφυών εικονικών πρακτόρων χρησιμοποιεί ως βασικό αντικείμενο τον κόσμο, που αναπαριστά το ίδιο το εικονικό περιβάλλον. Ο κόσμος αποτελείται από *χαρακτηριστικά*, δηλαδή μεταβλητές που μοντελοποιούν διάφορες γενικές ιδιότητες, από *οντότητες* που μπορούν να είναι αντικείμενα ή πράκτορες, και από *νόμους*, δηλαδή κανόνες που καθορίζουν την επίδραση των ενεργειών πάνω στην κατάσταση του κόσμου. Η λειτουργία του κόσμου γίνεται ανά *χρονικά πλαίσια* (timeframes), σε κάθε ένα από τα οποία οι πράκτορες αποστέλλουν ένα σύνολο *στοιχειωδών ενεργειών*, δηλαδή ενεργειών που εκτελούνται σε ένα χρονικό πλαίσιο, όπως π.χ. μετατοπίσεις μελών του σώματος. Στη συνέχεια, ένας μηχανισμός εφαρμογής νόμων βασίζεται στις στοιχειώδεις ενέργειες, στις τρέχουσες τιμές των χαρακτηριστικών και στους νόμους, για να υπολογίσει την επόμενη κατάσταση του κόσμου, δηλαδή τις μεταβολές στα χαρακτηριστικά του κόσμου και των οντοτήτων του.

Ο κάθε πράκτορας χρησιμοποιεί δύο τρόπους αναπαράστασης του κόσμου, τη *μνήμη*, που καταγράφει το σύνολο των οντοτήτων και τις τιμές των χαρακτηριστικών τους, και τις *πεποιθήσεις*, οι οποίες περιέχουν ένα σύνολο προτάσεων που περιγράφουν τον κόσμο σε συμβολική μορφή. Με βάση τη διπλή αυτή αναπαράσταση η αρχιτεκτονική των πρακτόρων μοιράζεται σε δύο επίπεδα, τα οποία περιλαμβάνουν κάποια επιμέρους τμήματα. Το φυσικό επίπεδο επικοινωνεί απευθείας με τον κόσμο με τα τμήματά *αίσθησης* και *ενέργειας*, ενώ το γνωσιακό επικοινωνεί με το φυσικό με τα

τμήματα αντίληψης και εκτέλεσης έργου και χρησιμοποιεί το τμήμα απόφασης για την υψηλού επιπέδου συμπεριφορά του πράκτορα. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του ο κάθε πράκτορας χρησιμοποιεί τις αισθήσεις του, για να συλλέξει πληροφορίες για τα αντικείμενα που βρίσκονται στο πεδίο όρασής του, και τα αποθηκεύει στη δική του «εικόνα» του κόσμου, τη μνήμη του. Χρησιμοποιεί στη συνέχεια την αντίληψη για να ενημερώσει τις πεποιθήσεις του για τον κόσμο και, με βάση αυτές και τις τρέχουσες τιμές των χαρακτηριστικών, παίρνει αποφάσεις που καταλήγουν σε υψηλού επιπέδου ενέργειες, που ονομάζονται *έργα*. Αυτά, στη συνέχεια, αναλύονται ακόμα περισσότερο σε απλές ενέργειες από το τμήμα εκτέλεσης έργου και εκτελούνται ως ακολουθίες στοιχειωδών ενεργειών σε συνεχόμενα χρονικά πλαίσια.

Με βάση το προτεινόμενο μοντέλο ευφυών εικονικών πρακτόρων κατασκευάστηκε το SimHuman, ένα γενικού τύπου εργαλείο ανάπτυξης εικονικών περιβαλλόντων με ευφυείς πράκτορες, που μπορεί να αξιοποιηθεί σε ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών. Το SimHuman είναι μια πλατφόρμα που βοηθάει τους προγραμματιστές στο σχεδιασμό, την απεικόνιση και τη συνθετική κίνηση χαρακτήρων με ενσωματωμένα χαρακτηριστικά, όπως αντίστροφη κινηματική, μοντελοποίηση φυσικών νόμων, αναγνώριση σύγκρουσης και εικονική όραση. Η πλατφόρμα δε βασίζεται σε προκαθορισμένους χαρακτήρες και αντικείμενα και προσφέρει έτσι τη δυνατότητα αξιοποίησης υπαρχόντων μοντέλων κόσμων και πρακτόρων, ενώ παράλληλα επιτρέπει στον προγραμματιστή να έχει έλεγχο πάνω στη συμπεριφορά και τις μεταβολές τόσο των πρακτόρων όσο και του ίδιου του κόσμου μέσω συναρτήσεων επανάκλησης (callback).

Η πλατφόρμα αποτελείται από μια βιβλιοθήκη προγραμματισμού και δύο βοηθητικές εφαρμογές. Η βιβλιοθήκη είναι υλοποιημένη σε γλώσσα C++ και επιτρέπει στους χρήστες να ορίσουν και να μετακινήσουν τρισδιάστατα σκηνικά με αυθαίρετο αριθμό αντικειμένων, εικονικών πρακτόρων και ενσαρκώσεων. Οι δύο βοηθητικές εφαρμογές είναι το Agent Designer, ένα πρόγραμμα που φορτώνει μοντέλα πρακτόρων και βοηθάει τους χρήστες στο σχεδιασμό του σκελετού και στη δημιουργία βιβλιοθηκών συνθετικής κίνησης, και το Scene Designer, που επιτρέπει στους χρήστες να στήσουν ένα σκηνικό τοποθετώντας τα επιμέρους αντικείμενα στο χώρο και να οπτικοποιήσουν ακολουθίες από ενέργειες των πρακτόρων.



Ενώ όμως το μοντέλο συμπεριφοράς του πράκτορα δεν μπορεί να είναι προκαθορισμένο, καθώς η επιθυμητή λειτουργικότητά του επηρεάζεται άμεσα από την εφαρμογή, στο SimHuman προτείνεται ένα μοντέλο ενιαίας αντιμετώπισης των διαδικασιών της αντίληψης και εκτέλεσης έργου με την χρήση της γλώσσας SLaVE (Scripting Language for Virtual Environments). Με τη γλώσσα αυτή ο προγραμματιστής μπορεί να ορίσει σε υψηλό επίπεδο τους κανόνες αντίληψης και τις περιγραφές των έργων που είναι σε θέση να εκτελέσει ο πράκτορας.

Οι κανόνες αντίληψης είναι μια σειρά δηλώσεων της μορφής *συνθήκη* -> *κατηγορήμα*, όπου μια συνθήκη είναι είτε μια από τις συναρτήσεις της SLaVE με τύπο επιστροφής Boolean ή ένα από τα κατηγορήματα που έχουν οριστεί από το χρήστη. Στην πρώτη περίπτωση η τιμή της συνθήκης είναι η τιμή επιστροφής της συνάρτησης, ενώ στη δεύτερη περίπτωση η συνθήκη είναι αληθής αν και μόνο αν το κατηγορήμα υπάρχει στις πεποιθήσεις του πράκτορα. Από την άλλη μεριά τα έργα προγραμματίζονται με διαδικαστικό τρόπο με τη χρήση εντολών έργου. Κάθε έργο έχει μια δήλωση (το όνομά του και τα ορίσματά του), έναν αριθμό τοπικών μεταβλητών και ένα block από εντολές έργου που ορίζουν τον τρόπο εκτέλεσής του. Ένα block ορίζεται στη μορφή  $c_1; c_2; \dots; c_n$ , όπου τα  $c_1, c_2, \dots, c_n$  είναι εντολές έργου. Οι πιθανές εντολές έργου είναι:

- *<ενέργεια>*: εκτελείται μια μοναδική ενέργεια
- *PAR( <block b1>, <block b2> )*: Τα block b1 και b2 εκτελούνται παράλληλα
- *DO( <block b> ) UNTIL c*: Το block b εκτελείται επαναλαμβανόμενα μέχρι να αληθεύει η συνθήκη c
- *IF <bool c> THEN (<block b1>) ELSE (<block b2>)*: Εάν η συνθήκη c είναι αληθής τότε εκτελείται το block b1, αλλιώς εκτελείται το block b2

Εκτός όμως από τις αυτόνομες (standalone) εφαρμογές πολλές φορές είναι επιθυμητή η χρήση εικονικών περιβαλλόντων στο World Wide Web. Η προτίμηση αυτή στηρίζεται αφενός στην ευκολία που προσφέρει το Web, διότι το περιβάλλον μπορεί να εκτελείται απευθείας ως τμήμα του προγράμματος πλοήγησης (browser), και αφετέρου στη δυνατότητα ενίσχυσης του εικονικού κόσμου με επιπλέον πληροφορίες μέσω της διασύνδεσής του με υπάρχουσες σελίδες του διαδικτύου σε μια ευρύτερη



πολυμεσική εφαρμογή. Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί ένα πρότυπο για την απεικόνιση τρισδιάστατων κόσμων στο διαδίκτυο, η γλώσσα VRML97, η οποία επιτρέπει τον εξωτερικό χειρισμό των αντικειμένων της από την γλώσσα Java μέσω του πρωτοκόλλου διασύνδεσης EAI (External Authoring Interface). Το προτεινόμενο μοντέλο ευφυών εικονικών πρακτόρων προσαρμόζεται στις ιδιαιτερότητες των παραπάνω τεχνολογιών και αναλύεται ξανά τόσο σε επίπεδο αρχιτεκτονικής όσο και σε επίπεδο υλοποίησης. Παράλληλα εξετάζεται και η περίπτωση των καταναμημένων περιβαλλόντων με ευφυείς πράκτορες στο διαδίκτυο.

## 1.4 Δομή της διατριβής

Η παρούσα διατριβή χωρίζεται σε 9 κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο είναι το παρόν, ενώ τα υπόλοιπα 8 είναι δομημένα ως εξής:

Στο κεφάλαιο 2 με τίτλο «Εικονικά Περιβάλλοντα» γίνεται μια γενική περιγραφή του χώρου των εικονικών περιβαλλόντων και των τεχνολογιών τους. Εισαγωγικά δίνεται μια σειρά ορισμών που αφορούν τα εικονικά περιβάλλοντα και την εικονική πραγματικότητα γενικότερα και γίνεται μια διάκριση μεταξύ των διαφόρων ειδών, ανάλογα με τον τύπο υλικού που χρησιμοποιούν. Στη συνέχεια, γίνεται λεπτομερής επισκόπηση διαφόρων σχεδιαστικών ζητημάτων που αφορούν στο μοντέλο του περιβάλλοντος και στους διάφορους τρόπους αλληλεπίδρασης του χρήστη με αυτό, και παρατίθενται οι σχετικές τεχνολογίες τόσο από πλευράς υλικού, όσο και λογισμικού. Τέλος, παρουσιάζεται ένας αριθμός από σημαντικές εφαρμογές σε διάφορους χώρους, επιστημονικούς και μη, που αναδεικνύουν τη χρησιμότητα των εικονικών περιβαλλόντων ως μέσο αλληλεπίδρασης με το χρήστη.

Στο κεφάλαιο 3 με τίτλο «Εικονικοί Πράκτορες» αναλύεται η εξειδικευμένη περιοχή των πρακτόρων σε εικονικά περιβάλλοντα. Μετά την εισαγωγική περιγραφή και τους σχετικούς ορισμούς γίνεται μια ταξινόμηση των εικονικών πρακτόρων ανάλογα με τις ιδιότητες, στις οποίες έχει δοθεί έμφαση κατά το σχεδιασμό τους, ενώ ακολούθως περιγράφονται διαδοχικά τα διάφορα στάδια μοντελοποίησής τους. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρονται οι διάφορες θεωρίες γύρω από τους τρόπους απεικόνισης, κίνησης, αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον και συμπεριφοράς ενός εικονικού πράκτορα, ενώ παρατίθενται και οι γενικές θεωρίες ευφυών πρακτόρων που βρίσκουν εφαρμογή στο χώρο αυτό. Στο τέλος γίνεται περιγραφή των πιο

σημαντικών ολοκληρωμένων συστημάτων απεικόνισης και συνθετικής κίνησης εικονικών πρακτόρων και παρατίθενται συνοπτικά οι εφαρμογές τους.

Στο κεφάλαιο 4 με τίτλο «Μοντέλο Ευφών Εικονικών Πρακτόρων» προτείνεται ένα λεπτομερές μοντέλο σχεδιασμού και ανάπτυξης ευφών εικονικών πρακτόρων, δηλαδή αυτόνομων πρακτόρων με ικανότητες λήψης αποφάσεων σε εικονικά περιβάλλοντα. Αρχικά παρουσιάζεται η λειτουργία του κόσμου και των οντοτήτων του και εξετάζονται θέματα, όπως οι στοιχειώδεις ενέργειες που μπορούν να εφαρμόσουν οι πράκτορες στον κόσμο και οι νόμοι του κόσμου, που καθορίζουν τα αποτελέσματα των ενεργειών αυτών πάνω στις οντότητες. Κατόπιν, παρουσιάζεται το προτεινόμενο μοντέλο ευφών εικονικών πρακτόρων και περιγράφονται αναλυτικά τα επιμέρους τμήματά της αρχιτεκτονικής του, δηλαδή η αίσθηση, η αντίληψη, η απόφαση, η εκτέλεση έργου και η ενέργεια, ενώ αναλύεται και ο λόγος ύπαρξης δύο διαφορετικών αναπαραστάσεων του κόσμου. Δίνεται έμφαση στον τρόπο επικοινωνίας μεταξύ των τμημάτων της αρχιτεκτονικής και στους μετασχηματισμούς δεδομένων που λαμβάνουν χώρα σε αυτά. Τέλος, δίνονται ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα και συγκρίσεις με σχετικές ερευνητικές εργασίες.

Στο κεφάλαιο 5 με τίτλο «Το περιβάλλον SimHuman» παρουσιάζεται το SimHuman, μια πλατφόρμα ανάπτυξης εφαρμογών με εικονικά περιβάλλοντα, η οποία κατασκευάστηκε με βάση το προτεινόμενο μοντέλο για ευφείς εικονικούς πράκτορες. Πρώτα δίνεται μια γενική περιγραφή της πλατφόρμας και των επιμέρους τμημάτων της και περιγράφεται ο τρόπος χρήσης της και τα απαιτούμενα αρχεία εισόδου για το σχεδιασμό ενός περιβάλλοντος με συνθετικούς χαρακτήρες. Ύστερα περιγράφεται αναλυτικά η μοντελοποίηση τόσο του περιβάλλοντος όσο και των πρακτόρων για όλα τα τμήματα της αρχιτεκτονικής και δίνονται αναλυτικά οι αλγόριθμοι λειτουργίας τους. Αναλύονται θέματα, όπως η μοντελοποίηση φυσικών νόμων, η αναπαράσταση του δέρματος των πρακτόρων για την αποφυγή διασπάσεων, η αντίστροφη κινηματική, η εύρεση μονοπατιού, τα διαθέσιμα μοντέλα όρασης του πράκτορα, η παραλληλία των ενεργειών και ο τρόπος αναπαράστασης και χειρισμού των πεποιθήσεων. Τελικά παρουσιάζονται ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την λειτουργικότητα και τις δυνατότητες αξιοποίησης της πλατφόρμας.

Το κεφάλαιο 6 με τίτλο «Η γλώσσα SLaVE» παρουσιάζει αναλυτικά τη δομή και τη λειτουργία της γλώσσας SLaVE για τον προγραμματισμό των κανόνων αντίληψης και

τον ορισμό των έργων των εικονικών πρακτόρων της πλατφόρμας SimHuman. Παρουσιάζονται αναλυτικά οι τύποι δεδομένων, οι σταθεροί όροι, οι μεταβλητές και οι διαθέσιμες συναρτήσεις της γλώσσας και εξηγείται ο τρόπος υλοποίησής των σημαντικότερων από αυτές. Έπεται ανάλυση του τρόπου σύνταξης των κανόνων αντίληψης και του τρόπου ορισμού των έργων και περιγράφεται αναλυτικά η λειτουργία των εντολών αυτών. Στο πέρας του κεφαλαίου δίνεται ένας αριθμός από αναλυτικά παραδείγματα χρήσης της γλώσσας σε διάφορες περιπτώσεις εφαρμογών και παρατίθενται τα συμπεράσματα σε ό,τι αφορά τη χρησιμότητά της και τις δυνατότητες αξιοποίησής της για την προσαρμογή των πρακτόρων σε διαφορετικά περιβάλλοντα ή και σε διαφορετικά μοντέλα συμπεριφοράς.

Στο κεφάλαιο 7 με τίτλο «Ευφυείς Εικονικοί Πράκτορες στον Παγκόσμιο Ιστό» εξετάζεται η ιδιαίτερη περίπτωση των εικονικών περιβαλλόντων στον Παγκόσμιο Ιστό (World Wide Web) και η δυνατότητα εισαγωγής ευφυών πρακτόρων σε αυτά. Αρχικά παρουσιάζονται αναλυτικά οι ιδιαιτερότητες των εφαρμογών στο Διαδίκτυο και της γλώσσας VRML ειδικότερα, καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης τους έναντι των αυτόνομων (standalone) εφαρμογών. Ακολουθεί παρουσίαση του μοντέλου ευφυών εικονικών πρακτόρων προσαρμοσμένου στις απαιτήσεις της συγκεκριμένης πλατφόρμας, τόσο σε ό,τι αφορά τον κόσμο, όσο και σε ό,τι αφορά τους πράκτορες, και εξετάζεται το ζήτημα της διασύνδεσης με άλλες γλώσσες προγραμματισμού. Στον επίλογο παρουσιάζεται αναλυτικά ένα παράδειγμα περιβάλλοντος με εικονικό πράκτορα κατασκευασμένο με βάση το προτεινόμενο μοντέλο.

Στο κεφάλαιο 8 με τίτλο «Παραδείγματα» παρουσιάζονται τέσσερα παραδείγματα υλοποίησης των προτεινόμενων θεωριών. Το πρώτο είναι το «Εικονικό Πανεπιστήμιο», μια εφαρμογή παρουσίασης στον Παγκόσμιο Ιστό, όπου ένας εικονικός πράκτορας αναλαμβάνει το ρόλο του ξεναγού. Το δεύτερο παρουσιάζει τη σύνδεση ενός εικονικού πράκτορα με ένα σχεδιαστή ενεργειών και οπτικοποιεί το πρόβλημα του κόσμου των κύβων. Στο επόμενο παράδειγμα γίνεται χρήση ενός εικονικού πράκτορα για την παρουσίαση εκπαιδευτικού υλικού. Έχει υλοποιηθεί με την πλατφόρμα SimHuman και αξιοποιεί κυρίως τις φυσικές ικανότητες του πράκτορα. Το τελευταίο παράδειγμα είναι μια μικρή εφαρμογή αλληλεπιδραστικής αφήγησης ιστορίας, όπου εκτελείται ένα σενάριο με πολλαπλούς πράκτορες, στο



οποίο ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να μεταβάλει την κατάσταση του κόσμου και να παρατηρήσει τις μεταβολές του σεναρίου. Το παράδειγμα αυτό έχει κατασκευαστεί με την πλατφόρμα SimHuman και τη χρήση της γλώσσας SLaVE.

Στο κεφάλαιο 9 με τίτλο «Συμπεράσματα» παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από την ανάπτυξη και χρήση των παραπάνω θεωριών και εργαλείων και παρατίθενται οι δυνατότητες μελλοντικής αξιοποίησής τους και τα ανοιχτά ερευνητικά προβλήματα.

Στο τέλος της διατριβής υπάρχουν αναλυτικά οι βιβλιογραφικές αναφορές και ένα λεξικό όρων που περιλαμβάνει όλους τους εξειδικευμένους αγγλικούς όρους πληροφορικής που αποδόθηκαν στα Ελληνικά στη διατριβή.

## 1.5 Συνεισφορά και Δημοσιεύσεις

Η συνεισφορά της παρούσας διατριβής στο χώρο των εικονικών πρακτόρων και των εικονικών περιβαλλόντων γενικότερα συνοψίζεται στα παρακάτω σημεία:

- Το προτεινόμενο μοντέλο ευφώνων εικονικών πρακτόρων αποτελεί μια πρωτότυπη προσέγγιση προς ένα γενικό μοντέλο εικονικών περιβαλλόντων με πράκτορες που λειτουργούν τόσο σε γνωσιακό όσο και σε φυσικό επίπεδο.
- Η πλατφόρμα SimHuman καλύπτει ένα μεγάλο κενό στα υπάρχοντα εργαλεία ανάπτυξης περιβαλλόντων με εικονικούς πράκτορες, καθώς συνδυάζει στοιχεία από το χώρο των γραφικών και της συνθετικής κίνησης αλλά και από αυτόν των αυτόνομων πρακτόρων, επιτρέποντας έτσι το σχεδιασμό και την ανάπτυξη εικονικών πρακτόρων με αληθοφανή χαρακτηριστικά στην κίνηση και τη συμπεριφορά τους.
- Η γλώσσα SLaVE παρέχει τη δυνατότητα ορισμού έργων ως συνδυασμού ενεργειών με σειριακή, παράλληλη ή και υπό συνθήκη εκτέλεσή τους. Αυτό που τη διαφοροποιεί από τις υπάρχουσες γλώσσες περιγραφής πολύπλοκων ενεργειών είναι η ικανότητα λήψης αποφάσεων σε υψηλό επίπεδο με τη χρήση των ενσωματωμένων συναρτήσεών της, που της επιτρέπει να λειτουργεί αποτελεσματικά τόσο σε στατικά όσο και σε δυναμικά περιβάλλοντα.
- Σε ό,τι αφορά τους κανόνες αντίληψης η γλώσσα SLaVE επιτρέπει στο χρήστη να ορίσει ο ίδιος τον τρόπο, με τον οποίο θα γεννιούνται οι πεποιθήσεις του

πράκτορα από την τρέχουσα κατάσταση του κόσμου, και αποτελεί κατά συνέπεια μια λύση του προβλήματος της μετάφρασης στον ειδικό χώρο των ευφυών εικονικών πρακτόρων.

- Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική ευφυών πρακτόρων στο Web αποτελεί επίσης μια πρωτότυπη προσέγγιση προς μια γενική αρχιτεκτονική κατανεμημένων εικονικών περιβαλλόντων στο διαδίκτυο.

Στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής δημοσιεύτηκαν οι παρακάτω ερευνητικές εργασίες σε διεθνή επιστημονικά συνέδρια και σε έγκυρα διεθνή επιστημονικά περιοδικά:

T.Panayiotopoulos, N.Zacharis and S.Vosinakis: Intelligent Guidance in a Virtual University, *Advances in Intelligent Systems: Concepts, Tools and Applications*, (S. Tzafestas ed.), Chapter 10, pp.109-119, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1999.

T. Panayiotopoulos, G.Katsirelos, S.Vosinakis and S.Kousidou: An Intelligent Agent Framework in VRML Worlds, *Advances in Intelligent Systems: Concepts, Tools and Applications*, (S. Tzafestas ed.), Chapter 3, pp.33-43, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1999.

S. Vosinakis, G. Anastassakis and T. Panayiotopoulos: DIVA: Distributed Intelligent Virtual Agents, Workshop on Intelligent Virtual Agents, Virtual Agents 99, The Centre for Virtual Environments, University of Salford, pp. 131-134, Issn 1467-2154, Salford, U.K., September 13, 1999.

T. Panayiotopoulos, S. Vosinakis, S. Kousidou and L. Balafa: Visualising Logic Programs in Virtual Worlds, ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology 1999, (VRST'99), University College London, London U.K., December 20-22, 1999, pp. 186-187, Mel Slater (Ed.), ACM Press, New York, 1999.

T.Panayiotopoulos, S. Vosinakis, J. Kalligatsis and K. Kabassi: Web-based, Dynamic and Intelligent Simulation Systems, Intelligent Systems and Control International Conference (ISC 2000), Honolulu, Hawaii, USA, August 14-16, 2000, pp. 398-403.

- S. Vosinakis and T. Panayiotopoulos: SimHuman: A Platform for Real-Time Virtual Agents with Planning Capabilities, *Lecture Notes in Artificial Intelligence* , Vol. 2190, Springer-Verlag, pp.210-223, 2001.
- S. Vosinakis and T. Panayiotopoulos: Design and Implementation of Synthetic Humans for Virtual Environments and Simulation Systems, *Advances in Signal Processing and Computer Technologies*, G.Antoniou, N.E. Mastorakis, O. Planfilov (Eds.), Electrical and Computer Engineering Series, WSES Press, pp.315-320, 2001
- V.S. Belessiotis, S. Vosinakis and T. Panayiotopoulos: The use of the Virtual Agent SimHuman in the ISM scenario system, *Advances in Automation, Multimedia and Video Systems, and Modern Computer Science*, V.V. Kluev, C.E.D'Attellis, N.E. Mastorakis (Eds.), Electrical and Computer Engineering Series, WSES Press, pp.97-101, 2001.
- S. Vosinakis and T. Panayiotopoulos: A Task Definition Language for Virtual Agents, *Journal of WSCG*, Vol.11, No.1, ISSN 1213-6972, UNION Agency – Science Press, pp. 512-519, 2003
- S. Vosinakis and T. Panayiotopoulos: A tool for constructing 3D environments with Virtual Agents, *Multimedia Tools and Applications journal (MTAP)*, Kluwer Academic Publishers, 2003 (in press).



Πανεπιστήμιο Πειραιώς

## 2 ΕΙΚΟΝΙΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ

Το παρόν κεφάλαιο δίνει μια συνοπτική περιγραφή των εικονικών περιβαλλόντων και των τεχνολογιών που σχετίζονται με αυτά. Εισαγωγικά δίνεται μια σειρά ορισμών, που αφορούν τα εικονικά περιβάλλοντα και την εικονική πραγματικότητα γενικότερα, και γίνεται μια διάκριση μεταξύ των διαφόρων ειδών, ανάλογα με τον τύπο υλικού που χρησιμοποιούν. Στη συνέχεια γίνεται λεπτομερής επισκόπηση διαφόρων σχεδιαστικών ζητημάτων, που αφορούν στο μοντέλο του περιβάλλοντος και στους διάφορους τρόπους αλληλεπίδρασης του χρήστη με αυτό, και παρατίθενται οι σχετικές τεχνολογίες τόσο από πλευράς υλικού όσο και λογισμικού. Τέλος, παρουσιάζεται ένας αριθμός από σημαντικές εφαρμογές σε διάφορους χώρους, επιστημονικούς και μη, που αναδεικνύουν τη χρησιμότητα των εικονικών περιβαλλόντων ως μέσο αλληλεπίδρασης με το χρήστη.

### 2.1 Εισαγωγή

Τα εικονικά περιβάλλοντα, που αναφέρονται στη βιβλιογραφία και ως *συστήματα εικονικών περιβαλλόντων* (virtual environment systems) ή και ως *εικονικοί κόσμοι* (virtual worlds), είναι σε γενικές γραμμές τα συστήματα τα οποία στο παρελθόν αναφέρονταν με το γενικότερο όρο *εικονική πραγματικότητα*. Δυστυχώς, μέχρι σήμερα δεν έχουν υπάρξει γενικώς αποδεκτοί ορισμοί για τους παραπάνω όρους. Οι Loffler και Anderson (1994) ορίζουν την εικονική πραγματικότητα ως εξής:

«Εικονική πραγματικότητα είναι ένα τρισδιάστατο περιβάλλον προσομοίωσης σε υπολογιστή του οποίου η απεικόνιση γίνεται σε πραγματικό χρόνο και εξαρτάται από τη συμπεριφορά του χρήστη»

Ο Ellis (1993) παρέχει έναν πιο λεπτομερή ορισμό:

«Ένα εικονικό περιβάλλον αποτελείται από περιεχόμενο (αντικείμενα και δράστες (actors)), γεωμετρία και δυναμική, με ένα εγωκεντρικό πλαίσιο αναφοράς, που περιλαμβάνει την αντίληψη των αντικειμένων σε βάθος και που εγείρει διάφορες αισθήσεις ταυτόχρονα»

Τέλος, ο Gigante (1993) ορίζει την εμπειρία της αλληλεπίδρασης με ένα εικονικό περιβάλλον:

«Η εικονική πραγματικότητα είναι μια εμπυθισμένη, πολυ-αισθητική εμπειρία. Χαρακτηρίζεται από την ψευδαίσθηση της συμμετοχής σε ένα συνθετικό περιβάλλον και όχι απλώς από την εξωτερική παρατήρηση ενός τέτοιου περιβάλλοντος».

Με βάση τους παραπάνω ορισμούς τα βασικά χαρακτηριστικά των εικονικών περιβαλλόντων φαίνεται να είναι τα τρισδιάστατα γραφικά και ένα μοντέλο περιβάλλοντος, που αναπαριστά μια τοποθεσία από την πραγματική ζωή ή κάποια τεχνητή δομή. Ο λόγος για τον οποίο έχει επικρατήσει τα τελευταία χρόνια ο όρος «εικονικό περιβάλλον» έναντι του όρου «εικονική πραγματικότητα» είναι, γιατί στα συστήματα αυτά αφενός δε γίνεται προσπάθεια μοντελοποίησης ολόκληρου του σύμπαντος αλλά ενός περιορισμένου περιβάλλοντος ανάλογα με την εφαρμογή και αφετέρου γιατί δεν είναι υποχρεωτικό η αναπαράσταση να αφορά κάποια ρεαλιστική δομή, αλλά μπορεί κάλλιστα να είναι και κάποιος φανταστικός χώρος με ιδιόμορφους νόμους.

Ένας χρήστης εννοιολογικά «κατοικεί» στο περιβάλλον έχοντας μια τρέχουσα θέση σε αυτό και, κατά συνέπεια, μια περιορισμένη άποψη του χώρου. Έχει την ικανότητα να ταξιδεύει σε αυτό και να αλληλεπιδρά με τα αντικείμενά που τον περιβάλλουν. Τόσο η αντίληψη του περιβάλλοντος όσο και η αλληλεπίδραση του χρήστη με αυτό μπορούν να μοντελοποιηθούν με βάση την πραγματικότητα. Στην περίπτωση της αντίληψης, ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η χρήση πολυαισθητήριων ερεθισμάτων που μιμούνται τα ερεθίσματα του πραγματικού κόσμου ενισχύοντας έτσι την αληθοφάνεια του εικονικού περιβάλλοντος. Αντίστοιχο παράδειγμα αλληλεπίδρασης είναι το βάδισμα του χρήστη πάνω σε κυλιόμενο επίπεδο που προκαλεί την πλοήγησή του στο εικονικό περιβάλλον.

### 2.1.1 Κατηγορίες

Τα εικονικά περιβάλλοντα συνήθως συνδέονται με εξειδικευμένο υλικό που παρέχει πολύπλοκα συστήματα διεπαφής και προσφέρει νέες δυνατότητες αλληλεπίδρασης του χρήστη. Ανάλογα με τη σχέση τους με τον πραγματικό κόσμο και τις συσκευές που χρησιμοποιούνται τα εικονικά περιβάλλοντα χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:



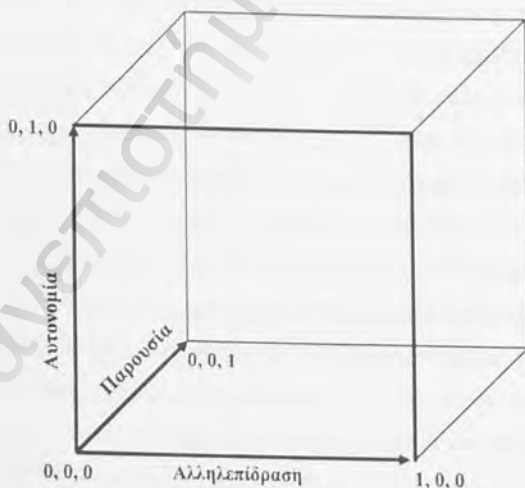
- *Περιβάλλοντα εμπύθισης (immersive environments)*: οι χρήστες είναι εφοδιασμένοι με οθόνη προσαρμοσμένη στο κεφάλι (head-mounted display) και δε δέχονται δεδομένα από το φυσικό κόσμο (Slater and Usoh, 1995).
- *Περιβάλλοντα οθόνης (desktop environments)*: Η αναπαράσταση γίνεται σε οθόνη υπολογιστή και έτσι ο χρήστης εξακολουθεί να έχει αντίληψη του φυσικού κόσμου.
- *Περιβάλλοντα προβολής (projected environments)*: Το εικονικό περιβάλλον προβάλλεται σε ένα φυσικό χώρο, όπως ένα δωμάτιο (Wloka, 1996; Hirose, 1996) ή μια επιφάνεια εργασίας (Kruger et al., 1995).
- *Ενισχυμένα περιβάλλοντα (augmented environments)*: Τα εικονικά αντικείμενα προβάλλονται πάνω στον πραγματικό κόσμο, πιθανώς με τη χρήση οθονών προσαρμοσμένων στο κεφάλι που επιτρέπουν στο χρήστη να βλέπει και μέσα από αυτές (see through) (Adam, 1993).

Οι παραπάνω τρόποι διεπαφής με εικονικά περιβάλλοντα έχουν μια σειρά πλεονεκτημάτων αλλά και μειονεκτημάτων. Τα περιβάλλοντα εμπύθισης έχουν το μεγάλο προσόν ότι προσφέρουν στο χρήστη την απόλυτη εμπειρία του περιβάλλοντος. Παρόλα αυτά, απομονώνουν το χρήστη, χρησιμοποιούν πολύ εξειδικευμένη και ακριβή τεχνολογία και έχουν συνδεθεί με διάφορα προβλήματα υγείας (Travis et al., 1994). Τα περιβάλλοντα οθόνης αποφεύγουν αυτά τα προβλήματα, αλλά δεν παρέχουν εμπειρία πλήρους εμπύθισης. Αντίθετα, βασίζονται στην «ψυχολογική εμπύθιση» (Robertson et al., 1993), δηλαδή σε αρκετές περιπτώσεις καταφέρνουν να επιστήσουν όλη την προσοχή του χρήστη στο περιβάλλον. Τα περιβάλλοντα προβολής περιλαμβάνουν ένα πιο φυσικό σκηνικό και τη δυνατότητα να μοιραστεί η εμπειρία και με άλλους χρήστες (Kruger et al., 1995), απαιτούν όμως κι αυτά τη χρήση εξειδικευμένης τεχνολογίας. Τέλος, τα μεικτά περιβάλλοντα προσθέτουν στον πραγματικό κόσμο επιπλέον εικονικό περιεχόμενο και πληροφορίες (Adam, 1993), αλλά απαιτούν μεγάλη ακρίβεια στο συσχετισμό μεταξύ της πραγματικής εικόνας και της προβαλλόμενης εικονικής πληροφορίας (Wloka, 1996).

### 2.1.2 Ταξινόμηση

Ο Zeltzer (1992) έχει προτείνει μια τρισδιάστατη ταξινόμηση των εικονικών περιβαλλόντων, γνωστή ως κύβος *Αυτονομίας – Αλληλεπίδρασης – Παρουσίας* (Autonomy – Interaction – Presence, AIP cube). Κάθε άξονας του κύβου μετράει τα επίπεδα αυτονομίας, αλληλεπίδρασης και παρουσίας σε κλίμακα από μηδέν έως ένα (εικόνα 2.1). Τα επίπεδα μετρώνται ως εξής:

- *Αυτονομία*: η ικανότητα των αντικειμένων του εικονικού περιβάλλοντος να δρουν από μόνα τους. Τα αντικείμενα μπορούν να λειτουργούν ξεχωριστά υπό τον έλεγχο ενός προγράμματος υπολογιστή είτε ακολουθώντας κάποιο προκαθορισμένο σενάριο, είτε παρουσιάζοντας προσαρμοστική συμπεριφορά.
- *Αλληλεπίδραση*: το ποσοστό στο οποίο το σύστημα παρέχει έλεγχο των αντικειμένων του εικονικού περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο και με αληθοφανή τρόπο.
- *Παρουσία*: το εύρος και η πιστότητα των αισθητήριων καναλιών του χρήστη που ελέγχει το περιβάλλον.



Εικόνα 2.1: Το μοντέλο του Zeltzer

Είναι γενικώς παραδεκτό ότι το σημείο (1,1,1) του κύβου αναπαριστά το απόλυτο εικονικό περιβάλλον, όπου, σύμφωνα με τον Kalawsky, «η προσομοίωση των αισθήσεων θα είναι τόσο πλήρης, που δε θα είμαστε σε θέση να ξεχωρίσουμε το

εικονικό περιβάλλον από τον πραγματικό κόσμο» (Kalawsky, 1993). Παρόλα αυτά, σύμφωνα με τον Zeltzer «δεν είναι δυνατόν να προσομοιωθεί ο φυσικός κόσμος στην πλήρη λεπτομέρεια και πολυπλοκότητά του». Τα σημερινά εικονικά περιβάλλοντα παρουσιάζουν υψηλό βαθμό αλληλεπίδρασης και παρουσίας, χάρη στο εξειδικευμένο υλικό που υπάρχει για τους σκοπούς αυτούς, στερούνται όμως αυτονομίας, και για τον λόγο αυτό η παρούσα διατριβή εστιάζεται κυρίως σε αυτή τη διάσταση.

## 2.2 Ανάπτυξη ενός Εικονικού Περιβάλλοντος

Η δημιουργία ενός εικονικού περιβάλλοντος περιλαμβάνει την κατασκευή του μοντέλου του περιβάλλοντος και το σχεδιασμό των αλληλεπιδράσεων με το χρήστη. Όσον αφορά στο μοντέλο του περιβάλλοντος μια κατηγοριοποίηση των επιμέρους τμημάτων του είναι η εξής (Ellis, 1993; Thalmann, 1994):

- ο *χώρος σκηνικού* ή η *γεωμετρία*, που παραμένει αμετάβλητη,
- οι *χρήστες*, που μπορούν να εκτελούν ενέργειες και ελέγχουν το δικό τους οπτικό πεδίο,
- οι *πράκτορες* ή *εικονικοί ηθοποιοί*, οι οποίοι έχουν ευφύια και μπορούν να ενεργούν ανεξάρτητα από τους χρήστες, και
- τα *αντικείμενα* που υπάρχουν στο χώρο. Αυτά διαφοροποιούνται στο επίπεδο αλληλεπίδρασης με το χρήστη και στις δυνατότητες αλλαγής της κατάστασής τους.

Σε ό,τι αφορά την αλληλεπίδραση του χρήστη με το περιβάλλον οι βασικοί τύποι είναι (Bordegoni, 1993; Herndon et al., 1994):

- *πλοήγηση και έλεγχος οπτικού πεδίου*
- *αλληλεπιδράσεις με αντικείμενα*, όπως πιάσιμο, περιστροφή, μετακίνηση και χρήση αντικειμένων.

### 2.2.1 Μοντέλο περιβάλλοντος

Ο χώρος σκηνικού του περιβάλλοντος μπορεί να κατασκευαστεί με βάση κάποια περιοχή του πραγματικού κόσμου, όπως ένα συγκεκριμένο κτήριο, ή ακόμα και να βασιστεί σε κάποια φανταστική ή αφηρημένη δομή ανάλογα με το είδος του



περιβάλλοντος. Σε ό,τι αφορά τη γραφική αναπαράσταση, εκτός από την προβολή του χώρου ως συνόλου από συμπαγή αντικείμενα, που είναι πιο ρεαλιστική, σε πολλές περιπτώσεις αποφέρει πλεονεκτήματα και η χρήση εναλλακτικών τεχνικών, όπως η τεχνική προβολής ακμών (wireframe) (Osborn and Agogino, 1992) που ελαχιστοποιεί τα κρυμμένα αντικείμενα (Stytz et al., 1995), ή η προβολή ημιδιαφανών αντικειμένων. Για παράδειγμα, σε χειρουργικές εφαρμογές είναι πιθανό να υπάρχουν ημιδιαφανείς απόψεις, καθώς και απόψεις με ή χωρίς την απεικόνιση της κυκλοφορίας του αίματος (Kruger et al., 1995). Τέλος, ένα εξίσου σημαντικό ζήτημα που μπορεί να βοηθήσει στην καλύτερη αντίληψη του περιβάλλοντος από το χρήστη είναι ο κατάλληλος φωτισμός του σκηνικού (Stoper and Cohen, 1993).

Μια από τις πιο σημαντικές δομές στο οπτικό πεδίο του χρήστη είναι η αναπαράσταση του ίδιου του σώματός του (Slater and Usoh, 1995), δηλαδή των τμημάτων αυτού που είναι ορατά με προοπτική πρώτου προσώπου. Αυτό είναι ακόμα πιο σημαντικό σε εφαρμογές με πολλαπλούς χρήστες, όπου οι ενσαρκώσεις των χρηστών μπορούν να ενισχύσουν την επικοινωνία (Carin et al., 1995) για παράδειγμα παρέχοντας πληροφορίες για τη θέση και την ιδιότητα του καθενός (Benford et al., 1995). Το γενικό χαρακτηριστικό που θα πρέπει να έχουν οι ενσαρκώσεις είναι να είναι συνεπείς και προβλέψιμες (Slater and Usoh, 1994), δηλαδή να υπάρχει μια καλή αντιστοιχία μεταξύ του εικονικού σώματος και της στάσης που έχει το πραγματικό σώμα του χρήστη, έτσι ώστε οι εκτιμήσεις των υπολοίπων χρηστών για τις ενέργειες ενός χρήστη με βάση την ενσάρκωσή του να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πραγματικότητα.

Τα βασικά θέματα που έχουν προκύψει στις ανάπαραστάσεις εικονικών περιβαλλόντων είναι ο ρεαλισμός, η αίσθηση του βάθους και η χρήση πολλαπλών αισθήσεων. Σε ό,τι αφορά το ρεαλισμό, τα αντικείμενα μπορούν να είναι από ακριβή αντίγραφα ως αφαιρετικά μοντέλα της πραγματικότητας ή ακόμα και να ενισχύουν την πραγματικότητα με παραπάνω πληροφορίες (Bolzoni, 1994). Η αναπαράσταση των αντικειμένων δε χρειάζεται να είναι πάντοτε φωτορεαλιστική. Ο βαθμός πιστότητας που απαιτείται θα εξαρτηθεί από το πεδίο εφαρμογής και πιθανώς από την εμπειρία του χρήστη με το αντίστοιχο περιβάλλον (Herndon et al., 1994). Ο ρεαλισμός του σκηνικού μπορεί να ενισχυθεί με την μοντελοποίηση περισσότερων λεπτομερειών, όπως σκιές, τραχιές επιφάνειες, λεκέδες, εξογκώματα και φυσικές

διαφοροποιήσεις (Fischer et al., 1996). Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις που λιγότερο ρεαλιστικές αναπαραστάσεις είναι πιο αποδοτικές, όπως για παράδειγμα στην απεικόνιση ιατρικών δεδομένων, όπου η εξομάλυνση των επιφανειών βοηθάει στην καλύτερη κατανόηση, ενώ κάποιες δομές μπορεί να περιβάλλονται με παχιά περιγράμματα για μεγαλύτερη ευκρίνεια (McConathy and Doyle, 1993). Τα μοντέλα με υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας μπορούν να περιοριστούν στα αντικείμενα που είναι πιο σημαντικά, σε αυτά που είναι πιο κοντά, ή μόνο σε αυτά που βρίσκονται στο κέντρο του πεδίου προβολής (Watson et al., 1995; Brelstaff, 1995). Σε πιο μεγάλα σκηνικά μπορεί να δοθεί έμφαση στις περιοχές που χρειάζεται πολύπλοκη μετακίνηση και αλληλεπίδραση (McGovern, 1993). Εναλλακτικά, μπορεί να αξιοποιηθεί η πληροφορία για το σημείο στο οποίο κοιτάζει το μάτι του χρήστη (Arthur et al., 1993), ο οποίος μπορεί να επιλέγει ο ίδιος τις περιοχές που θα αναπαρασταθούν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια (Yamaashi et al., 1996), ή μπορούν να γίνουν δοκιμές χρηστών, για να καθοριστούν οι απαιτήσεις του τελικού επιπέδου λεπτομέρειας (Pratt et al., 1997).

Η μεταφορά πληροφορίας βάθους είναι πολύ σημαντική για την αναπαράσταση τρισδιάστατων αντικειμένων. Έχουν ελεγχθεί διάφοροι παράγοντες και έχει υπάρξει σημαντική πρόοδος στη σύγκριση των πλεονεκτημάτων που προκύπτουν από την αξιοποίηση των διαφορετικών ενδείξεων βάθους. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ενδείξεις βάθους εικόνας, όπως προοπτική, επικάλυψη αντικειμένων και φωτοσκίαση (Pimentel and Teixeira, 1993; Wanger et al. 1992). Η κίνηση των αντικειμένων μπορεί να είναι χρήσιμη για την αποκάλυψη της τρισδιάστατης μορφής (Proffitt and Kaiser, 1993), ενώ και οι σκιές σε πραγματικό χρόνο αποτελούν μια ακόμη ένδειξη για τις σχετικές θέσεις των αντικειμένων (Arthur et al., 1993; Buck et al., 1996). Έχει μελετηθεί ότι η στερεοσκοπική όραση (δηλαδή η προσαρμογή της απεικόνισης σε κάθε μάτι ξεχωριστά) μπορεί να βοηθήσει στην αντίληψη της δομής και της θέσης (Russell and Miles, 1993; Volbracht et al., 1997), ειδικά σε περιπτώσεις πολύπλοκου σκηνικού και περιορισμένης ορατότητας των αντικειμένων (Kim et al., 1993), καθώς και για υψηλής ακρίβειας αίσθηση του χώρου από το χρήστη (Wann and Mon-Williams, 1996).

Εκτός από το οπτικό κανάλι έχουν χρησιμοποιηθεί και άλλοι τρόποι ανάδρασης σε εικονικά περιβάλλοντα. Στη βιβλιογραφία έχουν περιγραφεί δυνατότητες χρήσης

ήχου και αφής. Ο ήχος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μουσική στο περιθώριο, για επικοινωνία ή και για προειδοποιητικά σήματα (Gilkey and Weisenberger, 1995). Ακόμη, μπορούν να υπάρχουν συγκεκριμένοι ήχοι που συνδέονται με ενέργειες και γεγονότα του κόσμου (Pressing, 1997). Ο ήχος μπορεί να πληροφορήσει για διαδικασίες που δεν είναι ορατές στο χρήστη στο συγκεκριμένο χρονικό σημείο (Astheimer et al., 1994), καθώς και να παρέχει ένα δεύτερο κανάλι πληροφοριών (Brown et al., 1989). Για παράδειγμα, ο ήχος χρησιμοποιήθηκε για να παρέχει ανάδραση σε ο,τι αφορά τις ενεργειακές τιμές παράλληλα με την οπτική επαφή σε ένα σύστημα χειρισμού μοριακών δομών (Cruz-Neira, 1996). Ακόμη χρησιμοποιήθηκε για να δημιουργήσει ατμόσφαιρα στο εικονικό περιβάλλον Diamond Park (Waters et al., 1997) για παράδειγμα χρησιμοποιήθηκαν ήχοι του αέρα και των πουλιών σε σκηνικά ανοιχτού χώρου.

Η αλληλεπίδραση αφής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μεταδώσει ιδιότητες των αντικειμένων κατά τη διάρκεια της χρήσης τους από το χρήστη (Bergamasco, 1994), όπως το σχήμα, η ελαστικότητα, η υφή και η ταχύτητα (Johnson and Cutt, 1992), ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δώσει ανάδραση σε σκοτεινά ή γενικώς δυσδιάκριτα σκηνικά (Richard et al., 1996). Για παράδειγμα, η ανάδραση αφής είναι σημαντική για χειρουργικές εφαρμογές, ώστε να υπάρχει ρεαλιστική αίσθηση του δέρματος, του μαλακού ιστού και του κόκαλου (Kluger et al., 1995). Σε περιπτώσεις που χρειάζεται μεγάλη ακρίβεια στην αλληλεπίδραση του χρήστη με το περιβάλλον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα παραπάνω από ένα κανάλια αισθήσεων, όπως συνδυασμός ανάδρασης αφής και ήχου, ώστε να υπάρχουν περισσότερες ενδείξεις για την τρέχουσα κατάσταση του εικονικού περιβάλλοντος.

## 2.2.2 Αλληλεπιδράσεις με το χρήστη

Ένας πολύ σημαντικός τύπος αλληλεπίδρασης σε εικονικά περιβάλλοντα είναι η πλοήγηση του χρήστη και έχουν προταθεί διάφορες τεχνικές για την υλοποίησή του. Η πλοήγηση μπορεί να γίνει με επιλογή σημείου στο χώρο και αυτόματη μετακίνηση σε αυτό (*point-and-fly*), με μετακίνηση και περιστροφή του ματιού μέσα στη σκηνή (*eyeball in hand*) ή με διατήρηση σταθερού οπτικού πεδίου και μετακίνηση ολόκληρου του σκηνικού (*scene in hand*) (Astheimer et al., 1994). Πιο απλές τεχνικές χρησιμοποιώντας ένα κοινό ποντίκι είναι έναρξη / τερματισμός της μετακίνησης με ένα πλήκτρο και διεύθυνση της κίνησης με βάση την κίνηση του ποντικιού



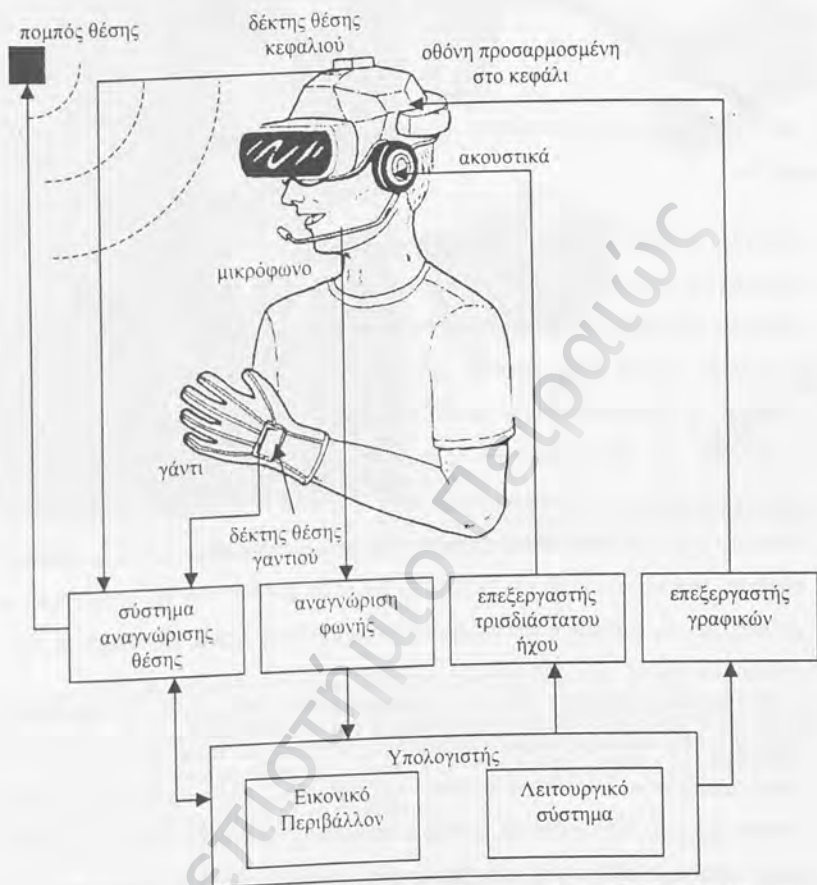
(Strommen, 1994) ή χρήση διαφορετικών πλήκτρων του ποντικιού για κίνηση προς τα εμπρός, προς τα πίσω και για σταμάτημα της κίνησης (Bliss et al., 1997). Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί χειρονομία «πιασίματος» και «τραβήγματος» του κόσμου (Mapes and Moshell, 1995), εικονικό χειριστήριο (Mohageg et al., 1996) ή φυσικό βάδισμα πάνω στο σκηνικό. Το βάδισμα μπορεί να βελτιώσει την αίσθηση παρουσίας στο εικονικό περιβάλλον, αλλά οι τεχνικές επιλογής οποιουδήποτε σημείου στο χώρο και μετάβασης σε αυτό μπορούν να οδηγήσουν σε ευκολότερη πλοήγηση (Slater et al., 1995). Το οπτικό πεδίο μπορεί επίσης να «κλειδωθεί» σε συγκεκριμένα αντικείμενα ή ενέργειες στο περιβάλλον (Bolter et al., 1995; Stytz et al., 1995), πράγμα που βοηθάει στη διατήρηση της εστίασης πάνω σε χώρους ενδιαφέροντος (Eyles, 1993). Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα οπτικοποίησης του διαστήματος μπορούν να υπάρχουν προεπιλεγμένα οπτικά πεδία σε αστέρια, στη γη ή να ακολουθείται η κίνηση του διαστημικού σκάφους.

Τα θέματα που έχουν προκύψει κατά το σχεδιασμό της πλοήγησης είναι η ταχύτητά της και οι βαθμοί ελευθερίας της. Η τεχνική πλοήγησης μπορεί να περιλαμβάνει μέχρι και έξι βαθμούς ελευθερίας, αλλά ο έλεγχος και των έξι μπορεί να είναι προβληματικός (Drucker and Zeltzer, 1994). Η πλοήγηση μπορεί να περιοριστεί σε δύο διαστάσεις, αποκλείοντας την ικανότητα πέταγματος (Bliss et al., 1997), ή μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί τύποι κινήσεων, όπως μόνο μετακίνησης (όπου ο προσανατολισμός παραμένει σταθερός), μόνο προσανατολισμού και συνδυασμένος (Deering, 1995). Για παράδειγμα, στο πρόγραμμα Berlin 2010 (Vorsteher, 1996) οι τύποι πλοήγησης περιλαμβάνουν ελεύθερο πέταγμα στο σκηνικό ή πεζή μετακίνηση ή μετακίνηση σε τρένο. Η ταχύτητα μετακίνησης θα πρέπει να είναι κατάλληλη για το μέγεθος του εκάστοτε σκηνικού (Mohageg et al., 1996). Οι ταχύτερες μετακινήσεις μειώνουν την προσπάθεια και επιτυγχάνουν γρηγορότερη άφιξη στο στόχο, αλλά και οι πιο αργές δίνουν μεγαλύτερη ακρίβεια στην προσέγγιση ενός στόχου (Johnsgard, 1994). Η μετακίνηση με σταθερή ταχύτητα μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα, όπως η επιλογή της θέσης που πρέπει να σταματήσει κάποιος. Αντίθετα, με τη χρήση μεταβλητής ταχύτητας, ο τρόπος μετακίνησης γίνεται πιο φυσικός (Rushton and Wann, 1993) και δίνει στους χρήστες έλεγχο πάνω στην ταχύτητά της (Mohageg et al., 1996).

Ο άλλος πολύ βασικός τύπος αλληλεπίδρασης στα εικονικά περιβάλλοντα είναι η αλληλεπίδραση με αντικείμενα. Οι αλληλεπιδράσεις με αντικείμενα μπορούν να επιτευχθούν χρησιμοποιώντας τεχνικές, όπως η αποστολή ακτίνων (raycasting) για επιλογή αντικειμένων, ο άμεσος χειρισμός για τοποθέτηση αντικειμένων ή οι χειρονομίες (Hemdon et al., 1994), δηλαδή η κίνηση των χεριών με τρόπο όμοιο με αυτόν που χρησιμοποιείται στην αλληλεπίδραση με αντίστοιχο αντικείμενο του πραγματικού κόσμου. Οι χειρονομίες είναι μια φυσική τεχνική αλληλεπίδρασης (Astheimer et al., 1994) και είναι ιδιαίτερα αποδοτική, ειδικά εφόσον υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί στις επιτρεπόμενες χειρονομίες (Wexelblat, 1995). Παρόλα αυτά, για την επιλογή ενός αντικείμενου το ποντίκι είναι συνήθως πιο γρήγορο και πιο ακριβές από ένα γάντι δεδομένων (Johnsgard, 1994). Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και τα δύο χέρια για το χειρισμό αντικειμένων (Mapes and Moshell, 1995) για παράδειγμα μεγέθυνση και συρρίκνωση αντικειμένων με δύο χέρια (Mercurio and Erickson, 1990). Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η φωνή για αλληλεπίδραση. Αυτή μπορεί είτε να δίνει εντολές σε πράκτορες ή γενικά στο περιβάλλον, είτε να χρησιμοποιηθεί για διαλόγους με αντικείμενα ενδιαφέροντος (McGlashan and Axling, 1996). Παρόλο που το λεξιλόγιο θα πρέπει να είναι περιορισμένο, η φωνή επιτρέπει την αποστολή εντολών χωρίς να απασχολεί τα χέρια και τα μάτια και έτσι μπορούν να εκτελούνται ακόμα και ενέργειες που αφορούν αντικείμενα που δεν είναι στο οπτικό πεδίο του χρήστη (McGlashan and Axling, 1996). Η χρήση συνδυασμού φωνής και χειρονομιών είναι μια καλή τεχνική που μπορεί να αυξήσει την ικανότητα του συστήματος να αναγνωρίζει τις ενέργειες του χρήστη (Hauptmann and McAvinney, 1993).

Οι αλληλεπιδράσεις με τα αντικείμενα μπορούν να προγραμματιστούν σε διαφορετικούς βαθμούς ρεαλισμού ως απλοποιημένες ενέργειες του πραγματικού κόσμου, ως πολύπλοκες ενέργειες που αναπαριστούν με πιστότητα τον τρόπο αλληλεπίδρασης ή και ως ενέργειες που δεν είναι δυνατό να συμβούν στην πραγματικότητα (Slater and Usoh, 1994). Ο απαιτούμενος βαθμός ρεαλισμού εξαρτάται από το πεδίο εφαρμογής (Hemdon et al., 1994). Για παράδειγμα, σε περιπτώσεις εργονομικής ανάλυσης το πιάσιμο των αντικειμένων μπορεί να χρειαστεί να μοντελοποιηθεί όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πραγματικότητα, ενώ σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να είναι αρκετό το άγγιγμά του (Dai et al, 1996). Τέλος, σε περιβάλλοντα που δεν έχουν στενή σχέση με τον πραγματικό κόσμο, μπορούν να

χρησιμοποιηθούν και μεταφορές, οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά το χρήστη. Είναι παρόλα αυτά σημαντικό οι μεταφορές αυτές να είναι σχεδιασμένες με τέτοιο τρόπο, που να γίνονται εύκολα κατανοητές από το χρήστη.



Εικόνα 2.2: Ένα γενικό σύστημα εικονικού περιβάλλοντος και τα επιμέρους τμήματά του

### 2.3 Τεχνολογίες

Κάθε εικονικό περιβάλλον αποτελείται από το υλικό που θα χρησιμοποιήσει ο χρήστης και από το λογισμικό που εκτελείται σε κάποιον υπολογιστή. Το υλικό χρησιμοποιείται αφενός για να καταγράψει την τρέχουσα κατάσταση του χρήστη, όπως θέση στο χώρο, κινήσεις χεριών και κεφαλιού, ομιλία, κλπ., και αφετέρου για να μεταδώσει τα κατάλληλα ερεθίσματα στις αισθήσεις του, δηλαδή στην όραση, ακοή και αφή του. Αντίθετα το λογισμικό περιλαμβάνει το ίδιο το περιβάλλον αλλά



και τα τμήματα διεπαφής του υλικού με το περιβάλλον. Στην εικόνα 2.2 παρουσιάζεται ένα γενικό σύστημα εικονικού περιβάλλοντος, όπου η εικόνα και ο ήχος προσαρμόζονται στην κίνηση του κεφαλιού, και υπάρχει αλληλεπίδραση με το περιβάλλον με τη χρήση γαντιού δεδομένων και με φωνητικές εντολές.

### 2.3.1 Υλικό

Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται ως σήμερα σε εικονικά περιβάλλοντα είναι οι παρακάτω:

- *Συσκευές εισόδου:* Υπάρχει ένας αριθμός συσκευών που χρησιμοποιούνται για τη μετακίνηση του χρήστη στο περιβάλλον σε όλες τις διαστάσεις με διάφορους βαθμούς ελευθερίας. Τέτοια συσκευές είναι το *χειριστήριο* (joystick), η *σφαίρα πλοήγησης* (space ball) (εικόνα 2.3:δ) και το *τριδιάστατο ποντίκι*. Ακόμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν *γάντια δεδομένων* (data gloves) (εικόνα 2.3:γ) που εντοπίζουν τη θέση και την κίνηση του χεριού και των δακτύλων για αλληλεπίδραση με εικονικά αντικείμενα. *Συσκευές εντοπισμού θέσης* (position trackers) ή *καταγραφής video* μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εντοπιστούν κινήσεις του κεφαλιού ή του σώματος, ώστε να βοηθήσουν τη μετακίνηση του χρήστη στο περιβάλλον ή την αλληλεπίδραση με αντικείμενα.
- *Συσκευές οπτικοποίησης:* *Οθόνες προσαρμοσμένες στο κεφάλι* (head-mounted displays) που περιλαμβάνουν ανεξάρτητες οθόνες για κάθε μάτι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παρέχουν εμπυθισμένη, στερεοσκοπική εμφάνιση (εικόνα 2.3:α,β). Εναλλακτικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν *συσκευές προβολής video* που προβάλλουν το περιβάλλον σε φυσικό μέγεθος πάνω σε τοίχους δωματίων ή επιφάνειες τραπεζιών.
- *Συσκευές τριδιάστατου ήχου:* οι συσκευές αυτές μπορούν να παράγουν πολυφωνικούς ήχους με τρόπο τέτοιο, ώστε να γίνεται αντιληπτή από το χρήστη η σχετική θέση στο χώρο της κάθε πηγής ήχου.
- *Συσκευές ανάδρασης:* Υπάρχουν συσκευές *ανάδρασης δυνάμεων* και *ανάδρασης αφής*, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσομοιώσουν την αίσθηση που έχει το δέρμα, όταν αγγίζει διαφόρων ειδών υλικά, ή για να εξομοιώσουν τη βαρύτητα ή την αντίσταση στην κίνηση.



Εικόνα 2.3: Συσκευές εικονικής πραγματικότητας. α) Οθόνη προσαρμοσμένη στο κεφάλι, β) Γυαλιά ενισχυμένης πραγματικότητας, γ) γάντια δεδομένων, δ) σφαίρα πλοήγησης

### 2.3.2 Λογισμικό

Το λογισμικό διακρίνεται σε δύο βασικές κατηγορίες, το *λογισμικό ανάπτυξης*, δηλαδή αυτό που χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό του εικονικού περιβάλλοντος και το *λογισμικό εκτέλεσης*, δηλαδή αυτό που εκτελείται κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης του χρήστη με το περιβάλλον.

Κατά την διάρκεια της ανάπτυξης του περιβάλλοντος χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τύποι προγραμμάτων:

- πρόγραμμα *τριδιάστατης μοντελοποίησης* ή *τριδιάστατης ψηφιοποίησης* από δεδομένα του πραγματικού κόσμου για τη δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων,
- εργαλεία *βελτιστοποίησης γεωμετρίας* για μείωση του όγκου των δεδομένων και καλύτερη απόδοση του περιβάλλοντος,
- εργαλεία *επεξεργασίας εικόνας* για την κατασκευή των υφών που θα προστεθούν στα μοντέλα,

- γενικού τύπου γλώσσα προγραμματισμού ή ειδική *script* γλώσσα για εικονικά περιβάλλοντα για τον προγραμματισμό των κανόνων του κόσμου και της κίνησης των αντικειμένων.

Οι διαδικασίες που εκτελούνται κατά τη διάρκεια εκτέλεσης ενός εικονικού περιβάλλοντος είναι οι παρακάτω:

- *Μηχανή τρισδιάστατης οπτικοποίησης και παραγωγής ήχου σε πραγματικό χρόνο*: είναι η διαδικασία που δημιουργεί την προοπτική πρώτου προσώπου του χρήστη και αναπαριστά το περιβάλλον σε πραγματικό χρόνο. Σε περίπτωση που το περιβάλλον περιέχει και τρισδιάστατο ήχο αναλαμβάνει και την προσαρμογή του ήχου ανάλογα με την τρέχουσα θέση του χρήστη.
- *Διαδικασία χειρισμού συσκευών εισόδου / εξόδου του χρήστη*: η διαδικασία αυτή λαμβάνει δεδομένα από τις συσκευές εισόδου (π.χ. γάντι δεδομένων, μικρόφωνο, θέση κεφαλιού) και τα μεταφράζει σε δεδομένα του εικονικού περιβάλλοντος. Αντίστοιχα, μετά από κάθε οπτικοποίηση ή παραγωγή τρισδιάστατου ήχου μεταφέρει την εικόνα και τον ήχο στις αντίστοιχες συσκευές εξόδου.
- *Διαδικασία προσομοίωσης*: είναι ουσιαστικά ο «πυρήνας» του εικονικού περιβάλλοντος, καθώς είναι η διαδικασία που εφαρμόζει τους νόμους του περιβάλλοντος (που μπορεί να αφορούν στην κίνηση ή σε άλλες επιτρεπτές ενέργειες) στα αντικείμενα και υπολογίζει τις νέες τους ιδιότητες.
- *Βάση δεδομένων γεωμετρίας του περιβάλλοντος*: η γεωμετρία του περιβάλλοντος αποθηκεύεται και ανακτάται με τέτοια μορφή, ώστε το περιβάλλον να έχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απόδοση. Η διαδικασία αυτή αναλαμβάνει να μην εμφανίσει τα αντικείμενα που δεν είναι στο οπτικό πεδίο του χρήστη ή να αντικαταστήσει τα αντικείμενα που βρίσκονται μακριά από το χρήστη με αντίστοιχα μειωμένης λεπτομέρειας.

Σήμερα υπάρχει ήδη ένα πρότυπο τυποποιημένο από το διεθνή οργανισμό τυποποίησης για την αναπαράσταση τρισδιάστατων δεδομένων στο Internet, η VRML97. Το πρότυπο είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο, με αποτέλεσμα πολλές από τις εφαρμογές που ισχυρίζονται ότι το χρησιμοποιούν να μην παρέχουν πλήρη υποστήριξη. Ενώ υπάρχει υποστήριξη του μοντέλου γεωμετρίας της VRML από τα



δημοφιλή πακέτα τρισδιάστατης μοντελοποίησης, έχουν υπάρξει λίγες υλοποιήσεις του πλήρους μοντέλου συμβάντων (events). Για τις ανάγκες του Παγκόσμιου Ιστού έχουν γραφτεί ορισμένα δημοφιλή προγράμματα που εγκαθίστανται στο πρόγραμμα πλοήγησης (browser), όπως τα Cosmo Player, Blaxxun Contact και ParallelGraphics Cortona. Με την χρήση της γλώσσας VRML σε συνδυασμό με κάποιο από τα παραπάνω προγράμματα μπορούν να κατασκευαστούν αξιόλογα μικρής κλίμακας εικονικά περιβάλλοντα οθόνης, όμως η απόδοση τέτοιων συστημάτων δεν είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική.

Ως συνέχεια της VRML97 ετοιμάζεται σήμερα ένα νέο πρότυπο, το X3D. Το πρότυπο αυτό σε γενικές γραμμές είναι η VRML97, που έχει μετατραπεί σε μορφή XML, παρέχοντας όμως την αναγκαία προς τα πίσω συμβατότητα, ώστε να υποστηρίζονται οι υπάρχουσες εφαρμογές.

Ένας αριθμός από εικονικούς κόσμους έχει αναπτυχθεί με τη χρήση μηχανών παιχνιδιών για PC (Cavazza et al. 2001), όπως οι τρισδιάστατες μηχανές των δημοφιλών παιχνιδιών Doom, Quake και Unreal. Ορισμένες τέτοιες μηχανές, όπως αυτή του Unreal, συνοδεύονται από ισχυρές γλώσσες σεναρίων (script languages) για την καλύτερη παραμετροποίηση του περιβάλλοντος, αλλά τείνουν να λειτουργούν καλύτερα σε εικονικά περιβάλλοντα που έχουν παρόμοια δομή με αυτά για τα οποία σχεδιάστηκαν οι μηχανές. Ακόμη, έχουν την τάση να θυσιάζουν την υποστήριξη γενικού τύπου τρισδιάστατων μοντέλων για χάρη της απόδοσης και των οπτικών εφέ, και κατά συνέπεια είναι πολύ καλές για τους χώρους για τους οποίους έχουν σχεδιαστεί, αλλά δεν αποτελούν λύση που καλύπτει όλες τις περιπτώσεις.

Τέλος, τη μεγαλύτερη ευκολία και άνεση στη δημιουργία ενός εικονικού περιβάλλοντος τη δίνουν οι διάφορες βιβλιοθήκες τρισδιάστατων γραφικών, οι οποίες περιλαμβάνουν έτοιμες ρουτίνες για απεικόνιση και κίνηση τρισδιάστατων δεδομένων και διευκολύνουν τον προγραμματιστή στην ανάπτυξη τέτοιων εφαρμογών. Υπάρχουν βιβλιοθήκες χαμηλού επιπέδου, όπως η OpenGL και το Direct3D, και βιβλιοθήκες υψηλότερου επιπέδου, που χρησιμοποιούν τις παραπάνω, για να παρέχουν επιπλέον λειτουργικότητα. Παραδείγματα τέτοιων βιβλιοθηκών είναι η Java3D, που ενισχύει τα προγράμματα Java με δυνατότητες αναπαράστασης και χειρισμού τρισδιάστατων δεδομένων, το OpenInventor, ένα ολοκληρωμένο εργαλείο

για την κατασκευή αλληλεπιδραστικών τρισδιάστατων εφαρμογών, και το Performer, που είναι εξειδικευμένο για συστήματα πολλαπλών επεξεργαστών.

## 2.4 Εφαρμογές

Τα εικονικά περιβάλλοντα έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πολλά και διαφορετικά πεδία εφαρμογών:

Στις *τέχνες και τη διασκέδαση* τα εικονικά περιβάλλοντα μπορούν να παρέχουν μια πιο ενδιαφέρουσα και αλληλεπιδραστική εμπειρία για το χρήστη, όπως για παράδειγμα τα παιχνίδια εικονικής πραγματικότητας ή το τρισδιάστατο θέατρο.

Εφαρμογές *μάρκετινγκ* όπως εικονικά ταξίδια με ξεναγό, πριν από την κράτηση διακοπών ή εικονικός εκθεσιακός χώρος ελκύουν την προσοχή πιθανών πελατών και τους επιτρέπουν να δοκιμάσουν προϊόντα με νέους, πιο ρεαλιστικούς τρόπους.

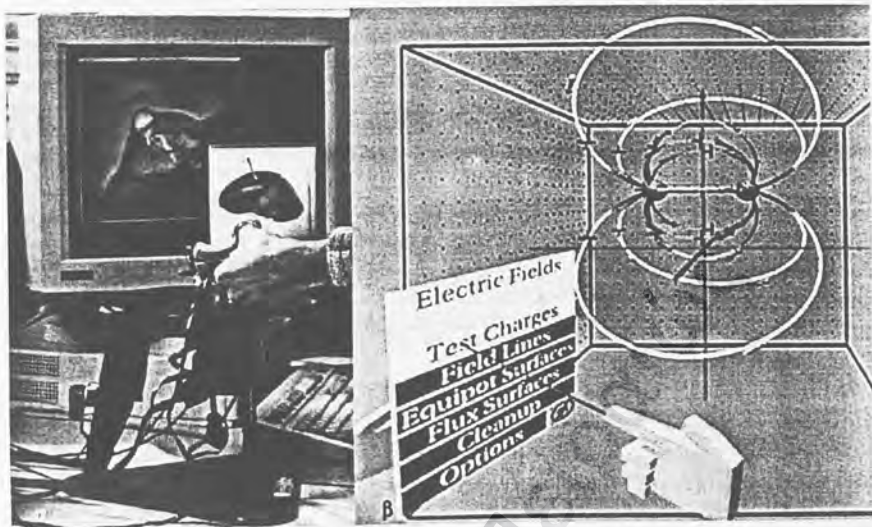
Στον τομέα του *τηλεχειρισμού* (teleoperation) τα εικονικά περιβάλλοντα παρέχουν ένα ρεαλιστικό σύστημα διεπαφής μέσα από το οποίο επικίνδυνες ή απομακρυσμένες ενέργειες του πραγματικού κόσμου μπορούν να λάβουν χώρα έμμεσα με την τηλεκατεύθυνση ρομπότ, όπως για παράδειγμα η επισκευή πυρηνικών αντιδραστήρων ή συντήρηση δικτύου υπολογιστών.

Η *Τηλεπαρουσία* (telepresence) και τα *συνεργατικά εικονικά περιβάλλοντα*, όπως η τηλεχειρουργική (Docimo et al., 1997) ή οι εικονικές πόλεις (Loeffler and Anderson, 1994) επιτρέπουν σε ανθρώπους που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους να επικοινωνήσουν ή να εργαστούν μαζί σε ένα ρεαλιστικό περιβάλλον.

Εφαρμογές *σχεδιασμού και αξιολόγησης* επιτρέπουν την οπτικοποίηση ενός μοντέλου από το εσωτερικό του, καθώς και τον χειρισμό του. Για παράδειγμα, εικονικά μοντέλα για σχεδιασμό ρούχων ή έλεγχος ασφάλειας από φωτιά με μετακίνηση σε εικονικά μοντέλα κτηρίων.

Σε ό,τι αφορά την *εκπαίδευση*, τα εικονικά περιβάλλοντα επιτρέπουν σε ένα χρήστη να εξερευνήσει και να μάθει για μια θεματική περιοχή με άμεσο πειραματισμό, ειδικά σε περιπτώσεις που το αντικείμενο δεν είναι προσβάσιμο στην πραγματικότητα (Bullinger, 1996). Τέτοια παραδείγματα είναι η εκμάθηση φυσικής μέσα από το

πρόγραμμα NewtonWorlds (Dede et al., 1994) (εικόνα 2.4:β) ή η γνώση της χημείας μέσω αλληλεπίδρασης με χημικές δομές.



Εικόνα 2.4: Εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας α) στην ιατρική, β) στην εκπαίδευση

Εικονικά περιβάλλοντα *εξάσκησης*, όπως προσομοιωτές πτήσης για την εξάσκηση των πιλότων ή εικονικές χειρουργικές επεμβάσεις για την εξάσκηση των χειρουργών (εικόνα 2.4:α), παρέχουν ρεαλιστικά περιβάλλοντα, στα οποία μπορεί κανείς να εξασκηθεί σε διάφορες ικανότητες, κυρίως σε εκείνες της αντίληψης του χώρου (Regian and Shebilske, 1992).

Παρόμοια, εφαρμογές *θεραπείας*, όπως αυτή της ακροφοβίας (Hodges et al., 1995), ή εφαρμογές ρόλων για ασθενείς σε στάδιο ψυχοθεραπείας, παρέχουν ρεαλιστικά περιβάλλοντα στα οποία οι ασθενείς βοηθούνται στο να ξεπεράσουν το πρόβλημά τους μέσω έκθεσης σε καταστάσεις αυξανόμενης δυσκολίας.

Τέλος, τα εικονικά περιβάλλοντα *οπτικοποίησης πληροφορίας* παρέχουν ένα αλληλεπιδραστικό τρισδιάστατο οπτικό μοντέλο ενός συνόλου πληροφοριών, που βοηθάει στην εξερεύνηση και ερμηνεία των δεδομένων, όπως για παράδειγμα το σύστημα διαχείρισης πληροφοριών NASA VIEW (Fisher, 1990) ή οι εικονικές βιβλιοθήκες.



Όπως φαίνεται και από τα παραπάνω, τα εικονικά περιβάλλοντα έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία σε πληθώρα εφαρμογών. Οι εφαρμογές αυτές μοιράζονται ένα κοινό θέμα, που είναι η εμπειρία, εξερεύνηση, και διαχείριση κόσμων γεννημένων σε υπολογιστή. Οι κόσμοι αυτοί αναπαριστούν κάποια δομή ή τοποθεσία είτε του πραγματικού κόσμου είτε τεχνητή. Στις περιπτώσεις που μοντελοποιούνται καταστάσεις του πραγματικού κόσμου, τα εικονικά περιβάλλοντα μπορούν να είναι ιδιαίτερα χρήσιμα, όταν το πραγματικό αντίστοιχο δεν είναι δυνατόν να προσεγγιστεί για λόγους μεγέθους, απόστασης, ή επικινδυνότητας. Τέλος τα εικονικά περιβάλλοντα δεν είναι χρήσιμα σε εφαρμογές που δεν είναι αναγκαίο για το χρήστη να μετακινείται στον τρισδιάστατο χώρο και να έχει εμπειρία από διαφορετικές απόψεις.

## 3 ΕΙΚΟΝΙΚΟΙ ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ

Ένα σημαντικό και αναπόσπαστο τμήμα της έρευνας στα εικονικά περιβάλλοντα είναι ο χώρος των εικονικών πρακτόρων, που είναι και το θέμα του παρόντος κεφαλαίου. Μετά την εισαγωγική περιγραφή και τους σχετικούς ορισμούς γίνεται μια ταξινόμηση των εικονικών πρακτόρων ανάλογα με τα θέματα, στα οποία έχει δοθεί έμφαση κατά το σχεδιασμό τους, ενώ στη συνέχεια περιγράφονται διαδοχικά τα διάφορα στάδια μοντελοποίησής τους. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρονται οι διάφορες θεωρίες γύρω από τους τρόπους απεικόνισης, κίνησης, αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον και συμπεριφοράς ενός εικονικού πράκτορα. Στο τέλος γίνεται περιγραφή των πιο σημαντικών ολοκληρωμένων συστημάτων για την κατασκευή εικονικών πρακτόρων και παρατίθενται συνοπτικά οι εφαρμογές τους.

### 3.1 Εισαγωγή

Η χρήση των εικονικών περιβαλλόντων ως αλληλεπίδραση με το χρήστη δε θα πρέπει να περιορίζεται απλώς στην πλοήγηση σε ένα όμορφο τρισδιάστατο σκηνικό. Όσο ελκυστικός κι αν είναι ένας συνθετικός κόσμος, εάν δεν παρουσιάζει μεταβολές, μειώνεται το ενδιαφέρον του χρήστη κατά την εμπύθισή του στο περιβάλλον. Για παράδειγμα, οι πόλεις χωρίς ανθρώπους δεν μπορούν να κάνουν τους χρήστες να έχουν αληθινή αίσθηση παρουσίας σε αυτές. Η συνθετική κίνηση μπορεί να βοηθήσει στη δυναμικότητα του περιβάλλοντος, αλλά το γεγονός, ότι όλες οι μεταβολές είναι προαποφασισμένες, είναι αντίθετο με την ελευθερία αλληλεπίδρασης που θα έπρεπε να έχει ένα εικονικό περιβάλλον, και μπορεί να κρατήσει το ενδιαφέρον του χρήστη για περιορισμένο χρόνο. Οι εικονικοί κόσμοι μπορούν να γίνουν πιο ελκυστικοί, εφόσον υπάρχει το στοιχείο της αυτονομίας και λαμβάνουν χώρα σε αυτούς ενέργειες που δεν προκαλούνται από το χρήστη. Οι αυτόνομες οντότητες σε ένα εικονικό περιβάλλον ονομάζονται *εικονικοί πράκτορες* (virtual agents). Ένας εικονικός πράκτορας που δεν ακολουθεί προκαθορισμένα βήματα, αλλά μπορεί να παίρνει αποφάσεις από μόνος του και χρησιμοποιεί τεχνικές από το χώρο της Τεχνητής Νοημοσύνης, για να επιτυγχάνει τους στόχους του, ονομάζεται *ευφυής εικονικός*

πράκτορας (intelligent virtual agent), ενώ *ευφυή εικονικά περιβάλλοντα* (intelligent virtual environments) ονομάζονται τα εικονικά περιβάλλοντα που περιέχουν ευφυείς εικονικούς πράκτορες (Aylett and Luck, 2000; Aylett and Cavazza, 2001).

Οι εικονικοί πράκτορες έχουν συνήθως τη μορφή συνθετικών χαρακτήρων και αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον μέσω *αισθητήρων* (sensors) και *επιδραστών* (effectors) λαμβάνοντας αποφάσεις με βάση κάποιο μοντέλο συμπεριφοράς. Οι χαρακτήρες δε χρειάζεται να είναι κατ' ανάγκη ανθρωπίνου σε μορφή: μπορούν να είναι αφηρημένοι (Sims, 1995), μηχανικοί (Prophet, 1996), μπορούν να είναι ζώα, όπως πουλιά (Reynolds, 1987) ή ψάρια (Terzopoulos et al, 1994; Martihno et al, 2000) ή μπορούν να είναι φανταστικοί, όπως τα Teletubbies (Aylett et al, 1999). Οι ανθρωπίνες μορφές (Badler et al, 1993b) είναι, φυσικά, οι πιο συνηθισμένες.

Εκτός από τους εικονικούς πράκτορες υπάρχουν και άλλα, παραπλήσια είδη συνθετικών χαρακτήρων σε εικονικά περιβάλλοντα, στα οποία γίνεται αρκετές φορές αναφορά στο παρόν κεφάλαιο, καθώς η έρευνα είναι σε πολλά σημεία κοινή. Τα είδη αυτά είναι:

- *εικονικός ηθοποιός* (virtual actor) (Shawver, 1997; Wavish and Connah, 1997): Διαφέρει από έναν εικονικό πράκτορα στο ότι δεν έχει αυτονομία. Όλες οι ενέργειές του είναι προκυθορισμένες από κάποιο σενάριο ή βασίζονται σε σχετικές εντολές του χρήστη (Cavazza et al., 1998).
- *ενσάρκωση* (avatar) (Damer, 1998): εξυπηρετεί ως εικονικός εκπρόσωπος ενός πραγματικού ανθρώπου και οι ενέργειές του ελέγχονται (σε πραγματικό χρόνο) από το άτομο αυτό. Συνεπώς, εκτός από έλλειψη αυτονομίας, χαρακτηρίζεται και από έλλειψη αισθητήρων, καθώς η αντίληψη του χώρου γίνεται από τον ίδιο το χρήστη.
- *εικονικός άνθρωπος* (virtual human) (Magnetat Thalmann and Thalmann, 1998; Gratch et al., 2000): είναι μια ειδική περίπτωση εικονικού πράκτορα στην οποία έχει δοθεί έμφαση στη λεπτομερή μοντελοποίηση και προσομοίωση της ανθρώπινης κίνησης και αλληλεπίδρασης. Συνήθως οι χαρακτήρες αυτοί έχουν ιδιαίτερα περίπλοκους αισθητήρες και επιδραστές αλλά χαμηλό επίπεδο αυτονομίας.



### 3.1.1 Ταξινόμηση Εικονικών Πρακτόρων

Μια πρώτη προσπάθεια ταξινόμησης της υπάρχουσας έρευνας στους εικονικούς πράκτορες καταλήγει σε ένα φάσμα πρακτόρων. Στη μία άκρη του φάσματος τοποθετούνται οι *φυσικοί πράκτορες* (physical agents), δηλαδή αυτοί στους οποίους η έμφαση έχει δοθεί στην αληθοφανή φυσική συμπεριφορά. Στο χώρο αυτό η έρευνα επικεντρώνεται σε εικονικούς ανθρώπους ή και ζώα και τα θέματά της περιλαμβάνουν τη ρεαλιστική κίνηση και τη φυσική αλληλεπίδρασή τους με το περιβάλλον, την ομιλία, τις χειρονομίες και τις εκφράσεις προσώπου. Τέτοιοι πράκτορες συνήθως αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον μέσω εικονικών αισθητήρων και επιδρατών που δε λειτουργούν σε συμβολικό επίπεδο, αλλά προσομοιώνουν το φυσικό (Badler et al., 1993a).

Στην άλλη άκρη του φάσματος αυτού τοποθετούνται οι *γνωσιακοί πράκτορες* (cognitive agents), δηλαδή αυτοί στους οποίους η έμφαση έχει δοθεί στην ανθρώπινη γνωσιακή συμπεριφορά, καθώς και στη γνωσιακή αλληλεπίδραση με τους χρήστες του συστήματος. Τα περισσότερα θέματα στο χώρο αυτό αφορούν τη φυσική γλώσσα, καθώς και τις διαδικασίες απόφασης, όπως είναι ο *σχεδιασμός ενεργειών* (planning) (Badler et al., 1996). Τέτοιοι πράκτορες συνήθως λαμβάνουν μέσω των αισθησέων τους συμβολική πληροφορία απευθείας από το περιβάλλον, με αποτέλεσμα να αμφισβητείται το κατά πόσο η διαδικασία αίσθησης είναι πραγματικά αυτόνομη.

Ο λόγος για τον οποίο γίνεται αναφορά σε φάσμα και όχι σε κατηγορίες αμοιβαίως αποκλειόμενες είναι, γιατί οι πράκτορες που κινούνται περισσότερο σε γνωσιακό επίπεδο απαιτούν ένα βαθμό φυσικής αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον, ενώ και οι φυσικοί πράκτορες συχνά απαιτούν ένα είδος ελέγχου σε γνωσιακό επίπεδο. Θα μπορούσε να χαρακτηριστεί κάποιος την έρευνα που γίνεται στη γνωσιακή άκρη του φάσματος ως δουλειά από το μυαλό προς τα έξω, ενώ την αντίστοιχη έρευνα στο φυσική άκρη ως δουλειά από το σώμα προς τα μέσα. Στην ιδανική τους μορφή οι εικονικοί πράκτορες θα πρέπει να έχουν εντελώς ρεαλιστική κίνηση και φυσική αλληλεπίδραση αλλά και ανθρώπινες γνωσιακές ικανότητες. Στην πραγματικότητα όμως και οι δύο περιοχές απαιτούν την επίλυση αρκετών δύσκολων προβλημάτων, με αποτέλεσμα να υπάρχει μια τάση στις ερευνητικές ομάδες να δίνουν μεγαλύτερη έμφαση στη μία ή την άλλη μεριά του φάσματος. Αυτή η διαφορά εστίασης μπορεί να

εντοπιστεί σε διάφορα θέματα σχετικά με εικονικούς πράκτορες, όπως το θέμα των συναισθημάτων που αφορά και τις δύο άκρες του φάσματος.

Στη συνέχεια αναφέρονται ορισμένα από τα ερευνητικά θέματα που εμφανίζονται στις δύο αυτές κατηγορίες εικονικών πρακτόρων, που καταδεικνύουν και τις δυσκολίες που εμφανίζονται, εφόσον επιθυμεί κάποιος την ανάπτυξη ενός μοντέλου εικονικού πράκτορα που έχει ενισχυμένες τόσο τις φυσικές, όσο και τις γνωσιακές ικανότητές του.

### Φυσικοί Πράκτορες

Όπως είναι αναμενόμενο, το βάρος στην κατηγορία αυτή πέφτει στη φυσική συμπεριφορά. Πρώτα απ' όλα θα πρέπει να αντιμετωπιστεί η κίνηση του σώματος και η μετακίνηση του πράκτορα στο περιβάλλον (Faloutsos et al., 2001), ένα θέμα που επηρεάζει άμεσα τον τρόπο σχεδιασμού και αναπαράστασης του σώματος. Στο σημείο αυτό η έννοια της ενσάρκωσης είναι εξίσου σημαντική για τους εικονικούς πράκτορες, όσο και για τους πραγματικούς ανθρώπους. Εφόσον υπάρχει μια περίπλοκη φυσική αναπαράσταση, τότε υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί για πιο ρεαλιστικές αλληλεπιδράσεις με τα αντικείμενα αλλά και για ενίσχυση της επικοινωνίας με το χρήστη μέσω βλέμματος, έκφρασης προσώπου και χειρονομιών (Gibet et al., 2001).

Ακόμα, καθώς οι πράκτορες έχουν τη δυνατότητα της μετακίνησης, θα πρέπει να είναι σε θέση να αποφύγουν ανεπιθύμητες συγκρούσεις με άλλα αντικείμενα στο περιβάλλον τους, είτε αυτά είναι στατικά, όπως δέντρα, κτίρια και έπιπλα, είτε κινούμενα, όπως άλλοι πράκτορες. Η ύπαρξη παραπάνω πρακτόρων στο περιβάλλον δημιουργεί ζητήματα συντονισμένης κίνησης μεγάλου αριθμού ατόμων (Reynolds, 1987; Muse and Thalmann, 1997), ενώ θα πρέπει επίσης να αντιμετωπιστούν και άλλα είδη αλληλεπίδρασης, που περιλαμβάνουν επαφή με το περιβάλλον πέρα από απλές συγκρούσεις, όπως το πιάσιμο των αντικειμένων ή οι φυσικές αλληλεπιδράσεις με άλλους πράκτορες, όπως η χειραγία.

Τέλος, με δεδομένη την ύπαρξη μιας πολύπλοκης φυσικής αναπαράστασης και ενός ρεπερτορίου φυσικών συμπεριφορών, προκύπτουν διάφορα θέματα ελέγχου. Για παράδειγμα, θα πρέπει να καθοριστεί το επίπεδο στο οποίο θα πρέπει να ασκηθεί ο έλεγχος, που περιλαμβάνει την πιθανότητα ελέγχου στο επίπεδο των ξεχωριστών

μυών ή στο επίπεδο των ολοκληρωμένων ενεργειών συμπεριφοράς (Badler et al., 2000), όπως το βάδισμα και το πιάσιμο των αντικειμένων ή ακόμα και στα δύο επίπεδα. Το θέμα αυτό είναι ήδη γνωστό από το χώρο της ρομποτικής, και συγκεκριμένα από την έρευνα στον τηλεχειρισμό. Ένα δεύτερο αντίστοιχο θέμα είναι το πώς θα συνδυαστούν οι φυσικές συμπεριφορές έτσι, ώστε ο πράκτορας να είναι σε θέση να κινείται και να πιάνει αντικείμενα ταυτόχρονα.

Παρόλο που στην έρευνα των φυσικών πρακτόρων υπάρχουν πολλά κοινά ζητήματα με το χώρο της ρομποτικής, υπάρχουν και ορισμένες ενδιαφέρουσες διαφορές. Για παράδειγμα, τα προβλήματα που αφορούν στις δυνάμεις της φυσικής και στα διάφορα υλικά ή ακόμα περισσότερο στο χειρισμό μοχλών και μηχανισμών είναι πολύ πιο δύσκολα και πιο ακριβά στην επίλυσή τους σε σχέση με τους εικονικούς πράκτορες. Έτσι, οι εικονικοί πράκτορες μπορούν να κατασκευαστούν με πολύ πιο ενδιαφέρουσες δομές σε σχέση με τα περισσότερα ρομπότ. Επιπλέον οι εικονικοί αισθητήρες δε χρειάζεται να πάσχουν από τα προβλήματα που υπάρχουν στους αληθινούς. Οι εικονικοί πράκτορες μπορούν να ξέρουν πάντα με ακρίβεια τη θέση τους στον κόσμο, αντίθετα με τα ρομπότ, για τα οποία η εύρεση της θέσης τους είναι ένα μεγάλο πρόβλημα. Από την άλλη μεριά, στον πραγματικό κόσμο η βαρύτητα, η τριβή, η αδράνεια και όλες οι άλλες φυσικές ιδιότητες είναι διαθέσιμες ελεύθερα, ενώ σε έναν εικονικό κόσμο η φυσική θα πρέπει να προστεθεί από το σχεδιαστή.

### Γνωσιακοί πράκτορες

Τα θέματα που σχετίζονται με το σχεδιασμό και την ανάπτυξη πρακτόρων που βρίσκονται στη γνωσιακή άκρη του φάσματος, μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις περιοχές κλειδιά. Πρώτον, θα πρέπει να υπάρχει κάποιο τμήμα του πράκτορα που είναι υπεύθυνο για τις σημαντικές γνωσιακές ικανότητες της συλλογιστικής, ανάληψης αποφάσεων, σχεδιασμού ενεργειών, εκμάθησης, κλπ, ανεξάρτητα από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται (Funge et al., 1999). Αυτό είναι ακριβώς το ίδιο πρόβλημα που αντιμετωπίζεται από τους ευφυείς πράκτορες και σε άλλες περιπτώσεις, και μπορεί να θεωρηθεί ως η βάση πάνω στην οποία στηρίζονται τα υπόλοιπα τμήματα της αρχιτεκτονικής ενός γνωσιακού πράκτορα.

Το δεύτερο βασικό θέμα αφορά στο ρεαλισμό του πράκτορα στο περιβάλλον του, σε ό,τι έχει όμως να κάνει με τη συμπεριφορά του και όχι με την εμφάνιση και την κίνησή του. Για να είναι πρακτικά τα ευφυή εικονικά περιβάλλοντα, θα πρέπει να



είναι *αληθοφανή*, τόσο σε ό,τι αφορά τις ενέργειες των πρακτόρων, όσο και στις *αλληλεπιδράσεις* τους με άλλους πράκτορες ή χρήστες. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το γνωσιακό τμήμα δε θα πρέπει να είναι αποκομμένο από τα στοιχεία που επηρεάζουν τις αποφάσεις, δηλαδή κίνητρα, συναισθήματα, προσωπικότητα, κλπ., τα οποία θα πρέπει να είναι σε θέση να εκφραστούν στο εικονικό περιβάλλον. Έχει γίνει αρκετή έρευνα στο χώρο των ευφύων πρακτόρων με συναισθήματα και σε μοντέλα συναισθημάτων και κινήτρων. Παραδείγματα είναι η εργασία των Moffat και Fridja στην ανάπτυξη ενός υπολογιστικού μοντέλου συναισθημάτων (Moffat et al, 1993; Moffat and Fridja, 1995) και η πιο περίπλοκη «υπολογιστική θεωρία του μυαλού», που αναπτύχθηκε για πολλά χρόνια από τον Sloman (Sloman and Croucher, 1981; Sloman, 1987; Sloman, 1997).

Το τρίτο θέμα είναι η αναπαράσταση του πράκτορα και των ενεργειών του στον κόσμο, που ολοκληρώνει τον κύκλο, καθώς επιστρέφει στο θέμα της μοντελοποίησης γνωσιακών και συναισθηματικών μοντέλων σε φυσικά (Miranda et al., 2001). Η οπτικοποίηση των πρακτόρων είναι σημαντική και μπορεί να είναι αποδοτική μόνο, εφόσον τα μοντέλα πρακτόρων παρέχουν αρκετά λεπτομερείς πληροφορίες. Για παράδειγμα οι Badler et al (1997) περιγράφουν τους τρόπους με τους οποίους η προσωπικότητα, που εκδηλώνεται με διάφορους τρόπους, όπως για παράδειγμα η περιέργεια ή η κούραση, μπορεί να συσχετιστεί με διάφορους παραμέτρους της κίνησης ενός εικονικού πράκτορα, όπως ταχύτητα και πρόβλεψη. Περιγράφουν ένα απλό μοντέλο στο οποίο η προσωπικότητα μπορεί να επηρεάσει τις ενέργειες του πράκτορα. Ενώ το ίδιο το μοντέλο είναι σχετικά απλό και είναι μόνο μια αφορμή για μελλοντική εξερεύνηση του πεδίου αυτού, είναι παράλληλα και ένα παράδειγμα σύνδεσης των υψηλού επιπέδου νοητικών τμημάτων του πράκτορα με τη χαμηλού επιπέδου φυσική έκφρασή του.

### 3.2 Μοντελοποίηση Εικονικών Πρακτόρων

Έχοντας ήδη αναφερθεί σε γενικές γραμμές στα θέματα που προκύπτουν κατά την ανάπτυξη εικονικών πρακτόρων τόσο σε γνωσιακό όσο και σε φυσικό επίπεδο, θα περιγραφεί ενιαία και με περισσότερη λεπτομέρεια η έρευνα σε όλα τα στάδια μοντελοποίησης ενός εικονικού πράκτορα, από τη χαμηλού επιπέδου κίνησή του μέχρι την υψηλού επιπέδου συμπεριφορά του. Όπως και στη γενικότερη περίπτωση των εικονικών περιβαλλόντων, έτσι και στο χώρο των εικονικών πρακτόρων δεν

υπάρχουν κάποιες γενικού τύπου μεθοδολογίες για την ανάπτυξή τους. Έχουν προταθεί πολλά διαφορετικά συστήματα και προσεγγίσεις, καθένα από τα οποία διαφέρει σε εμφάνιση, λειτουργία και αυτονομία ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής και την απαιτούμενη λεπτομέρεια και ακρίβεια. Σε ό,τι αφορά τους εικονικούς ανθρώπους, ο Norman Badler, ένας από τους σημαντικούς ερευνητές του χώρου, προτείνει τρία διαφορετικά στάδια για την κατασκευή τους (Badler et al., 1999):

- *μοντελοποίηση σώματος*: η οπτικοποίηση του συνόλου του ανθρώπινου σώματος και ο ορισμός του σκελετού με τις κατάλληλες αρθρώσεις
- *αλληλεπίδραση με το χώρο*: η απευθείας μετακίνηση των μελών του σώματος ή η δημιουργία κίνησης προσανατολισμένης στο στόχο με τη χρήση περιορισμών και αλγορίθμων αντίστροφης κινηματικής
- *έλεγχος συμπεριφοράς*: η δυνατότητα δημιουργίας σύνθετης μετακίνησης ακολουθώντας ένα απλό σύνολο κανόνων που καθορίζει τη συμπεριφορά του μοντέλου

Αν και τα στάδια αυτά αναφέρονται συγκεκριμένα σε ανθρώπινα σώματα, βρίσκουν εφαρμογή και στη γενικότερη περίπτωση των εικονικών πρακτόρων. Ακολουθώντας τα παραπάνω στάδια θα γίνει αναφορά στα ζητήματα της απεικόνισης και κίνησης των εικονικών πρακτόρων, στην αλληλεπίδρασή τους με το περιβάλλον και στους διάφορους τρόπους μοντελοποίησης της συμπεριφοράς τους.

### 3.2.1 Μοντελοποίηση του σώματος

Το πιο βασικό στάδιο μοντελοποίησης του σώματος ενός εικονικού πράκτορα είναι η γεωμετρική αναπαράστασή του. Αυτό το στάδιο μπορεί να είναι το μοναδικό που χρειάζεται, για να παραχθούν στατικά αντικείμενα, αλλά είναι αδύνατο να δημιουργηθεί σύνθετη μετακίνηση του σώματος με βάση μόνο το τρισδιάστατο μοντέλο του. Για το λόγο αυτό ένα ακόμη σημαντικό στάδιο είναι η μοντελοποίηση του σκελετού, ο οποίος θα ορίσει τα κινούμενα μέρη του σώματος και τον τύπο της μετακίνησης που μπορούν να εκτελέσουν. Τα δύο αυτά στάδια είναι αρκετά, για να είναι σε θέση ο χαρακτήρας να εκτελέσει συνθετικές κινήσεις. Παρόλα αυτά, η παραγωγή φυσικής και αληθοφανούς μετακίνησης απαιτεί επιπλέον εργασία. Τόσο το δέρμα όσο και τα ρούχα του εικονικού ανθρώπου θα πρέπει να μετακινούνται και να παραμορφώνονται με φυσικό τρόπο. Ο υπολογισμός της κίνησης του δέρματος και

των υφασμάτων είναι η πιο απαιτητική υπολογιστικά διαδικασία και για το λόγο αυτό δεν ενδείκνυται για συνθετική κίνηση σε πραγματικό χρόνο, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα που περιέχουν περισσότερους από έναν πράκτορες.



Εικόνα 3.1: Στιγμιότυπο από το πρόγραμμα Poser

### Αναπαράσταση σώματος

Η αναπαράσταση του σώματος γίνεται με τη διαδικασία της τρισδιάστατης μοντελοποίησης, όπως και σε οποιοδήποτε άλλο τρισδιάστατο αντικείμενο. Υπάρχουν πολλοί τρόποι για να αναπαραστήσει κάποιος γεωμετρικά μια φιγούρα (καμπύλες επιφάνειες, voxels κ.α.), αλλά ο πιο αποδοτικός τρόπος, ειδικά για εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο, είναι να μοντελοποιηθεί το σώμα ως πλέγμα (mesh), δηλαδή ως σύνολο από πολύγωνα που συνδέονται με κοινές ακμές. Το επίπεδο λεπτομέρειας και πολυπλοκότητας του σώματος εξαρτάται από το πεδίο εφαρμογής. Τα παιχνίδια και οι προσομοιώσεις σε πραγματικό χρόνο τείνουν να χρησιμοποιούν μοντέλα με σχετικά μικρό αριθμό πολύγωνων και χρησιμοποιούν εναλλακτικές μεθόδους (π.χ. υφές), για να αναπαραστήσουν λεπτομέρειες. Από την άλλη μεριά, για την παραγωγή συνθετικής κίνησης υψηλής ποιότητας το σώμα μοντελοποιείται με τη μέγιστη δυνατή λεπτομέρεια. Μια καλή τεχνική για το συμβιβασμό μεταξύ λεπτομέρειας και απόδοσης είναι η χρήση επιπέδων λεπτομέρειας (Aubel et al, 2000), δηλαδή η χρήση διαφορετικών μοντέλων λεπτομέρειας που εναλλάσσονται ανάλογα με την απόσταση του θεατή από αυτά.



Υπάρχουν ορισμένα εμπορικά πακέτα που επιτρέπουν στο χρήστη να ορίσει και να κατασκευάσει ένα μοντέλο ανθρώπινου σώματος και να το εξαγάγει σε κάποιο αρχείο για τρισδιάστατα αντικείμενα. Πιθανώς το πιο διαδεδομένο είναι το Poser (εικ. 3.1) της εταιρίας Curiouslabs, με το οποίο ο χρήστης μπορεί να επιλέξει κάποιο βασικό μοντέλο από μια βιβλιοθήκη, να ορίσει έναν αριθμό χαρακτηριστικών (όπως ύψος, όγκος, χαρακτηριστικά προσώπου) και να χρησιμοποιήσει το μοντέλο αυτό στα δικά του προγράμματα ή για παραγωγή βίντεο.

### Μοντελοποίηση σκελετού

Η σωστή μετακίνηση του σώματος απαιτεί να υπάρχει η μοντελοποίηση ενός σκελετού που θα ορίζει τα κινούμενα μέρη της φιγούρας. Στην περίπτωση των εικονικών ανθρώπων, παρόλο που είναι δυνατό να μοντελοποιηθεί κάθε κόκαλο του σκελετού και να κωδικοποιηθεί ο τρόπος με τον οποίον κινείται σε σχέση με τα υπόλοιπα, συνήθως είναι αρκετό να μοντελοποιηθούν τα τμήματα (segments) του σώματος με βάση τη θέση και τις διαστάσεις τους και οι αρθρώσεις (joints) με βάση τις περιστροφές που μπορούν να εκτελέσουν. Οι αρθρώσεις είναι συνήθως περιστροφικές, αλλά σε κάποιες περιπτώσεις μπορούν και να μετακινούνται. Κάθε περιστροφική άρθρωση μπορεί να επιτρέπει περιστροφή σε έναν, δύο ή τρεις ορθογώνιους άξονες, που είναι οι βαθμοί ελευθερίας της άρθρωσης. Μια λεπτομερής προσέγγιση του ανθρώπινου σκελετού μπορεί να έχει γύρω στους διακόσιους βαθμούς ελευθερίας, παρόλο που συνήθως ένας μικρότερος αριθμός είναι αρκετός. Το επιτρεπτό εύρος κινήσεων κάθε άρθρωσης μπορεί να περιοριστεί με τον ορισμό ελάχιστης και μέγιστης γωνίας για κάθε περιστροφή.

Τα επιμέρους αντικείμενα που απαρτίζουν το σκελετό ορίζονται το καθένα στο δικό τους τοπικό σύστημα συντεταγμένων και δημιουργούν μια αναγνωρίσιμη φιγούρα σε ένα γενικό σύστημα συντεταγμένων του κόσμου με μια σειρά από ένθετους (nested) μετασχηματισμούς. Το γεγονός ότι η αλλαγή στη γωνία περιστροφής μιας άρθρωσης επηρεάζει τη θέση αρκετών άλλων καθιστά αναγκαία τη σύνδεσή τους σε τοπολογία δέντρου (Badler et al., 1993b). Η τοπολογία αυτή έχει ως συνέπεια η μεταβολή της περιστροφής ενός κόμβου να προκαλεί γεωμετρικούς μετασχηματισμούς σε όλους τους απογονικούς κόμβους.

Πρόσφατα έχει γίνει μια προσπάθεια να οριστεί μια πρότυπος ιεραρχία αρθρώσεων για ανθρώπινα μοντέλα στη γλώσσα VRML97. Η ομάδα εργασίας Humanoid

Animation Working Group πρότεινε τις προδιαγραφές για ένα VRML ανθρωποειδές (h-anim), που περιλαμβάνει ένα πολύ λεπτομερές δέντρο αρθρώσεων. Ο πρωτεύων στόχος της ομάδας εργασίας είναι να ενθαρρύνει τους δημιουργούς να κατασκευάσουν μοντέλα σκελετού με ένα δεδομένο τρόπο, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικές εφαρμογές.

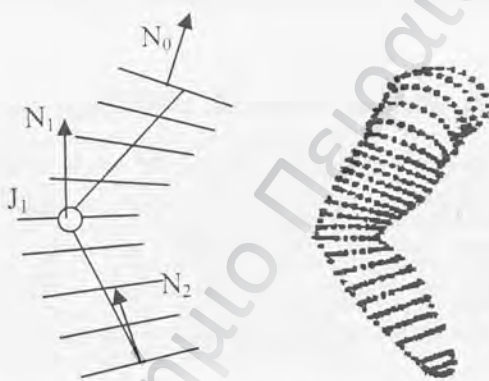
### Μοντελοποίηση του δέρματος και των ρούχων

Η μοντελοποίηση του ανθρώπινου δέρματος θα πρέπει να γίνει μετά από προσεκτική μελέτη, γιατί, αντίθετα με τα μηχανικά αντικείμενα, το δέρμα παραμορφώνεται, όταν το σώμα κινείται. Για παράδειγμα, όταν οι ρόδες ενός αυτοκινήτου περιστρέφονται, η περιστροφή αυτή δεν επηρεάζει οποιοδήποτε άλλο τμήμα του, αλλά, όταν το ανθρώπινο χέρι κινείται, προκαλεί παραμόρφωση του δέρματος γύρω από τον ώμο και το στήθος. Εάν τα μέλη του σώματος έχουν μοντελοποιηθεί ως στερεά αντικείμενα, ακόμα και μικρές περιστροφές μπορούν να προκαλέσουν ανεπιθύμητες «διασπάσεις» στο δέρμα και να κάνουν το μοντέλο να μη δείχνει ρεαλιστικό.

Ο απλούστερος και ευκολότερος τρόπος, για να αποφευχθεί το πρόβλημα αυτό, είναι να χρησιμοποιηθούν σταθερά αντικείμενα στη θέση των αρθρώσεων. Τα αντικείμενα αυτά (συνήθως σφαίρες ή ελλειψοειδή) εξυπηρετούν ως ένα μέσο για να γεμίσουν οι διασπάσεις, όταν τα τμήματα μετακινούνται, δίνοντας έτσι την ψευδαίσθηση συνεχούς δέρματος. Τα οπτικά αποτελέσματα της τεχνικής αυτής δεν είναι ιδιαίτερα κομψά, αλλά λόγω της απλότητάς της έχει υιοθετηθεί από πολλά συστήματα πραγματικού χρόνου, κυρίως σε περιπτώσεις που δεν είναι διαθέσιμη μεγάλη υπολογιστική ισχύς.

Μια ακόμη πιο αποδοτική λύση είναι η παραμόρφωση με το χειρισμό περιγραμμάτων δέρματος (Kalra et al., 1998). Η τεχνική αυτή δεν αντιμετωπίζει τα τμήματα του σώματος ως στατικά πλέγματα, αλλά παραμορφώνει τη γεωμετρία του σώματος, όταν ένα τμήμα περιστρέφεται. Η ιδέα είναι να μεταβληθούν τα παράλληλα περιγράμματα (σύνολο σημείων που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο) του μοντέλου του σώματος. Κάθε άρθρωση θα πρέπει να αντιστοιχεί σε ένα τέτοιο περίγραμμα και να ανήκει στο επίπεδο του περιγράμματος αυτού. Όταν ένα τμήμα περιστρέφεται γύρω από μια άρθρωση, η παραμόρφωση του δέρματος γύρω από την άρθρωση αυτή υπολογίζεται από τις γειτονικές αρθρώσεις (τη γονική και τις απογονικές στην ιεραρχία αρθρώσεων). Εάν το περίγραμμα της άρθρωσης  $J_1$ , που προκάλεσε την περιστροφή,

έχει κάθετο διάνυσμα  $N_1$  (το κάθετο διάνυσμα του επιπέδου στο οποίο βρίσκεται το περίγραμμα)-και οι δύο γειτονικές αρθρώσεις  $J_0$  και  $J_2$  έχουν αντίστοιχα διανύσματα  $N_0$  και  $N_2$ , τα ενδιάμεσα περιγράμματα στα τμήματα  $J_0J_1$  και  $J_1J_2$  υπολογίζονται με τη χρήση γραμμικής παρεμβολής μεταξύ των κάθετων διανυσμάτων (εικόνα 3.2). Μόλις υπολογιστεί το κάθετο διάνυσμα ενός περιγράμματος, όλες οι κορυφές του μετασχηματίζονται έτσι, ώστε να ανήκουν στο νέο επίπεδο. Η τεχνική αυτή είναι γρήγορη και αποδοτική, αλλά δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα τρισδιάστατα μοντέλα σώματος. Το σώμα θα πρέπει να έχει κατασκευαστεί με τη χρήση περιγραμμάτων που ανήκουν σε επίπεδα που είναι κάθετα στα τμήματα του σκελετού.



Εικόνα 3.2 : Παραμόρφωση δέρματος με χειρισμό περιγραμμάτων

Στις περιπτώσεις εκείνες που απαιτείται υψηλό επίπεδο ρεαλισμού, η κίνηση του δέρματος θα πρέπει να ακολουθεί τους φυσικούς νόμους, θα πρέπει δηλαδή να συμπεριφέρεται ως ελαστική επιφάνεια. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι να μοντελοποιηθεί το δέρμα ως ένα σύνολο από ελατήρια και μάζες (Vince, 1995). Κάθε κορυφή του πλέγματος μπορεί να ληφθεί ως μια μικρή μάζα και κάθε ακμή ως ένα ελατήριο με σχετικά μικρή ελαστικότητα. Η δομή αυτή εγγυάται την ελαστική παραμόρφωση του δέρματος, καθώς το σώμα κινείται. Παρόλα αυτά απαιτείται το πλέγμα της επιφάνειας να είναι αρκετά πυκνό και σχετικά κανονικό.

Υπάρχουν επίσης και πιο πολύπλοκες προσεγγίσεις που χρησιμοποιούν βιολογικά και μηχανικά μοντέλα, για να υπολογίσουν τη συμπεριφορά του δέρματος και να δημιουργήσουν ρυτίδες, όταν το δέρμα παραμορφώνεται (Wu et al., 1997; Magnetat-



Thalmann et al., 1996). Τα μοντέλα αυτά λαμβάνουν υπόψη τους και τη δομή των μιών του σώματος και υπολογίζουν και τη δική τους παραμόρφωση.

Η προσομοίωση του υφάσματος ακολουθεί σχεδόν την ίδια διαδικασία χρησιμοποιώντας και πάλι ένα μοντέλο με ελατήρια και μάζες. Η επιφάνεια των ρούχων πρέπει να είναι ένα πυκνό σύνολο από μικρές μάζες, που θα πρέπει να έχουν βαρύτητα και τη δυνατότητα να συγκρούονται τόσο μεταξύ τους όσο και με το δέρμα. Όσο πιο λεπτομερές είναι το μοντέλο (μεγάλος αριθμός ελατηρίων και μαζών) τόσο πιο ρεαλιστική είναι η παραμόρφωση και η δημιουργία πτυχώσεων στα ρούχα. Η σημερινή υπολογιστική ισχύς επιτρέπει συνθετική κίνηση ρούχων σε πραγματικό χρόνο με την χρήση ενός απλουστευμένου μοντέλου ελατηρίων - μαζών (Lander, 1999).

### 3.2.2 Στάσεις του σώματος: Ευθεία και Αντίστροφη Κινηματική

Μια στάση του σώματος μπορεί να δημιουργηθεί με τη μεταβολή των τοπικών περιστροφών στις αρθρώσεις καθώς και με τη γενική μετατόπιση της κορυφής του δέντρου αρθρώσεων. Υπάρχουν δύο θεμελιώδεις προσεγγίσεις σε ό,τι αφορά τον ορισμό μιας στάσης του σώματος: η χαμηλού επιπέδου *ευθεία κινηματική* (forward kinematics), και η πιο κοινή, *αντίστροφη κινηματική* (inverse kinematics).

Στην ευθεία κινηματική θα πρέπει να ορίσει κάποιος επακριβώς τη θέση και τον προσανατολισμό των αντικειμένων σε συγκεκριμένους χρόνους. Για δομές που περιλαμβάνουν σκελετό (όπως ο άνθρωπος), αυτό σημαίνει να ορίσει κάποιος απευθείας τις περιστροφές σε επιλεγμένες αρθρώσεις και πιθανώς τη γενική μετακίνηση του αντικειμένου, ώστε να δημιουργήσει μια στάση. Χρησιμοποιώντας ευθεία κινηματική, η θέση κάθε τμήματος σε ένα σκελετό μπορεί να ελεγχθεί μόνο έμμεσα μεταβάλλοντας τις περιστροφές μεταξύ των αρθρώσεων από την κορυφή του δέντρου μέχρι το συγκεκριμένο τμήμα.

Η αντίστροφη κινηματική, που πολλές φορές καλείται *κίνηση προσανατολισμένη στο στόχο*, παρέχει μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική λύση σε σχέση με την περιστροφή των επιμέρους αρθρώσεων σε ένα σκελετό. Ο δημιουργός μπορεί να ορίσει απευθείας τη θέση ενός *τελικού στοιχείου δράσης* (end-effector), ενώ το σύστημα υπολογίζει αυτόματα τις γωνίες των αρθρώσεων που απαιτούνται, για να τοποθετηθεί το τμήμα αυτό στην κατάλληλη θέση (Watt and Watt, 1992). Το πρόβλημα της αντίστροφης

κινηματικής έχει μελετηθεί εκτενώς στο χώρο της ρομποτικής, ενώ μόλις πρόσφατα εφαρμόστηκαν οι τεχνικές αυτές στη συνθετική κίνηση με υπολογιστή.

Στην περίπτωση της ευθείας κινηματικής ο δημιουργός έχει πάρα πολλούς μετασχηματισμούς να ελέγξει, οι οποίοι, ενώ του δίνουν παραπάνω ελευθερία για πιο εκφραστικές κινήσεις, μπορούν να αποδειχτούν ιδιαίτερα πολύπλοκοι στην πράξη. Από την άλλη μεριά, οι αλγόριθμοι ανάστροφης κινηματικής έχουν μεγάλο υπολογιστικό κόστος καθιστώντας απίθανο τον υπολογισμό των γωνιών των αρθρώσεων για όλους τους βαθμούς ελευθερίας ενός εικονικού ανθρώπου σε πραγματικό χρόνο. Στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτείται μια ισορροπία μεταξύ των δύο αυτών προσεγγίσεων.

### 3.2.3 Κίνηση

Οι άνθρωποι είναι ιδιαίτερα ικανοί στο να αντιλαμβάνονται τις μικρές λεπτομέρειες της ανθρώπινης κίνησης. Για παράδειγμα, κάποιος μπορεί συχνά να αναγνωρίζει τους γνωστούς του από μεγάλη απόσταση μόνο και μόνο από το βάδισμά τους. Λόγω της ικανότητας αυτής, είναι ιδιαίτερα υψηλές οι απαιτήσεις από συνθετικές κινήσεις που περιλαμβάνουν ανθρώπους ή γενικότερα συνθετικούς χαρακτήρες. Για να είναι ρεαλιστική και ενδιαφέρουσα η κίνηση που δημιουργείται από υπολογιστή, θα πρέπει οι εικονικοί χαρακτήρες να κινούνται με φυσικό τρόπο.

Ο ορισμός της κίνησης σε υπολογιστή είναι εξαιρετικά δύσκολος. Ακόμα και μια απλή μπάλα που αναπηδά είναι δύσκολο να αναπαρασταθεί πειστικά, κυρίως επειδή οι άνθρωποι εύκολα ξεχωρίζουν ενέργειες που δείχνουν λανθασμένες και αφύσικες, χωρίς κατ' ανάγκη να γνωρίζουν τι ακριβώς φταίει. Η συνθετική κίνηση ενός χαρακτήρα είναι εξαιρετικά επίπονη διαδικασία, διότι πρέπει να οριστούν πολλές λεπτομέρειες της κίνησης, για να αποδώσουν την προσωπικότητα και τη διάθεση.

Οι τεχνικές συνθετικής κίνησης σε υπολογιστή κατατάσσονται σε τρεις βασικές κατηγορίες: *διαδικαστική συνθετική κίνηση* (procedural animation), *συνθετική κίνηση απόδοσης* (performance animation) και *συνθετική κίνηση συμπεριφοράς* (behavioral animation). Και οι τρεις περιλαμβάνουν ένα συμβιβασμό μεταξύ του επιπέδου ελέγχου που έχει ο δημιουργός στις μικρές λεπτομέρειες της κίνησης και της ποσότητας εργασίας που εκτελεί ο υπολογιστής μόνος του. Η τεχνική της κίνησης με θέσεις-κλειδιά που χρησιμοποιείται στη διαδικαστική συνθετική κίνηση επιτρέπει

λεπτομερή έλεγχο, αλλά ο δημιουργός πρέπει να σιγουρέψει μόνος του τη φυσικότητα του αποτελέσματος. Αντίθετα, η συνθετική κίνηση απόδοσης και η συνθετική κίνηση συμπεριφοράς παράγουν κίνηση με πιο αυτοματοποιημένο τρόπο, αλλά παρέχουν λίγες δυνατότητες για διόρθωση εκ των υστέρων.

### Διαδικαστική συνθετική κίνηση

Μεγάλο μέρος της ώθησης στην τεχνολογία των φυσικών πρακτόρων οφείλεται στην παραγωγή φιλμ. Η συνθετική κίνηση με το χέρι είναι μια ιδιαίτερα χρονοβόρα και ακριβή διαδικασία, με αποτέλεσμα να φαίνεται προφανής ιδέα η χρήση υπολογιστικής ισχύος. Ο πιο απλός αυτοματισμός είναι η παραγωγή ενδιάμεσων σταδίων μεταξύ των εικόνων που είχαν ζωγραφιστεί με το χέρι, έτσι ώστε να χρειάζεται σημαντικά μικρότερος αριθμός σχεδίων. Η τεχνική αυτή συχνά ονομάζεται *διαδικαστική συνθετική κίνηση*.

Η διαδικασία παραγωγής διαδικαστικής συνθετικής κίνησης ονομάζεται *κίνηση με θέσεις-κλειδιά* (keyframing) και απαιτεί από το δημιουργό να ορίσει κρίσιμες θέσεις για τα μέρη του σώματος του χαρακτήρα ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Ο υπολογιστής στη συνέχεια «γεμίζει» τις ενδιάμεσες σκηνές με ομαλή παρεμβολή μεταξύ των θέσεων αυτών.

Ο ορισμός των θέσεων κλειδιών μπορεί να είναι σχετικά αυτοματοποιημένος με τεχνικές που βοηθούν στο μετασχηματισμό ορισμένων αρθρώσεων. Εάν για παράδειγμα το χέρι ενός χαρακτήρα πρέπει να βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη θέση, ο υπολογιστής θα μπορούσε να υπολογίσει τις κατάλληλες γωνίες του ώμου και του αγκώνα χρησιμοποιώντας αντίστροφη κινηματική. Παρόλο που τέτοιες τεχνικές διευκολύνουν τη διαδικασία, ο ορισμός στιγμιότυπων απαιτεί από το δημιουργό να έχει λεπτομερή κατανόηση του τρόπου με τον οποίο τα κινούμενα μέρη θα πρέπει να συμπεριφέρονται στο χρόνο, καθώς και το ταλέντο να εκφράσει την πληροφορία αυτή μέσα από θέσεις κλειδιά. Το γεγονός, ότι η τεχνική του ορισμού στιγμιότυπων εξακολουθεί και είναι δημοφιλής, οφείλεται καθαρά στο βαθμό ελέγχου που δίνει πάνω στις λεπτομέρειες της κίνησης.

Μία επέκταση της ιδέας αυτής βρίσκεται στο προγραμματιστικό περιβάλλον Microsoft AGENT, που έχει προκύψει από το πρόγραμμα Persona (Ball et al, 1997), και αφορά χαρακτήρες σε δύο διαστάσεις. Στην περίπτωση αυτή παρέχονται



προσχεδιασμένα τμήματα συνθετικής κίνησης, (π.χ. ο χαρακτήρας κοιτάζει αριστερά, ο χαρακτήρας εξαφανίζεται και ο χαρακτήρας πετάει ψηλά) και ο προγραμματιστής μπορεί να δηλώσει ακολουθίες τέτοιων κινήσεων, τις οποίες το σύστημα παράγει με ομαλή μετάβαση μεταξύ των επιμέρους συνθετικών κινήσεων. Μια παρόμοια προσέγγιση σε τρεις διαστάσεις υπάρχει στο σύστημα εικονικών ηθοποιών IMPROV (Goldberg, 1997), που ορίζει ως ενέργεια μια απλή ή επαναλαμβανόμενη διαδικασία που δεν απαιτεί υψηλού επιπέδου επίγνωση ή συνειδητές αποφάσεις. Στο IMPROV οι ενέργειες χωρίζονται σε κατηγορίες, όπου ενέργειες της ίδιας κατηγορίας είναι αμοιβαίως αποκλειόμενες. Αυτό επιτρέπει διαφορετικές ενέργειες να εκτελούνται ταυτόχρονα για παράδειγμα, ένας εικονικός ηθοποιός να περπατάει και να χαιρετάει.

Ο προσδιορισμός των ακολουθιών μπορεί να είναι ιδιαίτερα πολύπλοκος. Το IMPROV παρέχει ένα μηχανισμό γλώσσας σεναρίων με τη δυνατότητα να εκτελούνται σενάρια μέσα από άλλα σενάρια ή να καλούνται από ενέργειες του χρήστη. Στο πρόγραμμα Persona, το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με τη χρήση ενός γραμμικού σχεδιαστή ενεργειών (planner) σε κατάσταση off-line, ο οποίος παρήγαγε αρχικά τις ακολουθίες ως πλάνα που εκτελούνταν στη διάρκεια του προγράμματος.

### **Συνθετική κίνηση απόδοσης**

Μια δεύτερη προσέγγιση που χρησιμοποιείται στη συνθετική κίνηση αλλά και στο χειρισμό των ενσάρκώσεων (Emerging et al, 1997), είναι να προσδιορίζονται οι κινήσεις του πράκτορα από έναν πραγματικό άνθρωπο: μια προσέγγιση που είναι γνωστή ως *συνθετική κίνηση απόδοσης*.

Η συνθετική κίνηση απόδοσης επιτυγχάνεται με μια τεχνική που ονομάζεται *σύλληψη κίνησης* (motion capture) και περιλαμβάνει τη μέτρηση της θέσης και του προσανατολισμού αντικειμένων του φυσικού κόσμου και την καταγραφή της πληροφορίας αυτής σε μορφή χρησιμοποιήσιμη από υπολογιστή. Εφόσον τα δεδομένα καταγραφούν, ο υπολογιστής τα αξιοποιεί σε αντίστοιχα αντικείμενα στο εικονικό περιβάλλον. Στην περίπτωση των εικονικών ανθρώπων η συνθετική κίνηση που παράγεται χρησιμοποιεί τις καταγεγραμμένες θέσεις και προσανατολισμούς των μελών του σώματος, ώστε να ορίσει τα στιγμιότυπα που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια στο τρισδιάστατο σκηνικό.

είναι εικονικοί μύες που κινούν τα διάφορα μέρη του σώματος στις κατάλληλες θέσεις.

### 3.2.4 Αλληλεπίδραση με το περιβάλλον

Ως τώρα δεν έχουν αναφερθεί θέματα που προκύπτουν από τη δυνατότητα των εικονικών πρακτόρων να αντιλαμβάνονται τον κόσμο και οι πράξεις τους να έχουν μια αντίστοιχη επίδραση στον κόσμο. Αυτές είναι οι περιπτώσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ ενός πράκτορα και του κόσμου, που εξαρτώνται όμως σε μεγάλο βαθμό από το ίδιο το μοντέλο του περιβάλλοντος και τη λειτουργικότητά του. Στη συνέχεια θα εξεταστεί το ζήτημα της αυτονομίας εικονικών πρακτόρων, η μοντελοποίηση του περιβάλλοντος και τα θέματα της αντίληψης και ενέργειας των εικονικών πρακτόρων στο περιβάλλον.

#### Αυτονομία εικονικών πρακτόρων

Η έννοια της αυτονομίας είναι πολύ σημαντική και αφορά στους πράκτορες που πρέπει να λειτουργούν αποτελεσματικά και ανεξάρτητα σε ένα δυναμικό περιβάλλον (Caicedo and Thalmann, 2000; Goncalves and Silva, 2001). Έχει γίνει αρκετή δουλειά σε θέματα αυτονομίας, όπως για παράδειγμα σχετικά με τη φύση της και όσα αυτή συνεπάγεται (Luck and d'Inverno, 1995), με το πώς μπορεί να προσδιοριστεί από αρχιτεκτονικές πρακτόρων (Castelfranchi, 1995) και με τις λεπτομέρειες της χρήσης τέτοιων αρχιτεκτονικών (Franklin and Graesser, 1996). Μια ερώτηση που προκύπτει αυτόματα είναι το κατά πόσο η αυτονομία είναι χρήσιμη και κατάλληλη για πράκτορες σε εικονικά περιβάλλοντα, όσο είναι για πράκτορες στον πραγματικό κόσμο (π.χ. ρομπότ). Στον πραγματικό κόσμο το περιβάλλον λειτουργεί ανεξάρτητα από τους πράκτορες που βρίσκονται μέσα σε αυτό. Ένας μεμονωμένος πράκτορας μπορεί να αντιληφθεί μόνο μέρος του περιβάλλοντος, το οποίο επηρεάζεται τόσο από τις δικές του ενέργειες, όσο και από αυτές άλλων πρακτόρων. Υπό αυτές τις συνθήκες οι προβλέψεις για την τρέχουσα κατάσταση του κόσμου μπορούν κάλλιστα να είναι λανθασμένες. Η αυτονομία στην περίπτωση αυτή είναι απολύτως απαραίτητη, καθώς ο πράκτορας θα πρέπει να παίρνει αποφάσεις με βάση την τρέχουσα κατάσταση του κόσμου, η οποία δεν μπορεί να είναι εκ των προτέρων προβλεπόμενη.

Σε ένα εικονικό περιβάλλον η κατάσταση είναι αρκετά διαφορετική. Ο σχεδιαστής έχει μια ολοκληρωμένη άποψη τόσο του κόσμου όσο και του πράκτορα, και συνεπώς

δεν χρειάζεται να κάνει διάκριση μεταξύ των δύο. Επιπλέον, ολόκληρο το περιβάλλον μπορεί να είναι διαθέσιμο στον πράκτορα – εφόσον δεν υπάρχει λόγος να γίνεται διάκριση μεταξύ του μοντέλου του κόσμου στο μυαλό του πράκτορα και του ίδιου του κόσμου. Από την πρακτική σκοπιά η αυτονομία αντιμετωπίζεται ως μια επιπλέον επιβάρυνση του συστήματος, που είναι χρήσιμη μόνο ως βάση για επιστημονικές έρευνες πάνω σε θεωρίες πρακτόρων.

Παρόλα αυτά, όπως ισχυρίζονται οι Petta και Trapl (1997), η χρήση ενός πράκτορα παντογνώστη μπορεί τελικά να αποδειχτεί ακόμα λιγότερο αποδοτική. Το πρόβλημα είναι ότι, εάν οι εικονικοί πράκτορες πρέπει να συμπεριφέρονται με έναν τρόπο που είναι πειστικός στο χρήστη και διατηρεί το αίσθημα της παρουσίας στον εικονικό κόσμο, θα πρέπει να συμπεριφέρονται σαν να είχαν τους ίδιους περιορισμούς με αυτούς των αντίστοιχων οντοτήτων στον πραγματικό κόσμο. Θα πρέπει να φαίνονται σαν να συλλέγουν πληροφορίες, μόνο όταν αυτές είναι προσβάσιμες, και να αλληλεπιδρούν με τον κόσμο και τα αντικείμενα με λογικοφανή τρόπο. Η χρήση πρακτόρων – παντογνώστων καταλήγει σε προβλήματα, όταν θα πρέπει το σύστημα να καταγράφει το τι υποτίθεται ότι έχει αντιληφθεί και το τι γνωρίζει ο κάθε πράκτορας. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι τελικά πολύ πιο απλό να εφοδιαστεί κάθε πράκτορας με *εικονικούς αισθητήρες* (Thalmann et al, 1997) και να τους αξιοποιήσει, για να πραγματοποιεί αυτόνομα τις ενέργειές του χρησιμοποιώντας *εικονικούς επιδραστές*. Έτσι, ένα μεγάλο μέρος της ερευνητικής δουλειάς που έχει γίνει σχετικά με εικονικούς πράκτορες υιοθετεί τελικά την προσέγγιση της αυτονομίας.

Υπάρχουν, όμως, και άλλα πλεονεκτήματα της χρήσης αυτόνομων πρακτόρων, που εντοπίζονται κυρίως στο επίπεδο υλοποίησης, με πιο σημαντικά τις δυνατότητες επαναχρησιμοποίησής τους σε διαφορετικά περιβάλλοντα και κατανομής της λειτουργίας μεμονωμένων πρακτόρων σε διαφορετικούς επεξεργαστές. Τα παραπάνω, βέβαια, είναι σε μεγάλο βαθμό θεωρητικά, καθώς στην πράξη υπάρχουν λίγες ενδείξεις επαναχρησιμοποίησης ή κατανομής, γεγονός που αντανάκλα την τρέχουσα ανωριμότητα του πεδίου και την ποικιλία των προβλημάτων που συναντιούνται. Είναι επίσης αλήθεια ότι, ενώ η αυτονομία δείχνει να είναι αναγκαία συνθήκη για επαναχρησιμοποιήσιμους πράκτορες, απέχει πολύ από το να είναι και ικανή, καθώς υπάρχουν πολλά θέματα που πρέπει να λυθούν σε ό,τι αφορά την



εγνοιολογική αναπαράσταση των πρακτόρων, του περιβάλλοντος και των διαθέσιμων αλληλεπιδράσεων.

### Μοντελοποίηση του περιβάλλοντος

Τα συνηθισμένα εργαλεία για εικονικά περιβάλλοντα χρησιμοποιούν το γράφημα σκηνικού, για να αναπαραστήσουν τον κόσμο. Αυτός είναι ένας βολικός τρόπος αναπαράστασης της γραφικής άποψης των αντικειμένων, καθώς τα φύλλα στο γράφημα σκηνικού αναπαριστούν συνήθως πρωτογενή αντικείμενα γραφικών ως συλλογή από πολύγωνα. Τα πρωτογενή αυτά αντικείμενα ομαδοποιούνται στη συνέχεια σε πιο πολύπλοκα γραφικά αντικείμενα χρησιμοποιώντας κόμβους ομαδοποίησης στους οποίους ενσωματώνονται.

Παρόλα αυτά, αν θελήσει κάποιος να προσθέσει γνώση στα αντικείμενα, και συγκεκριμένα να μπορούν να τα χειριστούν οι πράκτορες σε επίπεδο γνώσης (Levison and Badler, 1994), η αναπαράσταση γραφήματος σκηνικού δεν είναι ιδιαίτερα βολική, καθώς δεν είναι πάντα ξεκάθαρος ο τρόπος με τον οποίο ένα εγνοιολογικό αντικείμενο αντιστοιχίζεται σε συλλογή από πρωτογενή γραφικά αντικείμενα. Κατά συνέπεια, υπάρχει σήμερα η άποψη ότι είναι απαραίτητο οι σχεδιαστές εργαλείων για εικονικά περιβάλλοντα να αρχίσουν να ασχολούνται με την ενσωμάτωση συγκεκριμένων δυνατοτήτων αναπαράστασης γνώσης (West and Hubbold, 1998), μια περιοχή στην οποία η τεχνητή νοημοσύνη έχει πολλά να προσφέρει.

### Αντίληψη

Ο βαθμός στον οποίον η αντίληψη σε ένα εικονικό περιβάλλον μοντελοποιείται με βάση την αντίληψη στον πραγματικό κόσμο διαφέρει πολύ ανάλογα με τους πράκτορες. Στον πραγματικό κόσμο η αντίληψη είναι ένα πολύ δύσκολο πρόβλημα, όπως είναι ήδη γνωστό από το χώρο των ρομπότ. Αντίθετα, στον εικονικό κόσμο η αντίληψη δε χρειάζεται να έχει προβλήματα, όπως η αμφιβολία, ο θόρυβος ή η χρονοβόρος επεξεργασία. Οι πιο απλοϊκοί εικονικοί αισθητήρες θα μπορούσαν να προβάλλουν μια ακτίνα από τα μάτια του πράκτορα και να επιστρέφουν πληροφορία σχετικά με οποιοδήποτε αντικείμενο του εικονικού κόσμου τέμνει, λαμβάνοντας το όνομα και τις ιδιότητές του απευθείας από τα δεδομένα του κόσμου (Noser et al., 1995).

Παρόλα αυτά, έχει γίνει αρκετή δουλειά και στην έρευνα για ένα βιολογικά ακριβές σύστημα αντίληψης για εικονικούς πράκτορες (Terzopoulos et al, 1996), στο οποίο το πεδίο όρασης του πράκτορα προβάλλεται σε έναν προσομοιωμένο αμφιβληστροειδή και χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι από την τεχνητή όραση για να επεξεργαστούν τα pixels και να μετατραπούν σε μια αναγνωρίσιμη μορφή. Μεταξύ των δύο αυτών ακραίων περιπτώσεων υπάρχουν συστήματα εικονικών ρομπότ, στα οποία μοντελοποιούνται υπέρυθροι και υπερηχητικοί αισθητήρες με ένα βαθμό ρεαλισμού (Michel, 1998) και προστίθεται θόρυβος στο προσομοιωμένο σήμα.

Άσχετα από την ακρίβεια του βιολογικού μοντέλου οποιουδήποτε συστήματος εικονικών αισθητήρων είναι σημαντικό η αντίληψη του πράκτορα να είναι περιορισμένη όσο και η αντίστοιχη αντίληψη του χρήστη σε ένα εικονικό περιβάλλον. Για παράδειγμα, κάποιος θα περίμενε ότι ένας πράκτορας σε ένα σκοτεινό δωμάτιο έχει τη δυνατότητα να δει λιγότερα πράγματα σε σχέση με ένα φωτεινότερο. Όσο πιο απλό είναι το σύστημα αντίληψης ενός πράκτορα, τόσο περισσότερη επιπρόσθετη γνώση πρέπει να μεταφερθεί στους πράκτορες από τα αντικείμενα που γίνονται αντιληπτά. Αντίθετα, ένα καλύτερα μοντελοποιημένο σύστημα αντίληψης απαιτεί πολύ λιγότερη γνώση από το περιβάλλον, αλλά χρησιμοποιεί περισσότερη υπολογιστική ισχύ από τη μεριά του πράκτορα, ώστε να παραχθεί η απαραίτητη γνώση.

Ενώ τα εργαλεία εικονικών περιβαλλόντων παρέχουν αισθητήρες, αυτοί δεν αντιστοιχούν σε εικονικές αναπαραστάσεις των αντίστοιχων αισθητήρων που θα είχε ένα ρομπότ αλλά σε διαδικασίες, που ελέγχουν θέματα αλληλεπίδρασης του χρήστη, όπως σήμα ότι ο χρήστης προσέκρουσε σε έναν τοίχο ή ότι επέλεξε με το ποντίκι κάποια περιοχή. Η κατασκευή συνεπώς εικονικών αισθητήρων απαιτεί επιπλέον προγραμματισμό σε οποιαδήποτε γλώσσα προσφέρει το εργαλείο.

### Ενέργεια

Εάν η αντίληψη δημιουργεί το ερώτημα στο κατά πόσο θα πρέπει ο πράκτορας να είναι ενσωματωμένος σε ένα συγκεκριμένο κόσμο, το ερώτημα ισχύει ακόμα περισσότερο στην περίπτωση της ενέργειας. Έτσι, ενώ η αντίληψη είναι παθητική, η ενέργεια προκαλεί αλλαγές στον κόσμο που εξαρτώνται από τη λειτουργικότητα του πράκτορα αλλά και τη λειτουργικότητα και την τρέχουσα κατάσταση του κόσμου (Prokopenko and Jaurequi, 1997). Για παράδειγμα, αν ένας πράκτορας πιάσει ένα

αντικείμενο, η ικανότητά του να το σηκώσει εξαρτάται τόσο από τη σωματική κατασκευή του, όσο και από το μέγεθος και βάρος του αντικειμένου. Επιπλέον, το βάρος του αντικειμένου μπορεί να εξαρτάται από το κατά πόσο ο κόσμος είναι στο επίπεδο της γης, μέσα σε έναν διαστημικό σταθμό ή στο βυθό του ωκεανού.

Σε πιο λεπτομερές επίπεδο, ενέργειες, όπως το πιάσιμο, θα πρέπει να είναι οπτικά πειστικές, για παράδειγμα ένα χέρι δε θα πρέπει να διαπερνά το αντικείμενο που πιάνει, ενώ ο τρόπος που ακουμπάει το χέρι το αντικείμενο θα πρέπει να είναι λογικοφανής. Η πολυπλοκότητα της αλληλεπίδρασης σε αυτό το επίπεδο εξαρτάται από τη λεπτομέρεια και την ακρίβεια με την οποία έχει μοντελοποιηθεί το χέρι, αλλά και από το κατά πόσο οι φυσικές δυνάμεις και οι περιορισμοί, όπως η τραχύτητα των επιφανειών έχουν αναπαρασταθεί στον κόσμο ή το πιάσιμο είναι απλώς μια συνθετική κίνηση, που αφορά ένα σύνολο πρωτογενών γραφικών αντικειμένων.

Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα αφορά στην αλληλεπίδραση με σύνθετα αντικείμενα. Το ερώτημα είναι σε τι ποσοστό θα ελέγχεται η αλληλεπίδραση από το περιβάλλον και σε τι ποσοστό θα είναι ενσωματωμένη ιδιότητα του ίδιου του αντικειμένου. Ως τώρα δεν υπάρχει σαφής λύση στο πρόβλημα αυτό. Μια προσέγγιση είναι να ενσωματωθούν στο αντικείμενο οι απαραίτητες ιδιότητες και η απαραίτητη γνώση σχετικά με τον τρόπο αλληλεπίδρασης με αυτό. Για παράδειγμα, το σύστημα IMPROV (Goldberg, 1997) υιοθετεί αυτό που ο Goldberg ονομάζει *αντίστροφη αιτιότητα* (inverse causality) και αποθηκεύει τις συνθετικές κινήσεις της αλληλεπίδρασης μεταξύ ενός αντικειμένου και ενός εικονικού ηθοποιού μέσα στο ίδιο το αντικείμενο, έτσι ώστε να μην υπάρχουν απαιτήσεις εκμάθησης από τους εικονικούς ηθοποιούς. Κατά συνέπεια, ένας εικονικός ηθοποιός που επιλέγει ένα εικονικό μπουκάλι μπίρας έχει τη δυνατότητα να πει από αυτό χωρίς να χρειάζεται να μάθει τις απαραίτητες ενέργειες, για να κάνει κάτι τέτοιο.

Αυτή η προσέγγιση δε φαίνεται ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις που ενσωματώνονται και φυσικές ιδιότητες, όπως η βαρύτητα (Aylett et al., 1999), στο εικονικό περιβάλλον. Στην περίπτωση αυτή φαίνεται προτιμότερο όλα τα αντικείμενα που υπάρχουν στο περιβάλλον να υπακούουν σε έναν αριθμό από νόμους, όπως η ελεύθερη πτώση, όταν δεν έχουν στήριξη και υπάρχει βαρύτητα, ή η επίπλευση, όταν δεν υπάρχει βαρύτητα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η περίπτωση της συμπεριφοράς ενός ψαριού σε ένα εικονικό περιβάλλον που δεν είναι γεμάτο νερό (West and



Hubbold, 1998). Μια προσέγγιση είναι η προσθήκη ιδιοτήτων, όπως η *δύναμη*, που θα επιτρέψουν σε έναν πράκτορα να αλληλεπιδράσει με έναν λογικοφανή τρόπο σε οποιοδήποτε εικονικό περιβάλλον κι αν ενσωματωθεί.

### 3.2.5 Έλεγχος και συμπεριφορά

Υπάρχει ένα κενό μεταξύ των μεθόδων που υιοθετούνται από τους ερευνητές από το πεδίο των γραφικών για τον έλεγχο των εικονικών πρακτόρων και αυτών που προτιμώνται από ερευνητές με ειδικευση σε τεχνητή νοημοσύνη και τεχνητή ζωή. Το ζήτημα που διχάζει είναι ο σκηνοθετικός ή καλλιτεχνικός έλεγχος του πράκτορα σε σχέση με την αυτονομία που θα έχει στο περιβάλλον, όπου πολλοί ερευνητές από το χώρο της συνθετικής κίνησης συχνά προτιμούν διαφόρων ειδών γλώσσες σεναρίων για την περιγραφή της συμπεριφοράς, ενώ οι ερευνητές της τεχνητής νοημοσύνης συχνά σκέφτονται με τη λογική του ελέγχου συμπεριφοράς που βασίζεται σε αισθητήρες και επιδραστής ή σε ενέργειες που εξαρτώνται από τους στόχους και υποστηρίζονται από συμβολική συμπερασματολογία. Στη δεύτερη περίπτωση ακολουθείται η προσέγγιση της γενικότερης θεωρίας των ευφυών πρακτόρων. Η συμπεριφορά ενός εικονικού πράκτορα μπορεί να ενισχυθεί παραπέρα με την εισαγωγή αληθοφανών στοιχείων, όπως τα συναισθήματα και η προσωπικότητα (Badler et al., 2002).

#### Σενάρια

Οι γλώσσες σεναρίων είναι μια πολύ δημοφιλής μέθοδος, που επιτρέπει στους σχεδιαστές να ελέγχουν ευφυείς εικονικούς πράκτορες από υψηλότερο επίπεδο σε σχέση με τον παραδοσιακό τρόπο συνθετικής κίνησης. Ένα από τα πιο δημοφιλή συστήματα με γλώσσα σεναρίου είναι το Improm, το οποίο υποστηρίζει το σκηνοθετικό έλεγχο των εικονικών πρακτόρων. Παρόλο που δεν είναι τρισεπίδατο σύστημα, η γλώσσα σεναρίου του Microsoft AGENT είναι επίσης ευρέως χρησιμοποιούμενη, ενώ και το δημοφιλές σύστημα κίνησης και προσομοίωσης εικονικών ανθρώπων JACK περιλαμβάνει γλώσσα σεναρίου.

Οι γλώσσες σεναρίων βασίζονται συνήθως σε προ-κατασκευασμένες βιβλιοθήκες συμπεριφοράς, αλλά είναι σημαντικό να επεξηγηθεί ότι η συμπεριφορά εδώ δεν αντιστοιχεί στον αντίστοιχο όρο της τεχνητής νοημοσύνης. Εδώ συνήθως αναφέρεται

σε προαποφασισμένες συνθετικές κινήσεις ή και σε μετακινήσεις που έχουν προέρθει από σύλληψη κίνησης, όπως βάδισμα, τρέξιμο, κοίταγμα, κλπ.

### Ευφυείς Πράκτορες

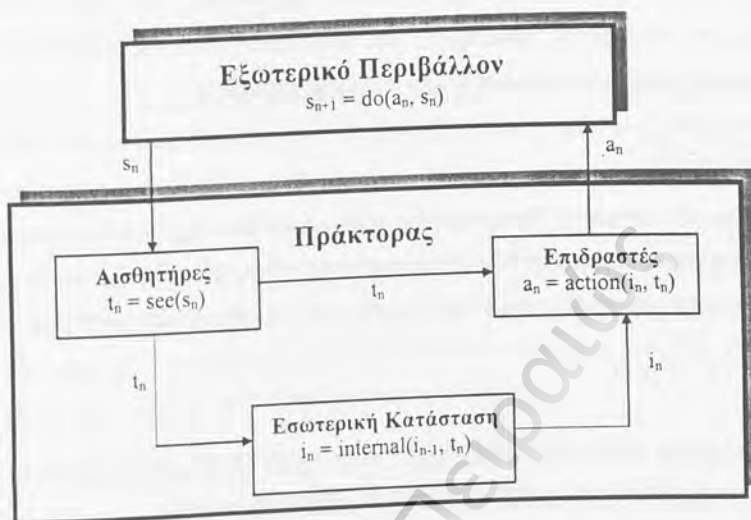
Ο όρος συμπεριφορά στο πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης αναφέρεται σε ένα σύστημα ελέγχου που βασίζεται στις αισθήσεις (Brooks, 1986; Brooks, 1991), στο οποίο τα εισερχόμενα ερεθίσματα αντιστοιχίζονται σε εξερχόμενες αντιδράσεις. Στο χώρο αυτό, οι αρχιτεκτονικές συμπεριφοράς στηρίζονται σε αρχιτεκτονικές ευφυών πρακτόρων (Wooldridge and Jennings, 1995), προσαρμοσμένες στο περιβάλλον με τους κατάλληλους αισθητήρες και επιδραστής.

Είναι αρκετά δύσκολο να ορίσουμε τι ακριβώς είναι αυτό που κάνει έναν πράκτορα «ευφυή». Ωστόσο, μπορούμε γενικά να πούμε ότι ένας πράκτορας είναι ευφυής όταν έχει την ικανότητα να επιτελεί τους στόχους και τα καθήκοντα που έχει επιφορτιστεί. Έτσι, σε ένα ελάχιστο επίπεδο νοημοσύνης μπορεί να δίνονται στον πράκτορα εντολές με τη μορφή κανόνων και αυτός να ενεργεί με τη βοήθεια κάποιου μηχανισμού εξαγωγής συμπεράσματος. Σε ένα ανώτερο επίπεδο ο πράκτορας θα είναι ικανός να μαθαίνει και να προσαρμόζεται αυτόματα στο περιβάλλον έτσι, ώστε να πετυχαίνει τους σκοπούς του.

Ένας ευφυής πράκτορας θα πρέπει να έχει ικανότητα αντίδρασης στα ερεθίσματα που δέχεται, επομένως πρέπει να έχει τη δυνατότητα να αντιλαμβάνεται το περιβάλλον, αλλά και να επιδρά πάνω σ' αυτό. Αυτό συμβαίνει με τη χρήση των αισθητήρων και επιδραστών, που έχουν ήδη αναφερθεί.

Εκτός από τη δυνατότητα να αντιλαμβάνεται το περιβάλλον, στις περισσότερες περιπτώσεις ένας πράκτορας χρειάζεται να έχει μία εσωτερική κατάσταση, η οποία μπορεί να επηρεάζει τις ενέργειες και τη συμπεριφορά του. Η εσωτερική αυτή κατάσταση είναι ένα σύστημα λήψης αποφάσεων. Στην περίπτωση που ο πράκτορας δεν έχει εσωτερική κατάσταση, έχουμε μία απλουστευμένη αρχιτεκτονική, όπου οι ενέργειές του εξαρτώνται αποκλειστικά από τα ερεθίσματα που δέχεται από το περιβάλλον. Ένας τέτοιος πράκτορας ονομάζεται *τροπιστικός (tropistic)*. Αντίθετα με έναν τροπιστικό πράκτορα, ένας πράκτορας με εσωτερική κατάσταση έχει τη δυνατότητα να διατηρεί και να χρησιμοποιεί εσωτερικές πληροφορίες. Η εσωτερική

κατάσταση μπορεί να μεταβληθεί από εξωτερικά ερεθίσματα και επηρεάζει τις αποφάσεις που λαμβάνει ο πράκτορας.



Εικόνα 3.3 : Γενική αρχιτεκτονική ευφυών πρακτόρων

Οι παραπάνω περιγραφές της αρχιτεκτονικής ενός πράκτορα (εικ. 3.3) θα μπορούσαν να περιγραφούν με μία πιο αυστηρή μαθηματική μορφή θεωρώντας τα παρακάτω σύνολα.

**S:** Είναι το σύνολο των δυνατών καταστάσεων του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται ο πράκτορας.

**T:** Είναι το σύνολο των ερεθισμάτων που μπορεί να δεχτεί ο πράκτορας από το εξωτερικό περιβάλλον. Το σύνολο T καθορίζει ποιες από τις καταστάσεις του περιβάλλοντος φαίνονται ίδιες για τον πράκτορα και ποιες μπορεί να ξεχωρίσει μεταξύ τους. Έτσι το σύνολο T έχει ως στοιχεία υποσύνολα του S και, πιο συγκεκριμένα, διαμερίζει το σύνολο S.

**A:** Το σύνολο των δυνατών ενεργειών που μπορεί να κάνει ο πράκτορας.

**I:** Το σύνολο των δυνατών εσωτερικών καταστάσεων του πράκτορα.

Αφού ορίσαμε τα παραπάνω σύνολα, μπορούμε επίσης να θεωρήσουμε τις παρακάτω συναρτήσεις οι οποίες συσχετίζουν τα παραπάνω σύνολα μεταξύ τους:



**see** :  $S \rightarrow T$

Η συνάρτηση *see* αντιστοιχεί τις εξωτερικές καταστάσεις του περιβάλλοντος σε ερεθίσματα που δέχεται ο πράκτορας μέσω των αισθητήρων. Δηλαδή η *see* καθορίζει το πώς αντιλαμβάνεται ο πράκτορας το εξωτερικό περιβάλλον.

**do** :  $A \times S \rightarrow S$

Η συνάρτηση *do* παίρνει ως είσοδο την παρούσα κατάσταση του περιβάλλοντος και μία ενέργεια και δίνει την επόμενη κατάσταση του περιβάλλοντος. Επομένως η *do* καθορίζει τα αποτελέσματα που έχουν οι ενέργειες στο εξωτερικό περιβάλλον.

**action** :  $I \times T \rightarrow A$

Η συνάρτηση *action* καθορίζει, δοθέντος ενός εξωτερικού ερεθίσματος και μιας εσωτερικής κατάστασης την ενέργεια που θα κάνει ο πράκτορας.

**internal** :  $I \times T \rightarrow I$

Η συνάρτηση *internal* καθορίζει ποια θα είναι η επόμενη εσωτερική κατάσταση δοθέντος του εξωτερικού ερεθίσματος που δέχτηκε ο πράκτορας, και της παρούσας εσωτερικής κατάστασης.

Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να πούμε ότι ο πράκτορας καθορίζεται από την παρακάτω οκτάδα:

**Πράκτορας = (I, S, T, A, see, do, action, internal)**

Ο κύκλος λειτουργίας ενός πράκτορα της παραπάνω μορφής γραμμένος σε μορφή ψευδοκώδικα είναι ο παρακάτω:

```
repeat
  begin
    t = see(s)
    i = internal(i, t)
    a = action(i, t)
    s = do(a, s)
  end
```

Σε κάθε κύκλο ο πράκτορας δέχεται μέσω των αισθητήρων του το εξωτερικό ερέθισμα από το περιβάλλον, ενημερώνει την εσωτερική του κατάσταση, αποφασίζει για την ενέργεια που θα εκτελέσει και τέλος εκτελεί την ενέργεια με τους επιδραστές του αλλάζοντας έτσι το περιβάλλον.

Έχοντας ορίσει με τον παραπάνω τρόπο την αρχιτεκτονική ενός ευφυούς πράκτορα, το επόμενο βήμα είναι να καθοριστεί ο τρόπος με τον οποίο τα ερεθίσματα του περιβάλλοντος σε συνδυασμό με την παρούσα εσωτερική κατάσταση θα καθορίσουν την επόμενη εσωτερική κατάσταση καθώς και την ενέργεια που θα κάνει ο πράκτορας με τη βοήθεια των επιδραστών του. Πρέπει δηλαδή να οριστεί ο τρόπος με τον οποίο λειτουργούν οι συναρτήσεις *internal* και *action*. Πάνω σ' αυτό το θέμα υπάρχουν αρκετές προσεγγίσεις, που μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες: τις κλασσικές και τις εναλλακτικές προσεγγίσεις.

Στην κλασσική προσέγγιση θεωρείται ο πράκτορας ως έναν ειδικός τύπος συστήματος βασισμένου σε γνώση (*knowledge-based system*) χρησιμοποιώντας έτσι μία αρχιτεκτονική που είναι ευρύτερα γνωστή ως *θεληματική (deliberative)*. Με τον όρο «θεληματική αρχιτεκτονική πράκτορα» εννοείται η αρχιτεκτονική, η οποία αναπαριστά τον κόσμο με ένα συμβολικό μοντέλο και οι αποφάσεις του πράκτορα παίρνονται μέσω λογικών συμπερασμάτων βασισμένων στην επεξεργασία συμβόλων. Η κατασκευή πρακτόρων με βάση τη θεληματική αρχιτεκτονική θέτει δύο σημαντικά προβλήματα:

Το πρόβλημα της μετάφρασης (*transduction problem*), δηλαδή πώς θα μεταφραστεί ο πραγματικός κόσμος σε μία επαρκή και ακριβή συμβολική περιγραφή.

Το πρόβλημα της αναπαράστασης και της συμπερασματολογίας (*representation and reasoning problem*), πώς δηλαδή θα αναπαρασταθεί συμβολικά η πληροφορία για σύνθετες οντότητες και διαδικασίες του πραγματικού κόσμου και πώς θα εξάγει συμπεράσματα ο πράκτορας βασισμένος στις πληροφορίες αυτές.

Το πρώτο πρόβλημα απαιτεί τεχνικές από πεδία όπως αναγνώριση ομιλίας, αναγνώριση εικόνας κλπ, ενώ για το δεύτερο πρόβλημα χρειάζονται γνώσεις πάνω σε αναπαράσταση γνώσης, αυτόματη συμπερασματολογία κλπ. Ωστόσο φαίνεται ότι κανένα από τα δύο αυτά προβλήματα δεν έχει βρει ακόμα τη λύση του, αφού ακόμα και απλά προβλήματα, όπως για παράδειγμα η συμπερασματολογία απλής λογικής

(common sense reasoning), έχουν αποδειχθεί εξαιρετικά πολύπλοκα. Το βασικό πρόβλημα φαίνεται ότι είναι η δυσκολία εφαρμογής τεχνικών απόδειξης θεωρημάτων (theorem proving), ακόμα και σε απλές λογικές, και η πολυπλοκότητα των αλγορίθμων επεξεργασίας συμβόλων. Έτσι, η ιδέα της κατασκευής ενός έξυπνου πράκτορα χρησιμοποιώντας συμβολική λογική και αλγορίθμους απόδειξης θεωρημάτων, αν και αρκετά ελκυστική ως ιδέα, αποδεικνύεται δύσκολη στην πρακτική εφαρμογή.

Τα πολλά άλματα προβλήματα που έχουν οι κλασικές προσεγγίσεις, που είδαμε παραπάνω, οδήγησαν πολλούς ερευνητές σε αρχιτεκτονικές που είναι ευρύτερα γνωστές ως *αρχιτεκτονικές αντίδρασης (reactive architectures)*. Τέτοιου είδους αρχιτεκτονικές έχουν το χαρακτηριστικό ότι δε χρησιμοποιούν συμβολικό μοντέλο αναπαράστασης του κόσμου ούτε και πολύπλοκες τεχνικές συμπερασματολογίας. Βασική ιδέα των αρχιτεκτονικών αντίδρασης είναι ότι η νοήμων συμπεριφορά μπορεί να δημιουργηθεί χωρίς σαφείς αναπαραστάσεις και χωρίς τεχνικές σαφούς συμπερασματολογίας, αλλά απλώς μπορεί να προκύψει μέσω της αλληλεπίδρασης του πράκτορα με το περιβάλλον του.

Τέλος, έχουν προταθεί και πολλές υβριδικές αρχιτεκτονικές, που προσπαθούν να συνδυάσουν τη θεληματική αρχιτεκτονική με την αρχιτεκτονική αντίδρασης, εκμεταλλευόμενες τα πλεονεκτήματα της κάθε μίας. Έτσι ένας υβριδικός πράκτορας αποτελείται από δύο υποσυστήματα: το γνωσιακό υποσύστημα, όπου υπάρχει μία συμβολική αναπαράστασή του κόσμου, και το υποσύστημα αντίδρασης, με το οποίο ο πράκτορας μπορεί να αντιδρά στα ερεθίσματα του περιβάλλοντος χωρίς να καταφεύγει σε τεχνικές απόδειξης θεωρημάτων. Συνήθως δίνεται προτεραιότητα στο υποσύστημα αντίδρασης έτσι, ώστε ο πράκτορας να μπορεί να αποκρίνεται άμεσα σε ερεθίσματα του περιβάλλοντος. Οι υβριδικές αρχιτεκτονικές έχουν αρκετά πλεονεκτήματα συγκρινόμενες με τις γνωστικές αρχιτεκτονικές και τις αρχιτεκτονικές αντίδρασης. Ωστόσο, το σημαντικότερο πρόβλημα αυτών των αρχιτεκτονικών είναι ότι δεν είναι πάντα εύκολο να συνδυαστούν μεταξύ τους τα δύο υποσυστήματα.

### Συναισθήματα

Η έρευνα στους εικονικούς πράκτορες έχει δώσει μια νέα ώθηση στο χώρο των κινήτρων και συναισθημάτων των πρακτόρων (Allbeck and Badler, 2002), πράγμα το οποίο οφείλεται σε δύο βασικούς λόγους. Πρώτον, ένας ενσωματωμένος εικονικός



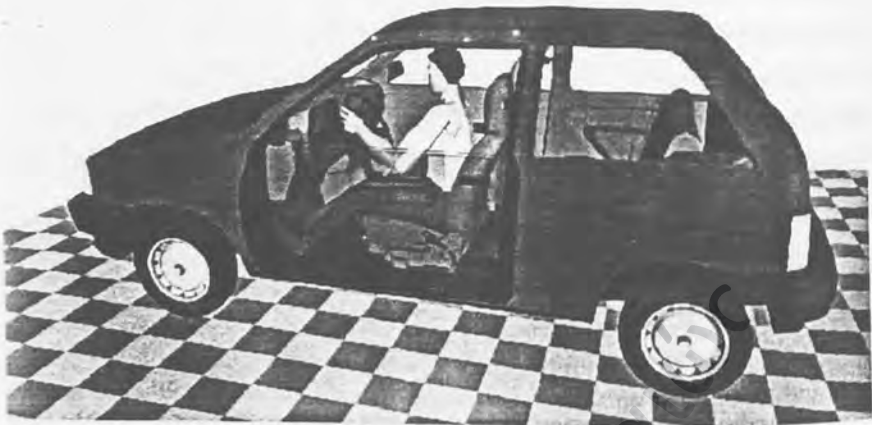
πράκτορας σε τρισδιάστατο περιβάλλον παρέχει πολλά κανάλια εξωτερίκευσης της συναισθηματικής του κατάστασης (βλέμμα, έκφραση προσώπου, χειρονομίες και γενικότερα γλώσσα του σώματος) σε σχέση με τους «παραδοσιακούς» ευφυείς πράκτορες, όπου ο μόνος τρόπος έκφρασης ήταν το γλωσσικό κείμενο. Δεύτερον, υπάρχουν πολλά πεδία εφαρμογής εικονικών πρακτόρων, στα οποία η έκφραση της συναισθηματικής κατάστασης είναι αναγκαία.

Η έμφαση που δίνουν όσοι εργάζονται σε γνωστικό επίπεδο είναι στο συναίσθημα ως κατάσταση του μυαλού, ενώ αυτοί που ασχολούνται με το φυσικό επίπεδο αντιμετωπίζουν το συναίσθημα ως κατάσταση του σώματος. Αυτό αφορά βασικά την εσωτερική μοντελοποίηση του συναισθήματος και όχι τον τρόπο έκφρασής του. Οι δύο αυτές προσεγγίσεις αντανακλούν μια μακρά διαμάχη στο χώρο της ψυχολογίας (Picard, 1997).

### 3.3 Ολοκληρωμένα συστήματα

#### 3.3.1 Jack

Μια σημαντική εφαρμογή που υλοποιεί πολλές πτυχές της ανθρώπινης κίνησης και προσομοίωσης είναι ένα εμπορικό σύστημα με το όνομα Jack (Badler et al., 1993b), που αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο της Πενσυλβανίας και εστιάζει σε εφαρμογές εργονομικού και μηχανολογικού σχεδιασμού. Για παράδειγμα, κάποιος μπορεί να χρησιμοποιήσει το μοντέλο του Jack σε ένα ταμπλό χειρισμού ενός οχήματος, ώστε να αποφασίσει για τη λειτουργικότερη διάταξη των πλήκτρων και μοχλών ελέγχου. Ο έλεγχος του Jack μπορεί να επιτευχθεί από το χρήστη είτε με άμεσο χειρισμό των μελών του σώματός του, είτε με την εκτέλεση υψηλού επιπέδου εντολών συμπεριφοράς, όπως βάδισμα ή πιάσιμο. Επιπλέον, υπάρχει δυνατότητα διασύνδεσης με άλλες γλώσσες προγραμματισμού, όπως η Lisp και η C++, που επιτρέπουν στον Jack να λειτουργήσει ως αυτόνομος πράκτορας, αν αυτό είναι επιθυμητό.



Εικόνα 3.4 : Το μοντέλο του Jack μέσα σε ένα εικονικό αυτοκίνητο

Οι εφαρμογές στις οποίες στοχεύει το σύστημα χρειάζονται ένα βαθμό βιολογικού ρεαλισμού. Τα μοντέλα του Jack έχουν 68 αρθρώσεις με περίπου 120 βαθμούς ελευθερίας. Παρόλο που αυτό βιολογικά δεν είναι εντελώς ακριβές, οι σημαντικές αρθρώσεις, όπως ο ώμος, έχουν μοντελοποιηθεί με ακρίβεια, ενώ μπορούν να περιστραφούν και οι βολβοί των ματιών, ώστε να ελεγχθεί το κοίταγμα του μοντέλου. Μπορούν να μετρηθούν οι ροπές σε συγκεκριμένα σημεία του μοντέλου, ενώ δίνεται βάση και στο βάρος των αντικειμένων που κρατάει ο πράκτορας. Οι φιγούρες του Jack γεννιούνται από μια βάση δεδομένων, που περιέχει ένα μεγάλο εύρος ανθρώπινων χαρακτηριστικών, αντρικών, γυναικείων και παιδικών, και έτσι είναι δυνατόν να κατασκευαστούν άνθρωποι με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και ικανότητες ανάλογα με την ηλικιακή τους ομάδα, το φύλο, τη σωματική κατασκευή κλπ.

Οι εντολές υψηλού επιπέδου συμπεριφοράς μεταφράζονται σε ενέργειες χαμηλού επιπέδου, που εκτελούνται στους μύς του μοντέλου με τη χρήση μοντέλων κινηματικής και αντίστροφης κινηματικής, όπως συμβαίνει και στο χώρο της ρομποτικής. Έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην ακρίβεια της χαμηλού επιπέδου συμπεριφοράς, έτσι που, για παράδειγμα, το βάδισμα να περιλαμβάνει χτύπημα της φτέρνας στο έδαφος. Επιπροσθέτως, έχει ενσωματωθεί και ένας μικρός αριθμός αυτόνομων ενεργειών χαμηλού επιπέδου, έτσι ώστε, για παράδειγμα, εάν μια φιγούρα χάσει την ισορροπία της και γέρνει προς τα εμπρός, θα κάνει αυτόματα ένα βήμα μπροστά για να ισορροπήσει. Παρόμοια, αν μια φιγούρα έχει εντολή να παρατηρεί ένα αντικείμενο, θα το κάνει με το βλέμμα του, όσο το αντικείμενο βρίσκεται στο

πεδίο όρασής του, αλλά θα στρίψει και το κεφάλι του, εάν το αντικείμενο μετακινηθεί έξω από αυτό.

Η ακρίβεια που υπάρχει στον έλεγχο του Jack έχει μεγάλο υπολογιστικό κόστος, αλλά καθώς το σύστημα αντίληψης έχει μοντελοποιηθεί με πολύ λιγότερη ακρίβεια σε σχέση με το σύστημα μυών και ο υψηλού επιπέδου έλεγχος αφήνεται στο χρήστη, είναι δυνατό να εκτελεστεί το σύστημα σε πραγματικό χρόνο, εφόσον τρέχει σε ισχυρό μηχανήμα και το περιβάλλον δεν είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο. Στα ισχυρά μηχανήματα επεξεργασίας γραφικών μπορούν να τρέξουν σε πραγματικό χρόνο μέχρι και τέσσερα ανθρώπινα μοντέλα ταυτόχρονα.

### 3.3.2 Humanoid

Ένα ευρωπαϊκό αντίστοιχο του συστήματος Jack αναπτύχθηκε στο πρόγραμμα HUMANOID (Boulic et al., 1995). Περιλαμβάνει 75 βαθμούς ελευθερίας για το σώμα και 30 επιπλέον βαθμούς ελευθερίας για κάθε χέρι. Για να γίνει η εμφάνιση του μοντέλου πιο ρεαλιστική, ο σκελετός καλύπτεται από ένα στρώμα που έχει κατασκευαστεί με την τεχνική των metaballs για την αναπαράσταση του δέρματος και των μυών. Το μοντέλο του HUMANOID έχει χρησιμοποιηθεί σε έναν αριθμό από ευρωπαϊκά προγράμματα.

### 3.3.3 Improv

Ένα άλλο ενδιαφέρον σύστημα, που δίνει έμφαση στην απεικόνιση και στην κίνηση, είναι το Improv (Perling and Goldberg, 1996; Goldberg, 1997). Το Improv είναι ένα σύστημα για την κατασκευή εικονικών ηθοποιών που κινούνται σε πραγματικό χρόνο με βάση κάποιο μοντέλο συμπεριφοράς. Παρέχει εργαλεία για τη δημιουργία ηθοποιών που ανταποκρίνονται στις ενέργειες του χρήστη ή και στις ενέργειες άλλων ηθοποιών σε πραγματικό χρόνο, βασισμένοι σε προσωπικότητες και διαθέσεις και με συνέπεια προς τους στόχους και τις προθέσεις του σχεδιαστή.

Οι χαρακτήρες του Improv αποτελούνται από μια γεωμετρία, που μεταβάλλεται σε πραγματικό χρόνο, μια μηχανή συνθετικής κίνησης, που αξιοποιεί τις περιγραφές των ατομικών ενεργειών (όπως βάδισμα ή χαιρετισμός), για να προκαλέσει αλλαγές στη γεωμετρία, και μια μηχανή συμπεριφοράς, που είναι υπεύθυνη για τις υψηλότερου επιπέδου ικανότητες (όπως μετάβαση σε συγκεκριμένη τοποθεσία ή διάλογος με



άλλον ηθοποιό) και τις αποφάσεις για τις συνθετικές κινήσεις που θα ενεργοποιηθούν.



Εικόνα 3.5 : Στιγμιότυπο από ιστορία κατασκευασμένη με το Improv

Η μηχανή συνθετικής κίνησης χρησιμοποιεί διαδικαστικές τεχνικές, ώστε να επιτρέψει στους σχεδιαστές να παράγουν συνεχείς μη-επαναλαμβανόμενες κινήσεις σε στρώματα (layers), καθώς και ομαλές μεταβάσεις μεταξύ αυτών. Αντίθετα, η μηχανή συμπεριφοράς, που αποτελεί το μυαλό του ηθοποιού, χειρίζεται το εσωτερικό μοντέλο του ηθοποιού, που αναπαριστά τη διάθεση, τους στόχους και την προσωπικότητά του, και επιτρέπει στους σχεδιαστές να δημιουργήσουν περίπλοκους κανόνες, που αφορούν τον τρόπο με τον οποίο οι ηθοποιοί επικοινωνούν, μεταβάλλουν την εσωτερική τους κατάσταση και παίρνουν αποφάσεις. Το συνδυασμένο σύστημα παρέχει ένα ενσωματωμένο σύνολο εργαλείων για το σχεδιασμό των «μυαλών» και «σωμάτων» των εικονικών ηθοποιών. Παρέχεται μια γλώσσα σεναρίων που θυμίζει την αγγλική γλώσσα, έτσι ώστε οι δημιουργικοί σχεδιαστές, που δεν είναι κατ' ανάγκη προγραμματιστές, να μπορούν να κατασκευάζουν ισχυρές αλληλεπιδραστικές εφαρμογές.

Το Improm βρίσκει κυρίως εφαρμογή στο χώρο της διασκέδασης, δηλαδή στα παιχνίδια και στις αλληλεπιδραστικές αφηγήσεις ιστοριών (interactive storytelling), καθώς εξυπηρετεί στο σχεδιασμό ιστοριών με εικονικούς ηθοποιούς, που δε χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερη αυτονομία ούτε εμπεριέχονται στοιχεία προσομοίωσης.

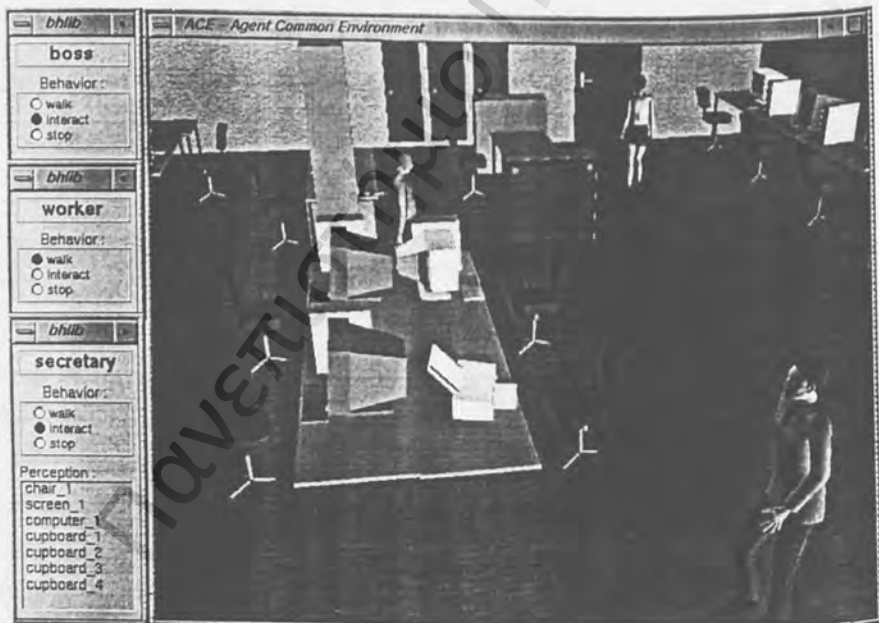
### 3.3.4 ACE (Agents Common Environment)

Το ACE (Kallmann et al., 2000) είναι μια πλατφόρμα για προσομοιώσεις εικονικών ανθρώπων, που αξιοποιεί τα πλεονεκτήματα τόσο των σεναρίων, όσο και των μοντέλων συμπεριφοράς. Ο πυρήνας του συστήματος καταλαβαίνει ένα σύνολο εντολών που μπορούν να ελέγξουν μια προσομοίωση. Μεταξύ άλλων οι εντολές αυτές μπορούν:

- να δημιουργήσουν και να τοποθετήσουν διαφορετικούς εικονικούς ανθρώπους, αντικείμενα και *έξυπνα αντικείμενα* (Kallmann and Thalmann, 1999; Kallmann and Thalmann, 2002), δηλαδή αντικείμενα με ενσωματωμένη πληροφορία αλληλεπίδρασης.
- να εφαρμόσουν μια μηχανική κίνηση σε έναν εικονικό άνθρωπο. Παραδείγματα τέτοιων κινήσεων είναι: *συνθετική κίνηση με θέσεις-κλειδιά*, αντίστροφη κινηματική, βάδισμα, εκφράσεις προσώπου κλπ. Οι κινήσεις αυτές μπορούν να εκτελεστούν και *παράλληλα*, όπου συνδυάζονται ανάλογα με δοσμένες ιδιότητες από ένα συγκεκριμένο τμήμα της εφαρμογής.
- να ενεργοποιήσουν την αλληλεπίδραση ενός εικονικού ανθρώπου με ένα έξυπνο αντικείμενο. Κάθε έξυπνο αντικείμενο περιλαμβάνει μια λίστα από τις διαθέσιμες αλληλεπιδράσεις με αυτό, που εξαρτώνται από την εσωτερική κατάσταση του αντικειμένου. Κάθε αλληλεπίδραση περιγράφεται με απλά πλάνα, που είναι προσχεδιασμένα με τη χρήση του κατάλληλου γραφικού συστήματος διεπαφής. Τα πλάνα αυτά περιγράφουν την *κατάλληλη ακολουθία μηχανικών κινήσεων* που επιτυγχάνουν μια αλληλεπίδραση. Με το γραφικό σύστημα διεπαφής ορίζονται αλληλεπιδραστικά οι τρισδιάστατες παράμετροι που απαιτούνται για την εκκίνηση των μηχανικών κινήσεων, όπως θέσεις που θα τοποθετηθούν τα χέρια, κινήσεις που θα εφαρμοστούν στα τμήματα του αντικειμένου κλπ.

- να υποβάλλουν ερώτηση στο σύστημα αντίληψης ενός δοσμένου εικονικού ανθρώπου. Η αντίληψη μπορεί να διαμορφωθεί σε σύστημα διασωληνώσεων (pipeline) επιμέρους φίλτρων αντίληψης και να προσομοιώσει, για παράδειγμα, συνθετική όραση. Η ερώτηση στην περίπτωση αυτή θα επιστρέψει μια λίστα με όλα τα αντικείμενα που έγιναν αντιληπτά στο δοσμένο οπτικό πεδίο και εύρος.

Τα μοντέλα συμπεριφοράς δεν αποτελούν μέρος του πυρήνα του ACE, αλλά μπορούν να συνδεθούν εξωτερικά, είτε τοπικά είτε από απόσταση μέσω του πρωτοκόλλου TCP/IP, χρησιμοποιώντας σενάρια στην γλώσσα Python που κατάληγουν στις παραπάνω εντολές. Συμπερασματικά, το ACE είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα που αξιοποιεί πολλές πτυχές των ευφών εικονικών πρακτόρων, η αδυναμία όμως ενσωμάτωσης όλων των στοιχείων του σε ενιαία αρχιτεκτονική δυσκολεύει τη χρήση του για την κατασκευή αυτόνομων περιβαλλόντων, που μπορεί να αποτελούν τμήματα μεγαλύτερων προγραμμάτων.



Εικόνα 3.6: Προσομοίωση χώρου εργασίας με το σύστημα ACE

### 3.4 Εφαρμογές

Καθώς οι εικονικοί πράκτορες «κατοικούν» σε εικονικά περιβάλλοντα, οι εφαρμογές τους έχουν φυσικά άμεση σχέση με τις εφαρμογές των εικονικών περιβαλλόντων που



περιγράφηκαν αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο. Τα πιο βασικά πεδία εφαρμογής που χρησιμοποιούν ή πρόκειται να χρησιμοποιήσουν την τρέχουσα έρευνα στους εικονικούς πράκτορες είναι (Badler, 1997):

- *Μηχανολογία, σχεδιασμός και συντήρηση*: Στο χώρο αυτό αξιοποιούνται οι εικονικοί άνθρωποι που έχουν μοντελοποιηθεί με μεγάλη ακρίβεια για την ανάλυση και προσομοίωση εικονικών πρωτοτύπων και το σχεδιασμό βασισμένο στην προσομοίωση.
- *Εικονικά Περιβάλλοντα / Εικονικές Διασκέψεις*: Χρησιμοποιούνται μοντέλα εικονικών πρακτόρων για αποδοτικές τηλεδιασκέψεις με τη χρήση αναπαραστάσεων των χρηστών για τη μείωση του εύρους επικοινωνίας. Ακόμα, οι εικονικοί πράκτορες αξιοποιούνται και σε περιβάλλοντα συνεργασίας για ανάλυση, εκπαίδευση και ψυχαγωγία.
- *Εκπαίδευση και παρουσιάσεις*: Έχει γίνει αρκετή έρευνα στη χρήση εικονικών πρακτόρων για την αλληλεπιδραστική καθοδήγηση του χρήστη στην πραγματοποίηση διαφόρων ενεργειών με σκοπό την εκπαίδευσή του. Μια τέτοια περίπτωση είναι το πρόγραμμα STEVE (Rickel and Johnson, 1999), που αξιοποιήθηκε για την εκπαίδευση του προσωπικού ενός πλοίου στο χειρισμό των μηχανημάτων του. Επιπλέον, εικονικοί πράκτορες χρησιμοποιούνται σε συστήματα παρουσιάσεων, αλλά και στην απόδοση κειμένου στη νοηματική γλώσσα των κωφάλλων.
- *Παιχνίδια και Διασκέδαση*: Τόσο σε αλληλεπιδραστικά συστήματα αφήγησης ιστοριών όσο και σε παιχνίδια (Narayek, 2000) υπάρχει η τάση να χρησιμοποιούνται θεωρίες εικονικών πρακτόρων στους συνθετικούς χαρακτήρες, ώστε να αποκτήσουν μεγαλύτερη αληθοφάνεια τόσο στη φυσικότητα της κίνησης, όσο και στη συμπεριφορά τους με τη χρήση συναισθημάτων και προσωπικότητας (Silva et al., 1999)

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

## 4 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΥΦΩΝ ΕΙΚΟΝΙΚΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο προτείνεται ένα λεπτομερές μοντέλο σχεδιασμού και ανάπτυξης ευφών εικονικών πρακτόρων, το οποίο αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια της διδακτορικής έρευνας. Αρχικά παρουσιάζεται η λειτουργία του κόσμου και των οντοτήτων του και εξετάζονται θέματα, όπως οι στοιχειώδεις ενέργειες που μπορούν να εφαρμόσουν οι πράκτορες στον κόσμο και οι νόμοι του κόσμου, που καθορίζουν τα αποτελέσματα των ενεργειών αυτών πάνω στις οντότητες. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται το προτεινόμενο μοντέλο ευφών εικονικών πρακτόρων και περιγράφονται αναλυτικά τα επιμέρους τμήματά του, ο τρόπος επικοινωνίας τους και οι μετασχηματισμοί δεδομένων που λαμβάνουν χώρα σε αυτά. Τέλος, εξετάζεται η προσαρμογή του μοντέλου σε καταναμημένα περιβάλλοντα και δίνονται ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα.

### 4.1 Εισαγωγή

Η χρήση μιας κοινής μηχανής τρισδιάστατων γραφικών με αυξημένες δυνατότητες συνθετικής κίνησης αρκεί, για να δημιουργηθούν πολύπλοκα περιβάλλοντα με εικονικούς πράκτορες που να παρουσιάζουν σημαντικές ικανότητες σε φυσικό ή και σε γνωσιακό επίπεδο. Παρόλα αυτά, είναι ευθύνη του σχεδιαστή να προγραμματίσει το μηχανισμό ελέγχου τους και να τους κάνει να συμπεριφέρονται με αληθοφανή τρόπο. Η μηχανή από μόνη της δεν εγγυάται ότι οι συνθετικοί χαρακτήρες συμπεριφέρονται όπως θα έπρεπε και δεν παρέχει κάποιο μηχανισμό, για να προγραμματιστεί και να ρυθμιστεί εύκολα η συμπεριφορά τους, χωρίς να αναγκαστεί ο σχεδιαστής να ασχοληθεί με τις λεπτομέρειες της υλοποίησης. Αυτό δίνει στους προγραμματιστές την ελευθερία να δοκιμάσουν και να υλοποιήσουν διάφορες αρχιτεκτονικές, αλλά δε βοηθάει ιδιαίτερα στην επαναχρησιμοποίηση των πρακτόρων, καθώς θα χρειαστεί αρκετός επιπλέον προγραμματισμός, για να συνδεθούν τμήματα ενός πράκτορα σε κάποια άλλη εφαρμογή. Επιπροσθέτως, υπάρχουν ορισμένα χαρακτηριστικά και διαδικασίες των εικονικών πρακτόρων, όπως



η χρήση κάποιας εσωτερικής μνήμης, η αντίληψη και η δυνατότητα πραγματοποίησης σύνθετων ενεργειών, που φαίνεται να είναι απαραίτητες σε οποιοδήποτε περιβάλλον απαιτεί σύνθετη συμπεριφορά και αληθοφάνεια. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά θα έπρεπε λοιπόν να αποτελούν μέρος της λειτουργικότητας του πράκτορα και όχι να προστίθενται κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης της εφαρμογής.

Από την άλλη μεριά, στην υπάρχουσα έρευνα στο χώρο των ευφυών εικονικών πρακτόρων είναι χαρακτηριστική η έλλειψη γενικού τύπου μεθοδολογιών και εργαλείων για την ανάπτυξη τέτοιων χαρακτήρων και την ενσωμάτωσή τους σε ευρύτερες εφαρμογές. Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός πως οι δυνατότητες και ο τρόπος μοντελοποίησης τόσο των εικονικών περιβαλλόντων, όσο και των πρακτόρων που κατοικούν σε αυτά διαφέρει από εφαρμογή σε εφαρμογή στην τρέχουσα βιβλιογραφία. Η σημερινή απουσία κοινών πρωτοκόλλων και τυποποιήσεων δυσκολεύει αφάνταστα την αξιοποίηση άλλων προσεγγίσεων ή τμημάτων αυτών αλλά και τη διεξαγωγή συγκρίσεων μεταξύ των διαφόρων εφαρμογών.

Με βάση τα παραπάνω, είναι αναγκαία η υιοθέτηση από τη μεριά των σχεδιαστών μιας κοινής αρχιτεκτονικής για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη ευφυών εικονικών πρακτόρων, η οποία όμως να μπορεί να βασιστεί στους υπάρχοντες αλγορίθμους μοντελοποίησης και αναπαράστασης τρισδιάστατων γραφικών, ώστε να αξιοποιηθεί η μακροχρόνια έρευνα στο χώρο αυτό. Οι υπάρχουσες αρχιτεκτονικές ευφυών πρακτόρων που έχουν προταθεί από διάφορους ερευνητές στο χώρο της τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να προσφέρουν σημαντική βοήθεια στην εξειδικευμένη περιοχή των εικονικών πρακτόρων. Καθώς όμως οι αρχιτεκτονικές αυτές αφορούν τη γενική περίπτωση των ευφυών πρακτόρων και δε λαμβάνουν υπ' όψιν τις ειδικές απαιτήσεις του χώρου των γραφικών και της εικονικής πραγματικότητας, είναι απαραίτητη η αναπροσαρμογή τους, ώστε να σχεδιαστεί ένα μοντέλο εικονικών πρακτόρων που να είναι σε θέση να συνδεθεί με επιτυχία σε ένα γενικού τύπου περιβάλλον.

Ακολουθώντας τους παραπάνω περιορισμούς σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε ένα μοντέλο για ευφυή εικονικά περιβάλλοντα, το οποίο διατηρεί τους κοινώς αποδεκτούς στους χώρους των γραφικών και της εικονικής πραγματικότητας τρόπους αναπαράστασης του κόσμου και εκτέλεσης ενεργειών, αλλά αξιοποιεί ταυτόχρονα και την έρευνα στους ευφυείς πράκτορες, καθώς στηρίζεται στην αρχιτεκτονική

Αίσθησης – Ελέγχου – Ενέργειας (Sense – Control – Act) για την λειτουργία των πρακτόρων. Το μοντέλο αυτό παρέχει μια ανοιχτή αρχιτεκτονική, που μπορεί να υποστηρίξει επιπλέον δυνατότητες τόσο σε υψηλό επίπεδο από το χώρο της τεχνητής νοημοσύνης, όσο και σε χαμηλό από το χώρο της προσομοίωσης και των γραφικών. Παράλληλα δίνει τη δυνατότητα κατασκευής αυτόνομων πρακτόρων με ενισχυμένες τις γνωσιακές ή τις φυσικές τους ικανότητες, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής.

## 4.2 Μοντέλο του Κόσμου

Το βασικό στοιχείο του προτεινόμενου μοντέλου είναι ο κόσμος, ο οποίος αναπαριστά το εικονικό περιβάλλον και περιέχει το σύνολο από όλες τις οντότητες που υπάρχουν σε αυτό. Επιπλέον, περιλαμβάνει ένα σύνολο από *χαρακτηριστικά* (attributes), που μοντελοποιούν τις γενικές ιδιότητές του και μπορούν να γίνουν αντιληπτά από όλους τους πράκτορες, π.χ. η ώρα της ημέρας, ο καιρός, κλπ. Κάθε τέτοιο χαρακτηριστικό είναι της μορφής <name, type, value>, όπου name είναι το μοναδικό του όνομα, type ο τύπος δεδομένων που χρησιμοποιεί και value η τρέχουσα τιμή του.

### 4.2.1 Οντότητες του Κόσμου

Οι οντότητες του κόσμου μπορούν να είναι *αντικείμενα* ή *πράκτορες*. Η διαφορά είναι ότι οι δεύτεροι μπορούν να εκτελούν ενέργειες και να αντιλαμβάνονται την τρέχουσα κατάσταση του κόσμου και, κατά συνέπεια, μπορούν να έχουν αυτόνομη λειτουργία. Με βάση τον ορισμό αυτό, οι πράκτορες δεν είναι κατ' ανάγκη εικονικές αναπαραστάσεις έμβιων όντων· αντικείμενα που αντιδρούν σε εξωτερικά ερεθίσματα (π.χ. ένας υπολογιστής, ένα αυτοκίνητο) μπορούν επίσης να μοντελοποιηθούν ως πράκτορες.

Σε ό,τι αφορά τη γεωμετρία τους, οι οντότητες διακρίνονται σε *απλές* και *σύνθετες*. Στην πρώτη περίπτωση απεικονίζονται με ένα τρισδιάστατο μοντέλο που δεν αλλάζει μορφή στη διάρκεια του χρόνου, ενώ στη δεύτερη περιλαμβάνουν μια δενδρική ιεραρχία απλών οντοτήτων (που στην περίπτωση αυτή ονομάζονται υπο-οντότητες), η οποία επιτρέπει σε τμήματα της γεωμετρίας να κινούνται ανεξάρτητα, π.χ. το χερούλι μιας πόρτας. Είναι προφανές ότι οι ανθρωποειδείς πράκτορες θα πρέπει να

αναπαρίστανται ως σύνθετες οντότητες, καθώς τα μέλη τους χρειάζεται να εκτελούν επιμέρους κινήσεις.

Όλες οι οντότητες και υπο-οντότητες έχουν έναν αριθμό από χαρακτηριστικά: ένα μοναδικό αριθμό αναγνώρισης (id), τις γεωμετρικές τους ιδιότητες (θέση, προσανατολισμός, περιβάλλον όγκος (bounding box)), τις απογονικές τους οντότητες (αν υπάρχουν), και κάποια γενικού τύπου χαρακτηριστικά, η χρήση των οποίων, όπως και στην περίπτωση του κόσμου, εξαρτάται από την εφαρμογή. Για παράδειγμα, ένα χαρακτηριστικό θα μπορούσε να αναπαριστά την τρέχουσα ταχύτητα ενός αντικειμένου, το ποσοστό υγρού σε μια φιάλη, την κατάσταση ενός κουμπιού, κλπ. Στην περίπτωση των ανθρωποειδών πρακτόρων, τα γενικού τύπου χαρακτηριστικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μοντελοποιήσουν συναισθήματα, βιολογικές ιδιότητες, πνευματικές καταστάσεις, κλπ.

#### 4.2.2 Στοιχειώδεις Ενέργειες

Οι μεταβολές στον κόσμο συμβαίνουν σε *χρονικά πλαίσια* (timeframes), δηλαδή χρονικά διαστήματα αρκούτως μικρά, ώστε να δίνουν στο θεατή την εντύπωση συνεχούς κίνησης. Μεταβολές μπορούν να συμβαίνουν είτε λόγω της ίδιας της φυσικής του κόσμου είτε ως συνέπεια ενεργειών ενός πράκτορα. Η αλληλεπίδραση των πρακτόρων με τον κόσμο γίνεται μέσω των *στοιχειωδών ενεργειών* (primitive actions). Στοιχειώδεις ενέργειες ονομάζονται όλες οι ενέργειες που μπορούν να εκτελεστούν σε ένα χρονικό πλαίσιο. Πρόκειται δηλαδή για το βασικό σύνολο ενεργειών στο οποίο καταλήγουν όλες οι πολύπλοκες ενέργειες των πρακτόρων, και είναι ουσιαστικά η «γλώσσα» αλληλεπίδρασής τους με τον κόσμο. Για παράδειγμα, το βάδισμα από το σημείο A στο σημείο B είναι μια ενέργεια που εκτελείται σε πολλούς κύκλους χρόνου και αναλύεται σε στοιχειώδεις ενέργειες, που είναι μικρές περιστροφές των χεριών και ποδιών του πράκτορα και μικρές μετατοπίσεις της θέσης του στο χώρο.

Ο ορισμός των στοιχειωδών ενεργειών εξαρτάται από το είδος και τη λειτουργικότητα του περιβάλλοντος που επιθυμεί κάποιος να μοντελοποιήσει. Σε ένα περιβάλλον στο οποίο οι πράκτορες ενεργούν με μοντέλο κινηματικής, δηλαδή οι ενέργειές τους γίνονται με απευθείας περιστροφές και μετατοπίσεις στα μέλη του σώματός τους, οι στοιχειώδεις ενέργειες θα περιλαμβάνουν οπωσδήποτε τη δυνατότητα μετατόπισης ή και περιστροφής κάποιας υπο-οντότητας, π.χ. rotate arm



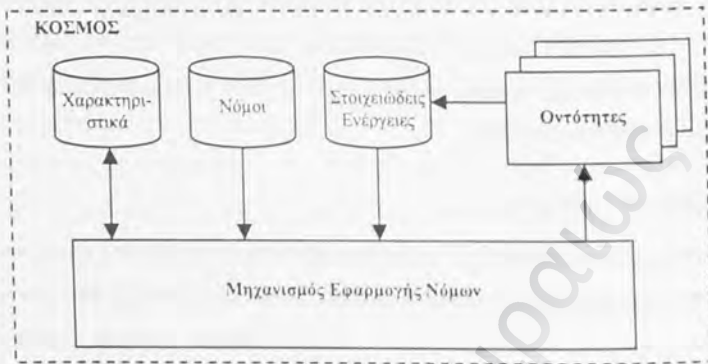
(0, 5, 0) : περιστροφή χεριού 5 μοίρες στον άξονα Υ. Αντίθετα, σε περιβάλλοντα προσομοίωσης, όπου οι πράκτορες συνήθως χρησιμοποιούν μοντέλα δυναμικής, οι στοιχειώδεις ενέργειες θα περιλαμβάνουν ανάθεση δύναμης σε κάποιο μέλος του σώματος, η οποία τελικά θα καταλήξει σε κίνηση μέσω των νόμων της φυσικής. Άλλες βασικές ενέργειες μπορούν να είναι η αποστολή μηνύματος σε κάποιον άλλο πράκτορα, η εισαγωγή ή διαγραφή αντικειμένων και η προσθήκη ενός αντικειμένου ως υπο-οντότητα μέρους του σώματος του πράκτορα (π.χ. πιάσιμο αντικειμένου με το χέρι) ή η αφαίρεσή του από αυτό.

#### 4.2.3 Νόμοι του κόσμου

Για να είναι σε θέση ο κόσμος να εφαρμόσει συνολικά τις ενέργειες των πρακτόρων είναι αναγκαίο να περιλαμβάνει ένα προσωρινό σύνολο ενεργειών, που είναι όλες οι στοιχειώδεις ενέργειες που εφαρμόστηκαν κατά τη διάρκεια του τρέχοντος χρονικού πλαισίου. Οι επιπτώσεις από αυτές τις ενέργειες στα χαρακτηριστικά του κόσμου και σε αυτά των αντικειμένων του καθορίζονται από τους νόμους του κόσμου. Κάθε νόμος παίρνει ως είσοδο μια ενέργεια και την τρέχουσα κατάσταση του κόσμου και υπολογίζει την επόμενη κατάσταση. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.1, οι οντότητες του κόσμου εκτελούν έναν αριθμό στοιχειωδών ενεργειών που αποθηκεύονται στο προσωρινό σύνολο ενεργειών. Τις ενέργειες αυτές επεξεργάζεται στο τέλος του χρονικού πλαισίου ένας μηχανισμός εφαρμογής νόμων, ο οποίος, με βάση τους νόμους που ισχύουν στον κόσμο και τις τρέχουσες τιμές των χαρακτηριστικών του κόσμου, υπολογίζει τις αλλαγές που θα γίνουν στα χαρακτηριστικά των αντικειμένων, αλλά και του ίδιου του κόσμου. Στη συνέχεια γίνεται η απεικόνιση στην οθόνη και ξεκινάει το επόμενο χρονικό πλαίσιο.

Ο τρόπος με τον οποίο οι νόμοι θα αλλάξουν τον κόσμο εξαρτάται από την επιθυμητή λειτουργικότητα του περιβάλλοντος. Σε μια προσομοίωση πραγματικού κόσμου θα πρέπει να είναι υπεύθυνοι για την προσέγγιση των φυσικών νόμων, έτσι ώστε να υπολογιστεί η κίνηση των αντικειμένων και οποιεσδήποτε τυχόν αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους, όπως κρούση και τριβή. Από την άλλη μεριά, σε μεγαλύτερα περιβάλλοντα, όπου υπάρχει μικρή ή και καθόλου προσομοίωση των φυσικών νόμων, όπως εικονικοί χώροι συνομιλίας, εικονικές πόλεις, κλπ. οι νόμοι θα πρέπει να είναι υπεύθυνοι για τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αντικειμένων σε υψηλότερο επίπεδο, π.χ. αν ένας πράκτορας πατήσει το κουμπί, τότε η πόρτα θα ανοίξει. Σε όλες τις

περιπτώσεις θα πρέπει επίσης να ελέγξουν αν οι επιθυμητές συνθετικές κινήσεις είναι επιτρεπτές με βάση τους περιορισμούς και τους βαθμούς ελευθερίας των αντίστοιχων αντικειμένων.



Εικόνα 4.1: Γενική Λειτουργία του κόσμου

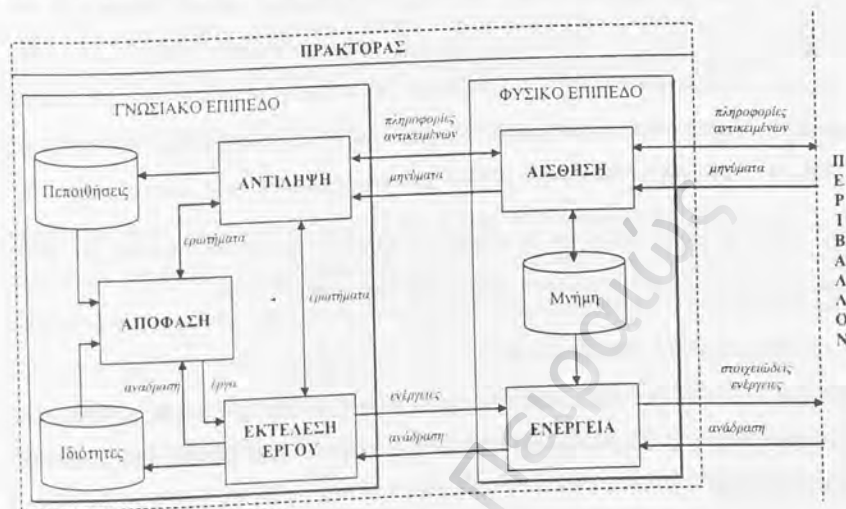
### 4.3 Μοντέλο του Πράκτορα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι εικονικοί πράκτορες είναι οντότητες του κόσμου και επομένως έχουν όλα τα γενικά χαρακτηριστικά των οντοτήτων. Η λειτουργία τους βασίζεται σε έναν αριθμό ανεξάρτητων τμημάτων που επικοινωνούν μεταξύ τους και διαιρούνται σε δύο επίπεδα (εικ. 4.2)

Το βασικό επίπεδο είναι το φυσικό, που περιλαμβάνει τα τμήματα εκείνα, που μπορούν να ελέγξουν άμεσα το σώμα του πράκτορα και επικοινωνούν με το περιβάλλον μέσω αισθητήρων και επιδραστών. Πάνω από το φυσικό επίπεδο λειτουργεί ένα δεύτερο επίπεδο, το γνωσιακό, που αντιστοιχεί στο «μυαλό» του πράκτορα και ελέγχει τη συμπεριφορά του χρησιμοποιώντας αντίληψη, απόφαση και εκτέλεση έργου. Ο λόγος για τον οποίο η αρχιτεκτονική του πράκτορα έχει χωριστεί σε δύο επίπεδα, είναι γιατί τα δεδομένα που αποθηκεύονται ή και ανταλλάσσονται μεταξύ των τμημάτων ακολουθούν δύο διαφορετικά επίπεδα αφαίρεσης.

Ο τρόπος με τον οποίο το σώμα ενός πράκτορα αλληλεπιδρά με ένα εικονικό περιβάλλον βασίζεται σε γεωμετρικά και αριθμητικά δεδομένα, όπως ένα ρομπότ θα αλληλεπιδρούσε με τον πραγματικό κόσμο. Για παράδειγμα, ένας πράκτορας δεν μπορεί να υλοποιήσει άμεσα εντολές, όπως 'βάλε το αντικείμενο Α πάνω στο τραπέζι

Β' ή 'στάσου δίπλα στην πόρτα', γιατί είναι πολύ αφηρημένες για το επίπεδο της συνθετικής κίνησης. Οι εντολές αυτές θα πρέπει να αναλυθούν περισσότερο, πιθανώς να διαιρεθούν σε πιο απλές υπο-εντολές, έως ότου υπάρξουν αριθμητικά δεδομένα ικανά να προκαλέσουν και να ελέγξουν τη συνθετική κίνηση του πράκτορα.



Εικόνα 4.2: Αρχιτεκτονική ευφυούς εικονικού πράκτορα

Από την άλλη μεριά, η συμπεριφορά του πράκτορα δεν μπορεί να βασίζεται σε γεωμετρία και αριθμούς, γιατί κάτι τέτοιο θα έκανε τις διαδικασίες ελέγχου και απόφασης ιδιαίτερα πολύπλοκες. Όπως ακριβώς συνηθίζουμε να σκεφτόμαστε και οι άνθρωποι, ένας εικονικός πράκτορας θα πρέπει να λειτουργεί στο επίπεδο απόφασης με μια συμβολική περιγραφή των ιδιοτήτων των αντικειμένων και των σχέσεων μεταξύ τους, η οποία θα είναι επίσης πολύ πιο εύκολη να προγραμματιστεί και να επαναχρησιμοποιηθεί. Για παράδειγμα θα ήταν πολύ πιο λογικό να χρησιμοποιηθούν προτάσεις όπως 'το αντικείμενο Α είναι πάνω στο τραπέζι Β' ή 'Βρίσκομαι κοντά στην πόρτα' στο γνωσιακό επίπεδο αντί να υπήρχαν οι πραγματικές τιμές των θέσεων και μεγεθών των αντικειμένων.

Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική χρησιμοποιεί δύο διαδικασίες, την αντίληψη και την εκτέλεση έργου ως ένα μέσο για τη διασύνδεση της υψηλού επιπέδου συμπεριφοράς με τις χαμηλού επιπέδου ενέργειες, και επιτρέπει με αυτόν τον τρόπο στους εικονικούς πράκτορες να αλληλεπιδράσουν με το περιβάλλον με μεγαλύτερη αληθοφάνεια. Κάθε πράκτορας χρησιμοποιεί τις αισθήσεις του, για να συλλέξει



πληροφορίες για τα αντικείμενα που βρίσκονται στο πεδίο όρασής του και τα αποθηκεύει στη δική του «εικόνα» του κόσμου, τη μνήμη του. Χρησιμοποιεί στη συνέχεια την αντίληψη, για να ενημερώσει τις πεποιθήσεις του για τον κόσμο και με βάση αυτές και τις τρέχουσες τιμές των χαρακτηριστικών, παίρνει αποφάσεις που καταλήγουν σε υψηλού επιπέδου ενέργειες, που ονομάζονται έργα. Αυτά, στη συνέχεια, αναλύονται ακόμα περισσότερο σε απλές ενέργειες από το τμήμα εκτέλεσης έργου και εκτελούνται ως ακολουθίες στοιχειωδών ενεργειών σε συνεχόμενα χρονικά πλαίσια.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα επιμέρους τμήματα του προτεινόμενου μοντέλου και οι μετασχηματισμοί δεδομένων που λαμβάνουν χώρα σε αυτά.

#### 4.3.1 Μνήμη και πεποιθήσεις

Όπως φαίνεται από την προτεινόμενη αρχιτεκτονική, ο κάθε πράκτορας χρησιμοποιεί δύο διαφορετικές αναπαραστάσεις του κόσμου, μία για κάθε επίπεδο: τη μνήμη και τις πεποιθήσεις.

Η μνήμη περιγράφει τον κόσμο ως ένα σύνολο οντοτήτων, αποτελεί δηλαδή μια γεωμετρική αναπαράσταση του κόσμου. Ο λόγος ύπαρξής της είναι τόσο για την αποθήκευση των ιδιοτήτων των αντικειμένων που δεν είναι αυτή τη στιγμή στο πεδίο όρασης του πράκτορα (παρόλο που η πληροφορία που έχει καταγραφεί στη μνήμη μπορεί να μην είναι συνεπής με την τρέχουσα κατάσταση), όσο και για την παρατήρηση της κατάστασης συγκεκριμένων αντικειμένων κατά την εκτέλεση ενεργειών που βασίζονται σε αυτά, π.χ. πήγαινε στην καρέκλα. Η πληροφορία που αποθηκεύεται στην μνήμη του πράκτορα δεν είναι παρόλα αυτά αρκετή, για να ληφθούν αποφάσεις υψηλού επιπέδου, καθώς δεν περιέχει σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων και άλλα λογικά συμπεράσματα που αφορούν την κατάσταση του κόσμου. Για το λόγο αυτό θα πρέπει πρώτα να γίνουν συγκεκριμένοι μετασχηματισμοί, που θα γεννήσουν μια υψηλότερου επιπέδου περιγραφή του κόσμου, η οποία αποθηκεύεται σε έναν άλλο χώρο, στις πεποιθήσεις του πράκτορα.

Οι πεποιθήσεις είναι η αναπαράσταση του κόσμου σε συμβολικό επίπεδο, δηλαδή μια αφαιρετική άποψη του κόσμου, όπως την «αντιλαμβάνεται» ο πράκτορας. Ουσιαστικά είναι ένα σύνολο κατηγορημάτων που αφορούν τον κόσμο και τα αντικείμενά του και προκύπτουν από το μετασχηματισμό των δεδομένων της μνήμης

σε υψηλότερου επιπέδου πληροφορία. Η μεγάλη διαφορά μεταξύ της μνήμης και των πεποιθήσεων είναι ότι στην πρώτη περίπτωση η αναπαράσταση του κόσμου είναι αντικειμενική, δηλαδή δύο πράκτορες που βρίσκονται στο ίδιο σημείο και έχουν τους ίδιους αισθητήρες, θα καταγράψουν ακριβώς το ίδιο στιγμιότυπο του κόσμου στη μνήμη τους, ενώ στη δεύτερη περίπτωση είναι υποκειμενική και εξαρτάται από το είδος της πληροφορίας που χρησιμοποιεί ένας πράκτορας σε νοητικό επίπεδο.

Εκτός από την προφανή χρησιμότητα των πεποιθήσεων στην διαδικασία του ελέγχου της συμπεριφοράς του πράκτορα και της λήψης αποφάσεων, υπάρχουν και άλλα πλεονεκτήματα. Πρώτα από όλα, με τη χρήση των πεποιθήσεων είναι πολύ πιο εύκολο να μεταδώσει ο πράκτορας τη «γνώση» του στο χρήστη χρησιμοποιώντας φυσική γλώσσα, καθώς η χρήση κατηγορημάτων για την παραγωγή φυσικής γλώσσας είναι μια σχετικά απλή διαδικασία, που εφαρμόζεται στο χώρο της τεχνητής νοημοσύνης. Μια τέτοια δυνατότητα είναι χρήσιμη στην περίπτωση πρακτόρων διεπαφής (interface agents), δηλαδή συνθετικών χαρακτήρων που συνδιαλέγονται με το χρήστη με φυσική γλώσσα, είτε σε μορφή κειμένου είτε σε μορφή ήχου. Δεύτερον, οι πεποιθήσεις βοηθούν το σχεδιαστή να διαβάσει άμεσα και σε κατανοητή μορφή τα συμπεράσματα που έχει βγάλει ο πράκτορας από τον κόσμο σε οποιαδήποτε στιγμή, και κατά συνέπεια είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στη διαδικασία της αποσφαλμάτωσης (debugging) ενός σεναρίου ή ενός μοντέλου συμπεριφοράς του πράκτορα.

#### 4.3.2 Αίσθηση

Ένα εικονικό περιβάλλον είναι συνήθως ένας χώρος που λαμβάνουν χώρα δυναμικές και απρόβλεπτες αλλαγές και είναι συνεπώς απαραίτητο για έναν εικονικό πράκτορα να χρησιμοποιεί συχνά τις αισθήσεις του και να συντηρεί ένα μοντέλο του κόσμου, όσο το δυνατόν πιο συνεπές. Τα περισσότερα συστήματα εικονικών πρακτόρων χρησιμοποιούν μια μοναδική διαδικασία για την κατανόηση του περιβάλλοντος από τον πράκτορα, την οποία αποκαλούν είτε αίσθηση είτε αντίληψη. Στο προτεινόμενο μοντέλο αντιμετωπίζονται η αίσθηση και η αντίληψη ως δύο διαφορετικές διαδικασίες, όπου υπάρχει σαφής διαφοροποίηση μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα, η αίσθηση ορίζεται ως η αναγνώριση από τον πράκτορα των αντικειμένων που βρίσκονται στο πεδίο όρασής του, ενώ η αντίληψη είναι η παραγωγή αξιοποιήσιμης «γνώσης» για το περιβάλλον, με βάση την «εικόνα» του περιβάλλοντος που υπάρχει στη μνήμη του πράκτορα.

Ο μηχανισμός αίσθησης είναι το τμήμα του πράκτορα που μοντελοποιεί τα μάτια του. Κάθε φορά που ζητάει «ενημέρωση» από το περιβάλλον, δέχεται τη λίστα με τις οντότητες που είναι στο πεδίο όρασής του με τις τρέχουσες τιμές των χαρακτηριστικών τους, καθώς και οποιοδήποτε πιθανό μήνυμα από άλλους πράκτορες ή τον κόσμο. Η πληροφορία που λαμβάνει το τμήμα αίσθησης για την τρέχουσα κατάσταση του κόσμου, φυλάσσεται στη μνήμη, όπου ενημερώνονται τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων που βρίσκονται ήδη σε αυτήν, ή προστίθενται νέα αντικείμενα, εφόσον γίνονται αισθητά για πρώτη φορά.

Η συχνότητα εκτέλεσης της αίσθησης, καθώς και το βάθος και η ευκρίνεια αναγνώρισης των αντικειμένων επηρεάζει άμεσα τόσο την αντίληψη του πράκτορα για τον κόσμο, όσο και την ακριβείά του στην εκτέλεση των ενεργειών του. Συνεπώς, η δυνατότητα παραμετροποίησης των αισθητήρων των εικονικών χαρακτήρων μπορεί να οδηγήσει σε χαρακτήρες με διαφορετική προσωπικότητα.

### 4.3.3 Αντίληψη

Το τμήμα αντίληψης είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία και ενημέρωση των πεποιθήσεων του πράκτορα για τον κόσμο με βάση την τρέχουσα περιγραφή του κόσμου που υπάρχει στη μνήμη του. Λαμβάνει την απαραίτητη πληροφορία για τα αντικείμενα και τα εισερχόμενα μηνύματα από το τμήμα αίσθησης χρησιμοποιώντας το ίδιο πρωτόκολλο, όπως αυτό μεταξύ της αίσθησης και του κόσμου. Η διαφορά είναι ότι η πληροφορία προέρχεται από τη μνήμη και όχι απευθείας από το περιβάλλον. Έτσι το τμήμα αντίληψης μπορεί να διαβάσει σε μνήμη τα αντικείμενα που δεν είναι άμεσα ορατά.

Η λειτουργία της αντίληψης είναι η παραγωγή των πεποιθήσεων με βάση τις τρέχουσες τιμές των χαρακτηριστικών των οντοτήτων που υπάρχουν στη μνήμη και τα εισερχόμενα μηνύματα από άλλους πράκτορες. Η πληροφορία αποθηκεύεται στις πεποιθήσεις και η δημιουργία των πεποιθήσεων κατόπιν των κανόνων αντίληψης (perception rules) γίνεται με υποβολή ερωτημάτων στο τμήμα αντίληψης. Η αντίληψη μπορεί να μεταβάλει τον τρόπο εκτέλεσης των ενεργειών, να δημιουργήσει νέα έργα της μορφής των κανόνων αντίληψης, να μεταβάλει τον τρόπο εκτέλεσης των ενεργειών, να δημιουργήσει νέα έργα της μορφής των κανόνων αντίληψης, να μεταβάλει τον τρόπο εκτέλεσης των ενεργειών, να δημιουργήσει νέα έργα της μορφής των κανόνων αντίληψης.

### 4.3.6 Ενέργεια

Οι ενέργειες που μπορεί να εκτελεί ο πράκτορας είναι οι ικανότητές του σε επίπεδο συνθετικής κίνησης και αλληλεπίδρασης και μπορούν να περιλαμβάνουν αντίστροφη





επιτυχία τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τελική εφαρμογή και την επιθυμητή λειτουργικότητα του πράκτορα.

Το τμήμα απόφασης ελέγχει την τρέχουσα κατάσταση του κόσμου, αλλά και την κατάσταση του εκτελούμενου έργου, που λαμβάνει ως ανάδραση από το τμήμα εκτέλεσης έργου και αποφασίζει για τη συνέχισή του ή τη διακοπή του με εκκίνηση ενός νέου έργου. Η συχνότητα εκτέλεσης της απόφασης μπορεί να είναι σημαντικά μικρότερη σε σχέση με αυτή της αίσθησης ή της ενέργειας, καθώς το τμήμα αυτό ασχολείται με την υψηλού επιπέδου κατάσταση του κόσμου την οποία συγκρίνει με τους στόχους και τις επιδιώξεις του πράκτορα και όχι με τις μικρές λεπτομέρειες που αφορούν την εκτέλεση ενεργειών.

#### 4.3.5 Εκτέλεση έργων

Η λειτουργία του τμήματος εκτέλεσης έργων είναι να αναλύσει τα έργα σε απλές ενέργειες και να τις εκτελέσει δίνοντας τις αντίστοιχες εντολές στο τμήμα ενέργειας. Ως έργο (task) ορίζεται ένας συνδυασμός ενεργειών που πετυχαίνει ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα, π.χ. φαγητό, συνάντηση με κάποιον, ύπνος, κλπ. Πρόκειται δηλαδή για υψηλού επιπέδου ενέργειες, που προκαλούν μια ή περισσότερες μεταβολές στην κατάσταση του κόσμου, και είναι το αντίστοιχο των ενεργειών στους ευφυείς πράκτορες.

Κάθε ένα από τα διαθέσιμα έργα του πράκτορα περιγράφονται με ένα σύνολο εντολών που καταλήγουν σε ενέργειες και εκτελούνται από το τμήμα εκτέλεσης έργου. Έτσι, ένα έργο μπορεί να περιλαμβάνει σειριακή εκτέλεση ενεργειών, παράλληλες ενέργειες, εκτέλεση υπό συνθήκη ή και συνδυασμό αυτών. Ο λόγος για τον οποίο υπάρχει η υπό συνθήκη εκτέλεση είναι γιατί κατά τη διάρκεια εκτέλεσης ενός έργου μπορεί να χρειαστεί να ληφθούν τοπικές αποφάσεις που δεν αφορούν το τμήμα απόφασης αλλά το ίδιο το έργο. Για παράδειγμα, ένα έργο της μορφής sit(object a) : κάθισε στο αντικείμενο a, μπορεί να μεταβάλει τον τρόπο εκτέλεσής του ανάλογα με τον τύπο του αντικειμένου (π.χ. καρέκλα, καναπές, σκαμπό). Ο έλεγχος της συνθήκης γίνεται με υποβολή ερωτημάτων στο τμήμα αντίληψης.

#### 4.3.6 Ενέργεια

Οι ενέργειες που μπορεί να εκτελεί ο πράκτορας είναι οι ικανότητές του σε επίπεδο συνθετικής κίνησης και αλληλεπίδρασης και μπορούν να περιλαμβάνουν αντίστροφη

κινηματική, βάδισμα, εκτέλεση ακολουθίας συνθετικής κίνησης, αποστολή μηνύματος, κλπ. Κάθε ενέργεια χρησιμοποιεί έναν αριθμό ορισμάτων και εκτελείται από το τμήμα ενέργειας με την αποστολή διαδοχικών συνόλων στοιχειωδών ενεργειών στον κόσμο που εκτελούνται σε συνεχόμενα χρονικά πλαίσια. Η ακολουθία αυτή μπορεί να είναι προκαθορισμένη ή προσανατολισμένη σε στόχο. Στην δεύτερη περίπτωση η ακολουθία τερματίζεται, όταν μια συνθήκη που σχετίζεται με την τρέχουσα κατάσταση του κόσμου αληθεύει. Σε αντίθεση όμως με το τμήμα εκτέλεσης έργου η συνθήκη αυτή αφορά την γεωμετρική αναπαράσταση του κόσμου και, κατά συνέπεια, ο έλεγχός της γίνεται πάνω στα δεδομένα της μνήμης του πράκτορα. Οι προκαθορισμένες ακολουθίες περιγράφουν απλές ενέργειες, που συνήθως βασίζονται στην κίνηση με θέσεις-κλειδιά, π.χ. ξύσιμο του κεφαλιού, βάδισμα γνωστής διαδρομής κλπ. Από την άλλη μεριά, οι ακολουθίες προσανατολισμένες στο στόχο εμφανίζονται σε πιο πολύπλοκες ενέργειες, όπως το πιάσιμο ενός αντικειμένου, η εύρεση ενός μονοπατιού προς το στόχο κλπ.

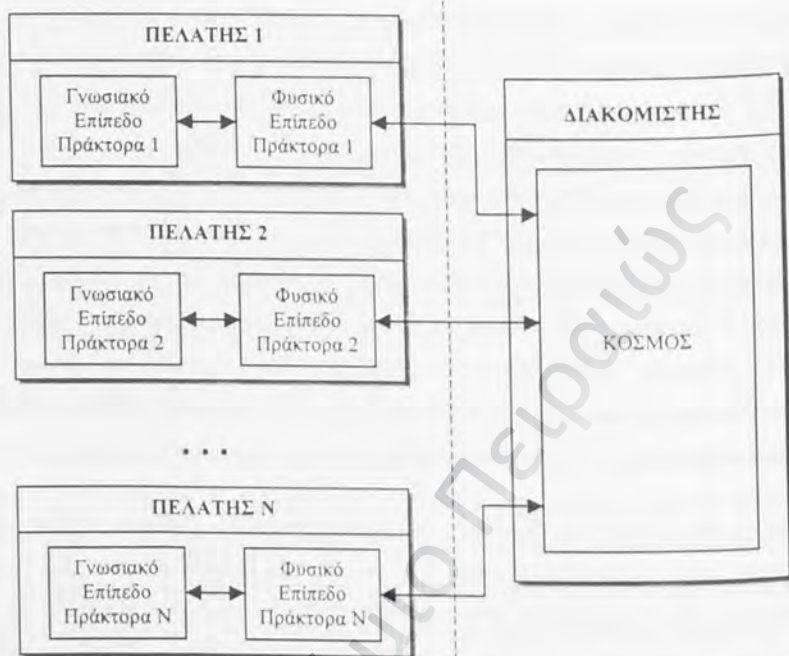
Οι στοιχειώδεις ενέργειες δέχονται ανάδραση (feedback) από τον κόσμο στην περίπτωση που αποτυγχάνουν, π.χ. δεν μπορεί να μετακινηθεί το χέρι λόγω σύγκρουσης. Στην περίπτωση αυτή εξαρτάται από την ίδια την ενέργεια, αν θα συνεχίσει η εκτέλεσή της παρά την αποτυχία αυτή ή όχι. Υπάρχουν ακόμα περιπτώσεις, όπου μια ενέργεια μπορεί να αποτύχει, όχι λόγω αποτυχίας μιας βασικής ενέργειας αλλά, επειδή η κατάσταση του κόσμου είναι τέτοια, που η ενέργεια δεν μπορεί να εκτελεστεί άμεσα, π.χ. ένα πρόβλημα αντίστροφης κινηματικής που δεν μπορεί να λυθεί. Στις περιπτώσεις αποτυχίας το τμήμα Ενέργειας στέλνει την αντίστοιχη ανάδραση στο τμήμα εκτέλεσης έργου.

#### 4.4 Προσαρμογή του Μοντέλου σε Κατανεμημένα Περιβάλλοντα

Σε πολλές περιπτώσεις εφαρμογών με εικονικά περιβάλλοντα οι απαιτήσεις είναι τέτοιες, που η ισχύς ενός υπολογιστή δεν είναι αρκετή. Μια προφανής λύση του προβλήματος είναι η χρήση πολλαπλών υπολογιστών σε δίκτυο, ώστε να μοιραστεί η επεξεργασία. Στην προκειμένη περίπτωση των περιβαλλόντων με αυτόνομους πράκτορες είναι πιο συμφέρουσα η χρήση ενός υπολογιστή για κάθε πράκτορα, καθώς οι πράκτορες ενεργούν παράλληλα και ο καθένας διαθέτει τη δική του μνήμη.



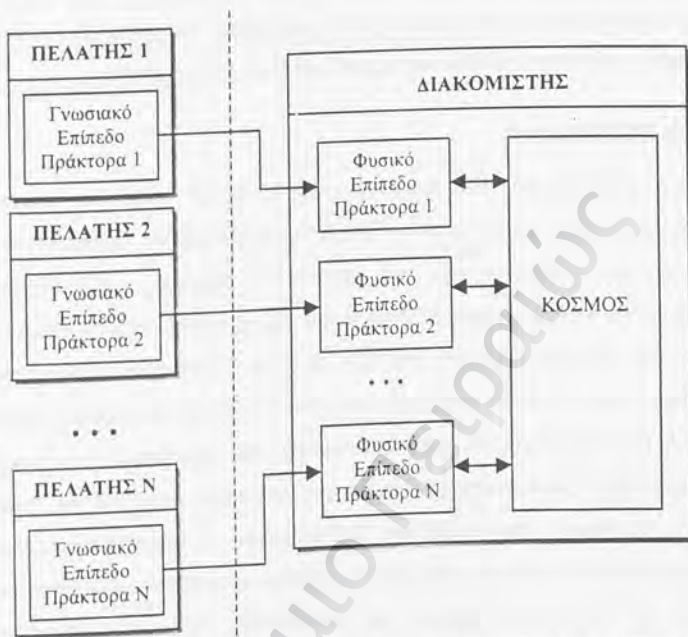
Έτσι το κόστος της επικοινωνίας περιορίζεται στην επικοινωνία των αισθητήρων και επιδραστών του κάθε πράκτορα με το περιβάλλον.



Εικόνα 4.3: Κατανεμημένο σύστημα αλληλών επικοινωνικών πρακτόρων με έναν πράκτορα σε κάθε πελάτη

Στο προτεινόμενο μοντέλο υπάρχουν δύο τρόποι κατανεμημένης λειτουργίας που βασίζονται στην αρχιτεκτονική πελάτη-διακομιστή (client-server). Η πρώτη περίπτωση είναι η προφανής κατανομή, όπου ο διακομιστής περιέχει τον κόσμο και κάθε πελάτης από έναν πράκτορα (εικόνα 4.3). Κατά συνέπεια η δικτυακή επικοινωνία γίνεται μεταξύ του φυσικού επιπέδου του κάθε πράκτορα και του κόσμου. Αυτό σημαίνει ότι σε κάθε χρονικό πλαίσιο θα πρέπει όλοι οι πράκτορες να αποστέλλουν από ένα σύνολο στοιχειωδών ενεργειών και σε τακτά χρονικά διαστήματα να λαμβάνουν το σύνολο των οντοτήτων που βρίσκονται στο οπτικό τους πεδίο. Η περίπτωση αυτή ενδείκνυται σε ιδιαίτερα γρήγορα δίκτυα, καθώς τα δεδομένα που ανταλλάσσονται μεταξύ των πελατών και του διακομιστή είναι πολλά σε όγκο και με μεγάλη συχνότητα (για ρεαλιστική κίνηση θα πρέπει κάθε χρονικό πλαίσιο να έχει διάρκεια το πολύ ένα εικοστό του δευτερολέπτου). Έχει όμως το πλεονέκτημα ότι απαλλάσσει το διακομιστή από την επεξεργασία των ενεργειών του κάθε πράκτορα και τη χρονοβόρα διαδικασία της απόφασης και αφιερώνει όλη την

επεξεργαστική ισχύ στην εφαρμογή των νόμων και στην απεικόνιση στην οθόνη. Το σχήμα αυτό είναι, συνεπώς, προτιμότερο σε περιβάλλοντα προσομοίωσης, όπου η λεπτομερής εφαρμογή των φυσικών νόμων απαιτεί ιδιαίτερη επεξεργαστική ισχύ.



Εικόνα 4.4: Κατανεμημένο σύστημα ευφώνων εικονικών πρακτόρων με το γνωσιακό επίπεδο στον πελάτη και το φυσικό επίπεδο στον διακομιστή

Η δεύτερη περίπτωση είναι να υπάρχει μόνο το γνωσιακό επίπεδο του κάθε πράκτορα στον αντίστοιχο πελάτη, και ο διακομιστής να περιλαμβάνει τόσο τον κόσμο όσο και τα φυσικά επίπεδα των πρακτόρων (εικόνα 4.4). Στην περίπτωση αυτή η επικοινωνία μεταξύ πελατών και διακομιστή δεν είναι υποχρεωτικό να γίνεται συγχρονισμένα σε κάθε χρονικό πλαίσιο, καθώς η αντίληψη και η εκτέλεση ενεργειών μπορούν να λειτουργούν σε μικρότερη συχνότητα, που εξαρτάται από την δυναμικότητα του περιβάλλοντος και τη λεπτομέρεια με την οποία περιγράφουν οι πεποιθήσεις την τρέχουσα κατάσταση του κόσμου. Κατά συνέπεια τόσο η συχνότητα όσο και ο όγκος (καθώς αντί για σύνολο στοιχειωδών ενεργειών αποστέλλεται εντολή για εκτέλεση μιας νέας ενέργειας) των δεδομένων είναι σαφώς μικρότερα σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση και το σχήμα αυτό είναι προτιμότερο για δίκτυα μικρότερου εύρους. Επιπλέον, έχει το πλεονέκτημα ότι ο κάθε πελάτης αφιερώνει την επεξεργαστική του ισχύ αποκλειστικά στο γνωσιακό επίπεδο του πράκτορα και

συνεπώς είναι δυνατόν να υπάρξει πολύπλοκη μοντελοποίηση της διαδικασίας απόφασης, που θα οδηγήσει σε πιο αληθοφανείς υλοποιήσεις. Από την άλλη μεριά όμως ο διακομιστής αφιερώνει χρόνο τόσο στους κανόνες του ίδιου του κόσμου όσο και στην εκτέλεση των ενεργειών του κάθε πράκτορα. επομένως είναι δύσκολο να υποστηριχθούν ιδιαίτερα πολύπλοκες υλοποιήσεις σε φυσικό επίπεδο.

#### 4.5 Συμπεράσματα

Το βασικό πλεονέκτημα του προτεινόμενου μοντέλου είναι ότι αποτελεί μια προσέγγιση που λύνει σε ένα μεγάλο βαθμό το πρόβλημα της διασύνδεσης μεταξύ του χώρου των γραφικών και του χώρου της τεχνητής νοημοσύνης καθώς ενσωματώνει δυνατότητες αναπαράστασης και ελέγχου τόσο στην υψηλού επιπέδου απόφαση, όσο και στη χαμηλού επιπέδου ενέργεια. Ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας υπάρχουσες δομές, δηλαδή οντότητες και υπο-οντότητες σε χαμηλό επίπεδο και συμβολική αναπαράσταση σε υψηλό, επιτρέπει την αξιοποίηση των υπάρχοντων αλγορίθμων που έχουν αναπτυχθεί τόσο για φυσικούς όσο και για γνωσιακούς πράκτορες. Αντίθετα, στην τρέχουσα βιβλιογραφία οι αρχιτεκτονικές εικονικών πρακτόρων δίνουν έμφαση είτε στο φυσικό επίπεδο, χρησιμοποιώντας αρχιτεκτονικές παρόμοιες με αυτές του χώρου της ρομποτικής, είτε στο γνωσιακό, όπου αξιοποιούνται οι δημοφιλείς αρχιτεκτονικές ευφυών πρακτόρων.

Ένα άλλο μεγάλο πλεονέκτημα του προτεινόμενου μοντέλου είναι η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των πρακτόρων σε διαφορετικά περιβάλλοντα που υποστηρίζουν τις ίδιες στοιχειώδεις ενέργειες. Πράγματι, με μεταβολή στους κανόνες αντίληψης και στις εντολές εκτέλεσης έργων είναι δυνατόν να αναπροσαρμοστούν τόσο το είδος των συμβολικών πληροφοριών που λαμβάνει ο πράκτορας για τον κόσμο, όσο και τα έργα που μπορεί να εκτελέσει σε αυτόν, και κατά συνέπεια να προσαρμοστεί η λειτουργία του πράκτορα στο νέο περιβάλλον. Επιπλέον, καθώς η διαδικασία απόφασης βασίζεται σε καθαρά συμβολική πληροφορία και δεν περιέχει λεπτομέρειες που αφορούν την αναπαράσταση του κόσμου, είναι δυνατόν να επαναχρησιμοποιηθεί ένα υπάρχον μοντέλο απόφασης σε διαφορετικούς πράκτορες ή και σε διαφορετικά περιβάλλοντα.

Η αξιοποίηση του μηχανισμού αίσθησης, της μνήμης αλλά και του μηχανισμού εκτέλεσης ενεργειών που καταλήγουν σε στοιχειώδεις ενέργειες, μπορεί να οδηγήσει σε πράκτορες με ιδιαίτερα ενισχυμένο το φυσικό επίπεδο. Το σημαντικό όμως είναι



ότι η χρήση της αντίληψης βοηθάει στην παραγωγή επιπλέον συμβολικής αναπαράστασης του κόσμου, που επιτρέπει στους πράκτορες αυτούς να παίρνουν και υψηλού επιπέδου αποφάσεις. Η προσέγγιση αυτή ενισχύει την αυτονομία και αληθοφάνεια των πρακτόρων, έχει όμως το μειονέκτημα ότι καταναλώνει μεγάλη ποσότητα μνήμης, καθώς ο κάθε πράκτορας πρέπει να φυλάσσει τις δικές του πληροφορίες για τον κόσμο.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

## 5 ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ SIMHUMAN

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται το SimHuman, μια πλατφόρμα ανάπτυξης εφαρμογών με εικονικά περιβάλλοντα, η οποία κατασκευάστηκε με βάση το προτεινόμενο μοντέλο για ευφυείς εικονικούς πράκτορες. Αρχικά δίνεται μια συνοπτική περιγραφή της πλατφόρμας και των επιμέρους τμημάτων της και περιγράφεται ο τρόπος χρήσης της για το σχεδιασμό ενός περιβάλλοντος με συνθετικούς χαρακτήρες. Στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά η μοντελοποίηση τόσο του περιβάλλοντος όσο και των πρακτόρων για όλα τα τμήματα της αρχιτεκτονικής και δίνονται αναλυτικά οι αλγόριθμοι λειτουργίας τους. Τέλος, παρουσιάζονται ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τη λειτουργικότητα και τις δυνατότητες της πλατφόρμας.

### 5.1 Εισαγωγή

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια, υπάρχει έλλειψη γενικών εργαλείων για την ανάπτυξη τρισδιάστατων αλληλεπιδραστικών περιβαλλόντων, διότι συνήθως οι απαιτήσεις ορίζονται από την τελική εφαρμογή στην οποία αυτά στοχεύουν. Ορισμένα συστήματα χρειάζεται να χρησιμοποιήσουν μοντέλα με μεγάλη λεπτομέρεια, ενώ άλλα πρέπει να είναι σε θέση να απεικονίζουν πολύ μεγάλες σκηνές. Υπάρχουν περιπτώσεις που χρειάζεται ακριβής μοντελοποίηση των φυσικών νόμων και άλλες όπου η έμφαση δίνεται κυρίως στην εμφάνιση. Σε γενικές γραμμές, το γεγονός ότι τα υψηλού επιπέδου γραφικά και η συνθετική κίνηση μειώνουν σημαντικά την απόδοση, δυσκολεύει τον ορισμό κοινών σταθερών χαρακτηριστικών για όλες τις πιθανές εφαρμογές με εικονικά περιβάλλοντα.

Η έλλειψη αυτή εντείνεται ακόμη περισσότερο στην περίπτωση των περιβαλλόντων με εικονικούς πράκτορες. Από την έρευνα στο χώρο αυτό έχουν προκύψει ορισμένα συστήματα ανάπτυξης με πολλά και ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά, αλλά σε όλες τις περιπτώσεις τα συστήματα αυτά φαίνονται να στοχεύουν σε συγκεκριμένες υποκατηγορίες εφαρμογών. Υπάρχουν εξειδικευμένα εργαλεία για το σχεδιασμό και



τη συνθετική κίνηση των εικονικών πρακτόρων, που εκτελούνται μόνο σε ακριβούς σταθμούς εργασίας γραφικών και σε ορισμένες περιπτώσεις δίνουν μεγαλύτερη βάση στην ακρίβεια παρά στην εμφάνιση. Από την άλλη μεριά, υπάρχουν εργαλεία όπως το Imapron, που έχουν κατασκευαστεί ειδικά για το σχεδιασμό συνθετικών ηθοποιών και εστιάζουν περισσότερο στις εφαρμογές αφήγησης ιστοριών (storytelling), στερούμενα χαρακτηριστικών, όπως η αναγνώριση σύγκρουσης και η φυσική, που θα επέτρεπαν την κατασκευή απλών συστημάτων προσομοίωσης με εικονικούς πράκτορες.

Μία άλλη περίπτωση εργαλείου ανάπτυξης είναι τα εμπορικά πακέτα για την απεικόνιση και συνθετική κίνηση εικονικών πρακτόρων και κυρίως οι τρισδιάστατες μηχανές παιχνιδιών. Το γεγονός όμως ότι οι μηχανές αυτές έχουν γραφτεί ειδικά για παιχνίδια συνεπάγεται και ορισμένους περιορισμούς. Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιούν την δική τους μορφή αρχείων για τρισδιάστατα μοντέλα (π.χ. η μορφή αρχείων MD3 που χρησιμοποιείται από τη μηχανή του παιχνιδιού Quake III), που συνήθως δεν υποστηρίζεται ευρέως, με αποτέλεσμα ο χρήστης να είναι αναγκασμένος να χρησιμοποιήσει συγκεκριμένα εργαλεία σχεδιασμού σκηνικού (scene editors) για να κατασκευάσει τον κόσμο. Ακόμη, οι πράκτορες στις μηχανές αυτές δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυθαίρετη ιεραρχία σώματος (συνήθως έχουν απλούς σκελετούς), ενώ είναι και αρκετά περιορισμένες οι ενέργειες που μπορούν να εκτελέσουν, όπως το τρέξιμο, το άλμα και το μάζεμα αντικειμένων. Είναι δύσκολο, αν όχι αδύνατο λόγω της απλότητας του σκελετού, να σχεδιαστούν πιο περίπλοκες ενέργειες με τη χρήση μηχανών παιχνιδιών, όπως π.χ. να καθίσει ένας πράκτορας σε μια καρέκλα ή να ανοίξει μια πόρτα. Τέλος, οι μηχανές παιχνιδιών τρέχουν σε πλήρη οθόνη (full screen) ή τουλάχιστον καλύπτουν όλο το παράθυρο της εφαρμογής, περιορίζοντας έτσι την αλληλεπίδραση με το χρήστη σε μηνύματα και είσοδο από το πληκτρολόγιο. Για το λόγο αυτό δεν μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει μια μηχανή παιχνιδιών, για να απεικονίσει ένα τρισδιάστατο περιβάλλον ως τμήμα μιας ευρύτερης εφαρμογής.

Ενώ όμως τα διαθέσιμα εργαλεία προσαρμόζουν τη λειτουργικότητά τους σε συγκεκριμένες περιοχές εφαρμογής, φαίνεται να υπάρχει μια ομάδα προγραμμάτων, όπως τα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, τα συστήματα παρουσίασης με τη χρήση πολυμέσων, οι χώροι συνομιλίας με πολλούς χρήστες και τα απλά συστήματα

προσομοίωσης, τα οποία έχουν παρόμοιες απαιτήσεις και δεν καλύπτονται από τα υπάρχοντα εργαλεία. Τέτοια περιβάλλοντα συνήθως περιλαμβάνουν σχετικά μικρούς χώρους και απαιτούν ελκυστικά γραφικά και συνθετική κίνηση, σε συνδυασμό με ένα απλοποιημένο φυσικό μοντέλο. Ο συνδυασμός όμορφων γραφικών, πολύπλοκων κινήσεων και φυσικής κάνει τα περιβάλλοντα πιο ρεαλιστικά και πιστευτά στο χρήστη. Οι εφαρμογές θα πρέπει ακόμη να περιέχουν δυναμικά χαρακτηριστικά, δηλαδή να επιτρέπουν στο χρήστη να αλληλεπιδράσει με το περιβάλλον με πλοήγηση, χειρισμό αντικειμένων ή ανάθεση εντολών σε εικονικούς πράκτορες, χρησιμοποιώντας κατάλληλα συστήματα διεπαφής. π.χ. επεξεργασία φωνής, εντολές σε φυσική γλώσσα, χειριστήριο, ποντίκι, κλπ.

Όλα τα παραπάνω δημιουργούν την ανάγκη της εκ νέου υλοποίησης ενός γενικού μοντέλου εικονικού περιβάλλοντος με δυνατότητα προσθήκης πρακτόρων με προγραμματιζόμενη συμπεριφορά, που να είναι σε θέση να υποστηρίξει τις προαναφερθείσες κατηγορίες εφαρμογών. Το προτεινόμενο μοντέλο ευφών εικονικών πρακτόρων μπορεί μεν να είναι σε θέση να υποστηρίξει πράκτορες με ενισχυμένα τόσο τα φυσικά όσο και τα γνωσιακά χαρακτηριστικά, εφόσον όμως χρησιμοποιηθεί ως βάση για την ανάπτυξη μιας γενικής πλατφόρμας, θα πρέπει να ληφθούν ορισμένες σχεδιαστικές αποφάσεις. Οι αποφάσεις αυτές αφορούν στην λειτουργικότητα του κόσμου, στο σύνολο των βασικών ενεργειών που θα υποστηρίζονται, αλλά και στις ενέργειες που είναι δυνατόν να εκτελέσει ο πράκτορας. Τα χαρακτηριστικά αυτά θα πρέπει να είναι αποτέλεσμα προσεκτικής επιλογής, ώστε να μη δοθεί ιδιαίτερη έμφαση σε μια πτυχή της λειτουργίας του περιβάλλοντος εις βάρος των υπολοίπων. Με βάση τους παραπάνω περιορισμούς σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε το περιβάλλον SimHuman ως εργαλείο για την κατασκευή απλών εικονικών περιβαλλόντων με ευφυείς συνθετικούς χαρακτήρες.

## 5.2 Γενική λειτουργία της πλατφόρμας

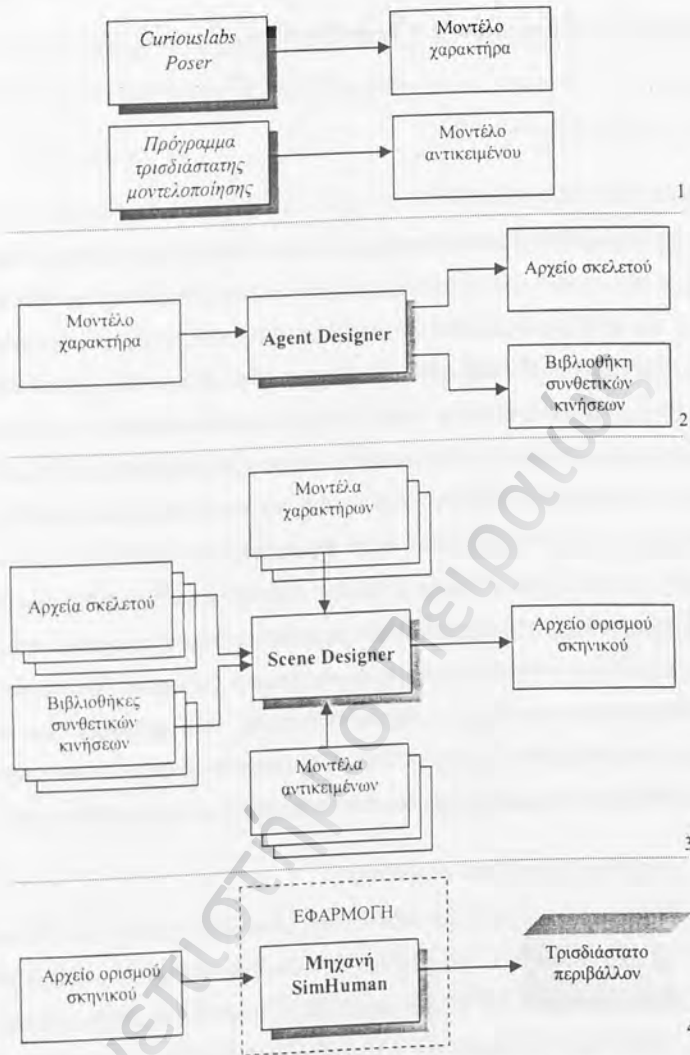
Το πεδίο της μοντελοποίησης, προσομοίωσης και συμπεριφοράς χαρακτήρων είναι ένας χώρος συνεχούς έρευνας και έχουν προταθεί πολλές διαφορετικές προσεγγίσεις. Στην περίπτωση του SimHuman έγινε προσπάθεια να συνδυαστούν αλγόριθμοι που ισορροπούν μεταξύ απόδοσης και ακρίβειας, με σκοπό να παραχθεί πιο αληθοφανής κίνηση σε περιβάλλοντα πραγματικού χρόνου και να κατασκευαστεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την ανάπτυξη αλληλεπιδραστικών τρισδιάστατων εφαρμογών.

Το SimHuman είναι ένα εργαλείο που βοηθάει τους προγραμματιστές στο σχεδιασμό, την απεικόνιση και τη συνθετική κίνηση εικονικών περιβαλλόντων με απλούς ή πολλαπλούς πράκτορες και ενσαρκώσεις. Αυτοί οι συνθετικοί κόσμοι έχουν χαρακτηριστικά, όπως αντίστροφη κινηματική, μοντελοποίηση φυσικών νόμων, αναγνώριση σύγκρουσης και εικονική όραση, και μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν σε μεγαλύτερες εφαρμογές πολυμέσων.

Το SimHuman αποτελείται από μια βιβλιοθήκη προγραμματισμού και δύο βοηθητικές εφαρμογές. Η βιβλιοθήκη είναι υλοποιημένη σε γλώσσα C++ και επιτρέπει στους χρήστες να ορίσουν και να μετακινήσουν τρισδιάστατα σκηνικά με αυθαίρετο αριθμό αντικειμένων, εικονικών πρακτόρων και ενσαρκώσεων που ελέγχονται από τους χρήστες. Οι δύο βοηθητικές εφαρμογές είναι το Agent Designer, ένα πρόγραμμα που φορτώνει μοντέλα πρακτόρων και βοηθάει τους χρήστες στο σχεδιασμό του σκελετού και στην δημιουργία βιβλιοθηκών συνθετικής κίνησης, και το Scene Designer, που επιτρέπει στους χρήστες να στήσουν ένα σκηνικό τοποθετώντας τα αντικείμενα και να οπτικοποιήσουν ακολουθίες από ενέργειες των πρακτόρων.

Η διαδικασία χρήσης του SimHuman για την κατασκευή ενός αλληλεπιδραστικού τρισδιάστατου περιβάλλοντος ως τμήματος μιας ευρύτερης εφαρμογής αποτελείται από τέσσερα στάδια (εικόνα 5.1). Πρώτα από όλα, ο χρήστης θα πρέπει να ορίσει τη γεωμετρία των αντικειμένων και των πρακτόρων που θα αποτελέσουν τον κόσμο. Στη συνέχεια, θα χρειαστεί μια πιο λεπτομερής περιγραφή των εικονικών πρακτόρων, συγκεκριμένα η ιεραρχία του σκελετού με τα όρια των αρθρώσεων καθώς και μια βιβλιοθήκη συνθετικής κίνησης, που περιέχει τις προαποφασισμένες κινήσεις που μπορούν να εκτελέσουν οι πράκτορες. Μετά από αυτό το στάδιο ο χρήστης θα πρέπει να σχεδιάσει το σκηνικό, δηλαδή να ορίσει το πώς θα είναι αρχικά διατεταγμένα στο χώρο τα αντικείμενα και οι πράκτορες. Οι βοηθητικές εφαρμογές Agent Designer και Scene Designer μπορούν να βοηθήσουν το χρήστη στην κατασκευή του σκελετού του πράκτορα και της βιβλιοθήκης συνθετικών κινήσεων, καθώς και στην αρχική τοποθέτηση των αντικειμένων και τον ορισμό των επιμέρους ρυθμίσεων του τρισδιάστατου περιβάλλοντος.





Εικόνα 5.1: Τα στάδια ανάπτυξης μιας εφαρμογής με την πλατφόρμα SimHuman

Το τελικό στάδιο είναι η κατασκευή εφαρμογής με τη χρήση της βιβλιοθήκης SimHuman. Το βασικό τμήμα της βιβλιοθήκης είναι η μηχανή SimHuman, μια γενική μηχανή που συντονίζει τις ενέργειες των συνθετικών χαρακτήρων και κινεί τον εικονικό κόσμο. Ο χρήστης θα πρέπει να ορίσει το πώς θα συμπεριφερθούν οι πράκτορες στο τρισδιάστατο περιβάλλον και πώς θα μεταβάλλεται ο κόσμος στη διάρκεια του χρόνου. Οι συμπεριφορές αυτές καθορίζονται στη μηχανή ως συναρτήσεις επανάκλησης (callback).

Στη συνέχεια θα περιγραφεί με μεγαλύτερη ακρίβεια ο τρόπος χρήσης της βιβλιοθήκης και των βοηθητικών προγραμμάτων για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη εφαρμογής με εικονικούς πράκτορες.

### 5.2.1 Γεωμετρία αντικειμένων

Στη βιβλιοθήκη SimHuman όλα τα αντικείμενα του σκηνικού συμπεριλαμβανομένων και των σωμάτων των πρακτόρων αναπαρίστανται ως συλλογές τρισδιάστατων πολυγώνων και δε βασίζονται σε προκαθορισμένα μοντέλα, αλλά η γεωμετρία τους φορτώνεται από αρχεία του δίσκου. Κατά συνέπεια, τα γεωμετρικά μοντέλα για τα αντικείμενα που θα συνθέσουν το σκηνικό μπορούν να εισαχθούν από εμπορικά προγράμματα τρισδιάστατης μοντελοποίησης, όπως το 3D Studio Max. Ο μοναδικός περιορισμός που υπάρχει είναι τα αρχεία αυτά να είναι σε μορφή VRML97. Η γλώσσα VRML μπορεί να μην είναι τόσο δημοφιλής όσο ήταν πριν από μερικά χρόνια, αλλά εξακολουθεί να είναι το μοναδικό πρότυπο απεικόνισης τρισδιάστατων σκηνών και μπορεί κάποιος να βρει πολλά ελεύθερα μοντέλα αντικειμένων σε μορφή VRML στο Διαδίκτυο. Πολλά εμπορικά προγράμματα, όπως το 3D Studio Max, έχουν τη δυνατότητα να εξαγάγουν αρχεία VRML97, ενώ υπάρχουν και πολλές βοηθητικές εφαρμογές (όπως π.χ. το 3D Exploration) που μπορούν να μετατρέψουν οποιαδήποτε δημοφιλή μορφή τρισδιάστατων αντικειμένων σε μορφή VRML97.

### 5.2.2 Γεωμετρία χαρακτήρα και κίνηση

Οι εικονικοί πράκτορες μπορούν κι αυτοί να φορτώνονται δυναμικά από το δίσκο και βασίζονται σε τρία διαφορετικά αρχεία για την αναπαράσταση του σώματος και την εκτέλεση των ενεργειών: ένα αρχείο γεωμετρίας, που αναπαριστά το σώμα του χαρακτήρα, ένα αρχείο σκελετού, που ορίζει τους βαθμούς ελευθερίας του, και μια βιβλιοθήκη συνθετικών κινήσεων, που περιέχει τις προεπιλεγμένες κινήσεις του.

### 5.2.3 Αρχείο γεωμετρίας

Το μοντέλο γεωμετρίας του χαρακτήρα μπορεί να εισαχθεί απευθείας από το Curiouslabs Poser, ένα εμπορικό πρόγραμμα για τη μοντελοποίηση, ορισμό στάσεων και συνθετική κίνηση ανθρώπινων μοντέλων και άλλων χαρακτήρων. Εναλλακτικά, μπορεί να κατασκευαστεί σε οποιοδήποτε πρόγραμμα τρισδιάστατης μοντελοποίησης, αρκεί να είναι σε μορφή VRML97 και τα επιμέρους τμήματα του

σώματός του που θα κινηθούν ανεξάρτητα να είναι χωρισμένα σε ξεχωριστά αντικείμενα που φέρουν μοναδικό όνομα.

#### 5.2.4 Αρχείο σκελετού

Το σώμα ενός συνθετικού χαρακτήρα θα μπορούσε να είναι μια μεγάλη συλλογή από πολύγωνα, αλλά στην περίπτωση αυτή θα ήταν ιδιαίτερα δύσκολο να κινηθεί. Εάν, για παράδειγμα, ένας εικονικός άνθρωπος πρέπει να υψώσει το χέρι του, το πρόγραμμα θα πρέπει να βρει τις κορυφές και τις ακμές που ανήκουν στο χέρι του και να περιστρέψει μόνο αυτές. Μια σαφώς καλύτερη προσέγγιση είναι να οριστεί το σώμα ως ένα σύνολο αρθρώσεων και τμημάτων, όπου κάθε τμήμα είναι το μέρος του σώματος που ενώνει δύο αρθρώσεις και η γεωμετρία του παραμένει αμετάβλητη καθ' όλη τη διάρκεια της συνθετικής κίνησης. Ο αριθμός των αρθρώσεων και τμημάτων που πρέπει να οριστούν στο σώμα του πράκτορα εξαρτάται από την εφαρμογή και την απαιτούμενη λεπτομέρεια στη συνθετική κίνηση. Το ίδιο ισχύει και για τους βαθμούς ελευθερίας σε κάθε άρθρωση. Οι άνθρωποι έχουν πάνω από διακόσιους βαθμούς ελευθερίας, αλλά μπορεί να παραχθεί αποδοτική συνθετική κίνηση με σημαντικά λιγότερους. Μια απλή συνθετική κίνηση βαδίσματος μπορεί να χρειαστεί λιγότερο από δώδεκα αρθρώσεις, ενώ ένας εικονικός άνθρωπος με ικανότητα να πιάνει αντικείμενα χρειάζεται πολλές επιπλέον αρθρώσεις για τα δάκτυλα του κάθε χεριού.

Στο SimHuman ένας εικονικός χαρακτήρας μπορεί να έχει αυθαίρετο αριθμό αρθρώσεων και τμημάτων και οποιοδήποτε δέντρο ιεραρχίας να τα συνδέει. Οι πληροφορίες αυτές αποθηκεύονται σε ένα συμπληρωματικό αρχείο που ονομάζεται αρχείο σκελετού και δίνει στο σχεδιαστή τη δυνατότητα να προσαρμόσει τα μοντέλα ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε εφαρμογής μεταβάλλοντας τη λεπτομέρεια της κίνησης.

Το αρχείο σκελετού έχει την παρακάτω δομή:

```
NODE όνομα κόμβου  
Center cx cy cz  
Max rx1 ry1 rz1  
Min rx2 ry2 rz2
```

```
NODE όνομα κόμβου
```

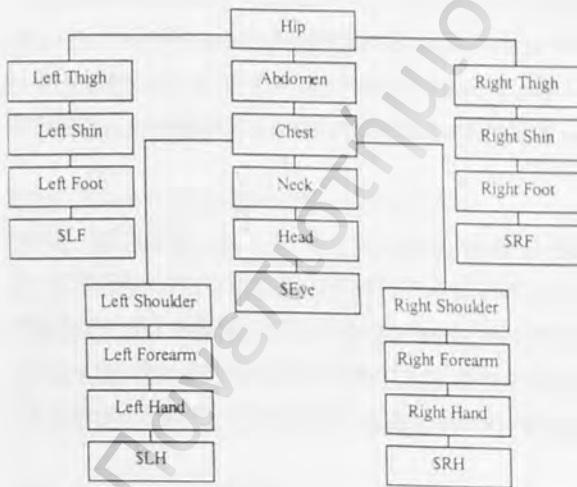


```

END
...
NODE όνομα κόμβου
...
END
...
END

```

Ο κάθε κόμβος του δέντρου έχει ένα μοναδικό όνομα (στην θέση της μεταβλητής *όνομα κόμβου*), το οποίο είναι το τμήμα του σώματος που ελέγχει. Το κέντρο περιστροφής του εκφρασμένο στις σφαιρικές συντεταγμένες του σώματος είναι  $(cx, cy, cz)$ , ενώ τα  $(rx1, ry1, rz1)$  και  $(rx2, ry2, rz2)$  περιλαμβάνουν τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές περιστροφής γύρω από τους άξονες  $x, y$  και  $z$  αντίστοιχα. Αυτά είναι και τα όρια της άρθρωσης. Οποιοδήποτε κόμβοι δηλώνονται με τον ίδιο τρόπο ανάμεσα στη δήλωση ενός κόμβου και στη λέξη-κλειδί END είναι απογονικοί κόμβοι στο δέντρο ιεραρχίας.



Εικόνα 5.2: Παράδειγμα ιεραρχίας σκελετού και η αντίστοιχη αναπαράσταση στο σώμα ενός πράκτορα

Η εικόνα 5.2 αναπαριστά ένα δέντρο ιεραρχίας και δείχνει ένα απλό γεωμετρικό μοντέλο ανθρώπου σε μορφή wireframe και το σκελετό του, όπως ορίζεται από το δέντρο αυτό. Οι κόκκινες σφαίρες είναι οι αρθρώσεις του σκελετού που μετασχηματίζουν τα τμήματα του σώματος, ενώ οι πράσινες σφαίρες είναι ψεύτικες

(dummy) αρθρώσεις, καθώς δεν προκαλούν κανέναν μετασχηματισμό στο ανθρώπινο σώμα. Οι ψεύτικες αρθρώσεις στα χέρια (\$RH, \$LH) και πόδια (\$RF, \$LF) μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως τελικά στοιχεία δράσης σε προβλήματα αντίστροφης κινηματικής, ώστε να υλοποιήσουν ενέργειες, όπως το πιάσιμο ενός αντικειμένου. Η ψεύτικη άρθρωση στο κεφάλι (\$EYE) είναι το «μάτι» του εικονικού ανθρώπου και χρησιμοποιείται για άποψη πρώτου προσώπου στην περίπτωση των ενσαρκώσεων ή ως θέση του αισθητήρα στην περίπτωση των εικονικών πρακτόρων.

### 5.2.5 Βιβλιοθήκη συνθετικών κινήσεων

Οι πράκτορες στο SimHuman έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν προκαθορισμένες ακολουθίες συνθετικών κινήσεων βασισμένες σε θέσεις-κλειδιά. Οι κινήσεις αυτές είναι αποθηκευμένες σε ένα ανεξάρτητο αρχείο, τη βιβλιοθήκη συνθετικών κινήσεων. Η μορφή του αρχείου είναι ως εξής:

**ANIM** όνομα συνθετικής κίνησης

όνομα τμήματος 1

όνομα τμήματος 2

...

**POSE** χρονική στιγμή

περιστροφή τμήματος 1

περιστροφή τμήματος 2

...

**POSE** χρονική στιγμή

περιστροφή τμήματος 1

περιστροφή τμήματος 2

...

**END** όνομα συνθετικής κίνησης

**ANIM** όνομα συνθετικής κίνησης

...

**END** όνομα συνθετικής κίνησης

...

Το αρχείο περιλαμβάνει έναν αριθμό από συνθετικές κινήσεις, οι οποίες δηλώνονται με τη λέξη-κλειδί **ANIM** ακολουθούμενη από το όνομά τους. Μετά τη δήλωση του ονόματος δηλώνονται τα τμήματα του σώματος, τα οποία χρησιμοποιούνται κατά τη συνθετική κίνηση. Τα τμήματα αυτά δηλώνονται είτε με το όνομά τους είτε με έναν αστερίσκο πριν το όνομά τους (Π.χ. \*Head). Στη δεύτερη περίπτωση δηλώνεται ότι

το συγκεκριμένο τμήμα του σώματος «κλειδώνεται» από τη συνθετική κίνηση, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε άλλη ενέργεια κατά την διάρκεια της κίνησης. Το χαρακτηριστικό αυτό έχει σημασία στις περιπτώσεις παραλληλίας ενεργειών, που θα συζητηθούν σε επόμενες παραγράφους. Τέλος, αντί για κάποιο από τα μέρη του σώματος του πράκτορα μπορεί να δηλωθεί η λέξη-κλειδί <global> (ή \*<global> στην περίπτωση κλειδώματος), που σημαίνει ότι η συγκεκριμένη συνθετική κίνηση μεταβάλλει τη σφαιρική θέση και προσανατολισμό του πράκτορα.

Στη συνέχεια δηλώνονται οι στάσεις του σώματος του πράκτορα, μεταξύ των οποίων θα γίνει γραμμική παρεμβολή για την παραγωγή της συνθετικής κίνησης. Κάθε στάση ξεκινάει με τη λέξη-κλειδί POSE και ακολουθείται από τη χρονική στιγμή σε δευτερόλεπτα κατά την οποία συμβαίνει. Η πρώτη στάση θα πρέπει οπωσδήποτε να έχει χρονική στιγμή μηδέν και, φυσικά, οι υπόλοιπες θα πρέπει να είναι διατεταγμένες με βάση τη χρονική τους στιγμή κατά αύξουσα σειρά. Η χρονική στιγμή της τελευταίας στάσης δηλώνει και τη διάρκεια της συνθετικής κίνησης.

Σε κάθε στάση δηλώνονται και οι περιστροφές όλων των μελών του σώματος που χρησιμοποιούνται με την αντίστοιχη σειρά που έχουν δηλωθεί τα ονόματά τους. Στην ειδική περίπτωση της σφαιρικής θέσης και προσανατολισμού (λέξη-κλειδί <global>) αντί για μία δηλώνονται δύο τιμές: πρώτα η σφαιρική μετατόπιση και στη συνέχεια η σφαιρική περιστροφή. Επιπλέον, οι δύο αυτές τιμές είναι σχετικές, δηλαδή προστίθενται στις τρέχουσες τιμές, ενώ αντίθετα όλες οι υπόλοιπες περιστροφές μελών του σώματος είναι απόλυτες. Αυτό σημαίνει ότι, εάν μια στάση προκαλεί σφαιρική μετατόπιση κατά  $(0, 0, 0.2)$  και με δεδομένο ότι η αρχική κατεύθυνση του πράκτορα είναι στο διάνυσμα  $(0, 0, 1)$ , τότε ανεξάρτητα από την τρέχουσα θέση και προσανατολισμό του θα μετατοπιστεί κατά 0.2 μονάδες προς τα εμπρός.

### 5.2.6 Ορισμός σκηنيού

Το βασικό αντικείμενο που χρησιμοποιεί η μηχανή SimHuman για την απεικόνιση και κίνηση του τρισδιάστατου κόσμου είναι το σκηνικό, δηλαδή η περιγραφή ενός τρισδιάστατου περιβάλλοντος με έναν αυθαίρετο αριθμό αντικειμένων και εικονικών ανθρώπων. Η σκηνή αυτή μπορεί να φορτωθεί από ένα αρχείο ορισμού σκηنيού, που περιγράφει τα αντικείμενα και τις ιδιότητές τους, ή να δημιουργηθεί δυναμικά κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του προγράμματος με τη δημιουργία νέων αντικειμένων σε



C++. Το αρχείο σκηνικού περιλαμβάνει το σύνολο των οντοτήτων του, που μπορούν να είναι είτε αντικείμενα είτε πράκτορες. Και στις δύο περιπτώσεις περιλαμβάνεται ένας αριθμός από πεδία τα οποία μπορούν να δηλωθούν με οποιαδήποτε σειρά ή να παρακαμφθούν, οπότε θα χρησιμοποιηθεί η εξορισμού τιμή τους. Τα πεδία των αντικειμένων με τις εξορισμού τιμές τους είναι τα παρακάτω:

```
Object όνομα_αντικειμένου {
  trans tx ty tz      0 0 0
  rot  rx ry rz      0 0 0
  scale sx sy sz     1 1 1
  geometry γεωμετρία -
  children {
    απογονικοί_κόμβοι {}
  }
  attr όνομα_τύπος_τιμή -
  attr όνομα_τύπος_τιμή -
  ...
}
```

Κάθε αντικείμενο δηλώνεται με τη λέξη-κλειδί Object και ακολουθείται από το μοναδικό όνομά του. Τα υπόλοιπα πεδία είναι τα παρακάτω:

- *trans*: η μετατόπιση του αντικειμένου κατά (tx, ty, tz) μονάδες στο χώρο
- *rot*: η περιστροφή του αντικειμένου κατά (rx, ry, rz) μοίρες γύρω από τους άξονες x, y και z αντίστοιχα.
- *scale*: μεγέθυνση / σμίκρυνση του αντικειμένου κατά (sx, sy, sz) μονάδες.
- *geometry*: γεωμετρία του αντικειμένου. Οι διαθέσιμες τιμές είναι box, sphere και mesh, και η δήλωσή τους θα περιγραφεί αναλυτικά στην συνέχεια. Δεν υπάρχει εξορισμού τιμή γεωμετρίας, καθώς το πεδίο είναι υποχρεωτικό.
- *children*: δηλώνονται οι απογονικές οντότητες (αντικείμενα ή πράκτορες), οι οποίες κληρονομούν τη θέση, τον προσανατολισμό και το μέγεθος του αντικειμένου.
- *attr*: δηλώνονται τα επιπλέον χαρακτηριστικά του κάθε αντικειμένου, τα οποία είναι χρήσιμα για την υλοποίηση ενεργειών των πρακτόρων πάνω σε αυτά. Κάθε χαρακτηριστικό δηλώνεται με ένα όνομα, τον τύπο δεδομένων του και την αρχική

τιμή του. Οι τύποι δεδομένων και ο χειρισμός των χαρακτηριστικών θα αναλυθούν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στο επόμενο κεφάλαιο.

Οι δηλώσεις των διαθέσιμων κόμβων γεωμετρίας με τις εξορισμού τιμές τους είναι οι παρακάτω:

```
Box {
  size sx sy sz      1 1 1
  color r g b        1 1 1
}
```

Δηλώνεται ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο με μέγεθος πλευρών (sx, sy, sz) και χρώμα (r, g, b) στα επίπεδα του κόκκινου, πράσινου και μπλε αντίστοιχα, με εύρος τιμών [0.0, 1.0]

```
Sphere {
  size sx sy sz      1 1 1
  color r g b        1 1 1
}
```

Δηλώνεται ένα ελλειψοειδές με μέγεθος (sx, sy, sz) και χρώμα (r, g, b). Στην ειδική περίπτωση που  $sx = sy = sz$  πρόκειται για σφαίρα με ακτίνα  $sx/2$ .

```
Mesh {
  fname όνομα αρχείου
}
```

Φορτώνεται ένα τρισδιάστατο αντικείμενο από αρχείο, το όνομα του οποίου δηλώνεται στο μοναδικό πεδίο fname.

Οι πράκτορες δηλώνονται με τη λέξη-κλειδί Agent και περιλαμβάνουν τα παρακάτω πεδία:

```
Agent όνομα πράκτορα {
  trans tx ty tz      0 0 0
  rot rx ry rz        0 0 0
  scale sx sy sz      1 1 1
  model αρχείο μοντέλου -
  skeleton αρχείο σκελετού -
  animlib βιβλιοθήκη συνθ. κινήσεων -
  initialPose συνθ. κίνηση αρ. στάσης -
  children {
```

```

        απογονικοί κόμβοι          {}
    }
    vision τύπος όρασης           direct
    attr όνομα τύπος τιμή         -
    attr όνομα τύπος τιμή         -
    ...
}

```

Όπως φαίνεται από τη δήλωση του πράκτορα, τα περισσότερα πεδία είναι κοινά με αυτά του αντικειμένου. Λείπει το πεδίο γεωμετρίας, καθώς όλοι οι πράκτορες έχουν ίδιου τύπου γεωμετρία, δηλαδή ένα μοντέλο σώματος και μια ιεραρχία σκελετού. Τα πεδία που έχουν προστεθεί σε σχέση με τη δήλωση του αντικειμένου είναι τα παρακάτω:

- *model*: το αρχείο που περιέχει το τρισδιάστατο μοντέλο του πράκτορα
- *skeleton*: το αρχείο σκελετού του πράκτορα που περιέχει την ιεραρχία αρθρώσεων
- *animlib*: το αρχείο βιβλιοθήκης συνθετικών κινήσεων
- *initialPose*: η αρχική στάση που θα έχει το σώμα του πράκτορα. Μπορεί να επιλεγεί μια στάση από τις διαθέσιμες συνθετικές κινήσεις της βιβλιοθήκης, η οποία δηλώνεται με το όνομα της συνθετικής κίνησης και τον αριθμό της στάσης, ξεκινώντας από το μηδέν.
- *vision*: ο τύπος όρασης του πράκτορα. Μπορεί να είναι είτε άμεσος (λέξη κλειδί *direct*), δηλαδή ο πράκτορας να μπορεί να διαβάζει απευθείας τις τιμές των χαρακτηριστικών του κόσμου, είτε έμμεσος (λέξη κλειδί *indirect*), δηλαδή να χρησιμοποιείται ένα μοντέλο όρασης, που επιστρέφει στον πράκτορα τα αντικείμενα που βρίσκονται στο πεδίο όρασής του.

Ο έμμεσος τύπος όρασης δηλώνεται με τον παρακάτω κόμβο:

```

indirect {
    eyePos px py pz           0 0 0
    eyeFront fx fy fz        0 0 1
    eyeUp ux uy uz           0 1 0
    dependency όνομα τμήματος -
    period περίοδος          1
}

```



`model` μοντέλο όρασης

}

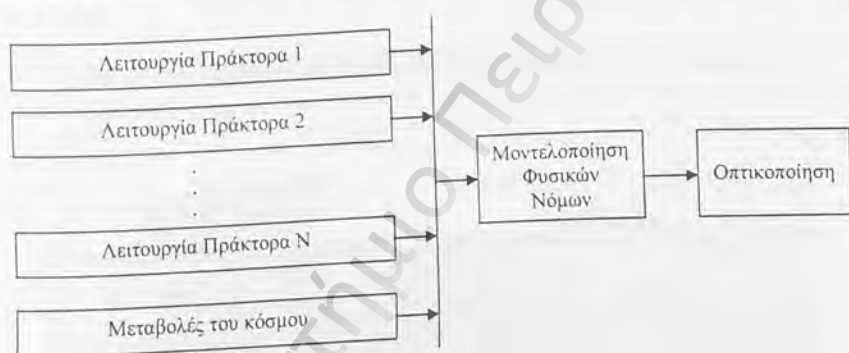
Τα πεδία του έμμεσου τύπου όρασης είναι τα παρακάτω:

- *eyePos*: η θέση του ματιού ( $px, py, pz$ ) στο χώρο
- *eyeFront*: το μπροστά διάνυσμα ( $fx, fy, fz$ ) του ματιού
- *eyeUp*: το πάνω διάνυσμα ( $ux, uy, uz$ ) του ματιού. Οι τιμές των *eyePos*, *eyeFront* και *eyeUp* χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό του πεδίου όρασης του πράκτορα.
- *dependency*: Εάν είναι επιθυμητό να ακολουθεί το μάτι του πράκτορα την κίνηση κάποιου τμήματος του σώματος (πχ του κεφαλιού) και όχι απλώς τη σφαιρική θέση και προσανατολισμό του πράκτορα, δηλώνεται το τμήμα εξάρτησης στο πεδίο *dependency*. Η μετατόπιση και περιστροφή του τμήματος αυτού σε συνδυασμό με τις τιμές των *eyePos*, *eyeFront* και *eyeUp* χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό του πεδίου όρασης του πράκτορα.
- *period*: Περίοδος εκτέλεσης της όρασης, δηλαδή κάθε πόσα χρονικά πλαίσια θα εκτελείται η διαδικασία.
- *model*: Μοντέλο εξομοίωσης της όρασης του πράκτορα. Τα διαθέσιμα μοντέλα είναι *image\_based*, δηλαδή προβολή του σκηνικού σε δισδιάστατη εικόνα και *raycasting*, δηλαδή αποστολή ακτίνων στο σκηνικό. Τα μοντέλα αυτά θα περιγραφούν με λεπτομέρεια σε επόμενη παράγραφο.

### 5.2.7 Χρήση της βιβλιοθήκης

Η βιβλιοθήκη *SimHuman* είναι μια βιβλιοθήκη C++, που μπορεί να συνδεθεί με μια ευρύτερη εφαρμογή και να προκαλέσει την απεικόνιση και κίνηση ενός αλληλεπιδραστικού εικονικού περιβάλλοντος με έναν ή περισσότερους εικονικούς πράκτορες. Η χρήση της βιβλιοθήκης αυτής σε μια εφαρμογή γίνεται με τον ορισμό του σκηνικού και τον καθορισμό γενικών ρυθμίσεων που αφορούν στην απεικόνιση, και στην συνέχεια με την αρχικοποίηση της μηχανής *SimHuman* χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες συναρτήσεις επανάκλησης (*callback*). Η αρχική διάταξη του σκηνικού μπορεί να καθοριστεί από αποθηκευμένο αρχείο ορισμού σκηνικού. Εναλλακτικά, η

βιβλιοθήκη επιτρέπει τη δυναμική κατασκευή ή καταστροφή αντικειμένων και πρακτόρων, έτσι ώστε μια εφαρμογή πιθανώς να επιτρέπει εισαγωγή αντικειμένων και αρχικοποίηση του σκηνικού αλληλεπιδραστικά από το χρήστη. Ένα άλλο θέμα που μπορεί να ελεγχτεί ο προγραμματιστής είναι, εάν ένα αντικείμενο (ή πράκτορας) θα λάβει μέρος στη διαδικασία μοντελοποίησης φυσικών νόμων και αναγνώρισης σύγκρουσης ή όχι. Αυτή η δυνατότητα υπάρχει κυρίως για λόγους απόδοσης, π.χ. στατικά αντικείμενα, όπως οι τοίχοι δεν αλλάζουν τη θέση τους στο χρόνο και έχουν συνεχώς μηδενική ταχύτητα, οπότε δεν υπάρχει ανάγκη να εφαρμοστεί βαρύτητα σε αυτά και να ελέγχεται η σύγκρουσή τους με το έδαφος. Από την άλλη μεριά, στα κινούμενα αντικείμενα του κόσμου πρέπει να επιδρά η βαρύτητα, ενώ είναι πιθανό να συγκρουστούν με άλλα κινούμενα ή στατικά αντικείμενα, και επομένως είναι αναγκαία η διαδικασία αναγνώριση σύγκρουσης.



Εικόνα 5.3: Λειτουργία της μηχανής SimHuman σε ένα χρονικό πλαίσιο

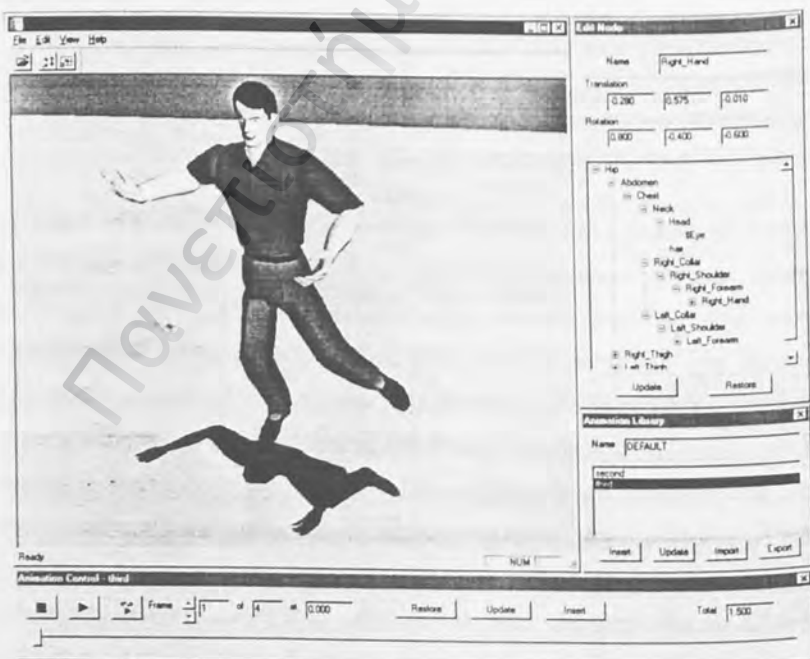
Η μηχανή SimHuman είναι υπεύθυνη για τη συνθετική κίνηση και απεικόνιση των εικονικών πρακτόρων και των άλλων αντικειμένων του περιβάλλοντος. Κατά τη διάρκεια κάθε χρονικού πλαισίου (timeframe) όλοι οι πράκτορες εκτελούν μια λειτουργία που βασίζεται στο προτεινόμενο μοντέλο (Αίσθηση – Αντίληψη – Απόφαση – Εκτέλεση έργου – Ενέργεια) και καταλήγει σε ένα σύνολο στοιχειωδών ενεργειών. Παράλληλα, ο κόσμος μεταβάλλει τα αντικείμενα με βάση τους γενικούς νόμους που υπάρχουν στο περιβάλλον. Μετά από τις αλλαγές αυτές στις ιδιότητες των αντικειμένων η μηχανή μοντελοποίησης φυσικών νόμων εφαρμόζει τους νόμους της φυσικής στα αντικείμενα και εκτελεί τις ενέργειες των πρακτόρων, ελέγχοντας παράλληλα για πιθανές συγκρούσεις. Η διαδικασία αυτή μπορεί να αλλάξει ορισμένες γεωμετρικές ιδιότητες των αντικειμένων του κόσμου, οι οποίες θα γίνουν αντιληπτές

στους πράκτορες στο επόμενο χρονικό πλαίσιο. Χρησιμοποιώντας τις τελικές θέσεις και προσανατολισμούς των αντικειμένων το τμήμα οπτικοποίησης απεικονίζει την εικόνα στην οθόνη. Η διαδικασία αυτή που λαμβάνει χώρα στη μηχανή SimHuman κατά τη διάρκεια ενός χρονικού πλαισίου απεικονίζεται στην εικόνα 5.3:

Η μηχανή χρησιμοποιεί διαδικασίες για την αίσθηση, απόφαση και ενέργεια αλλά δυστυχώς ο τρόπος με τον οποίο ο πράκτορας θα αντιδράσει στο περιβάλλον εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εφαρμογή. Για το λόγο αυτό, ο χρήστης θα πρέπει να ορίσει συναρτήσεις επανάκλησης, που θα καθορίσουν τον τρόπο, με τον οποίο ο κάθε πράκτορας θα «συμπεριφερθεί» με βάση την τρέχουσα κατάσταση του κόσμου.

### 5.2.8 Βοηθητικές Εφαρμογές

Η βιβλιοθήκη SimHuman συνοδεύεται από δύο επιπλέον βοηθητικά προγράμματα για την κατασκευή, αναπαράσταση και έλεγχο τρισδιάστατων σκηνικών και πρακτόρων και βοηθάνε τον προγραμματιστή στο σχεδιασμό και την αποσφαλμάτωση εφαρμογών βασισμένων στο SimHuman.



Εικόνα 5.3: Στιγμιότυπο της εφαρμογής Agent Designer



Η πρώτη εφαρμογή είναι το Agent Designer (εικόνα 5.3), ένα πρόγραμμα για την κατασκευή του σκελετού και τη δημιουργία βιβλιοθηκών συνθετικών κινήσεων για εικονικούς πράκτορες. Έχει τη δυνατότητα να φορτώνει και να αναπαριστά μοντέλα πρακτόρων, καθώς και να οπτικοποιεί το σκελετό τους, ενώ ο χρήστης μπορεί να περιστρέφει την κάμερα και να εστιάζει σε διάφορα σημεία, ώστε να μπορεί να εξετάσει το μοντέλο από διαφορετικές απόψεις. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει κάποιο τμήμα του σώματος και να το περιστρέψει σε οποιαδήποτε κατεύθυνση, ώστε να ελέγξει και να αναπροσαρμόσει τα όρια των αρθρώσεων και τα κέντρα περιστροφής τους. Μπορεί επίσης να μεταβάλει τη θέση μιας άρθρωσης στην ιεραρχία του σκελετού με τη χρήση drag & drop σε παράθυρο της εφαρμογής, που απεικονίζει το σκελετό με μορφή δέντρου. Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να κατασκευαστεί το κατάλληλο αρχείο σκελετού ή να προσαρμοστεί κάποιο υπάρχον στις ανάγκες μιας εφαρμογής.



Εικόνα 5.4: Στιγμιότυπο της εφαρμογής Scene Designer

Η εφαρμογή πολλαπλών περιστροφών στις αρθρώσεις του πράκτορα δημιουργεί μια στάση σώματος, την οποία ο χρήστης μπορεί να αποθηκεύσει σε αρχείο κειμένου.

Επιπλέον, μπορεί να οριστεί ή να φορτωθεί μια ακολουθία τέτοιων στάσεων και να δημιουργηθεί συνθετική κίνηση βασισμένη σε θέσεις-κλειδιά. Το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα εκτέλεσης και προσαρμογής τέτοιων συνθετικών κινήσεων, καθώς και αποθήκευσής τους σε βιβλιοθήκη, η οποία στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το SimHuman για τις ενέργειες του πράκτορα.

Το άλλο πρόγραμμα είναι το Scene Designer, μια εφαρμογή φτιαγμένη για το σχεδιασμό και την οπτικοποίηση τρισδιάστατων σκηνικών. Ο χρήστης μπορεί να φορτώσει και να εξερευνήσει οποιοδήποτε τρισδιάστατο σκηνικό από αρχείο ορισμού σκηνικού, καθώς και να τροποποιήσει με ευκολία τις θέσεις και περιστροφές των αντικειμένων. Ακόμα, μπορεί να επιλέξει κάποιον από τους πράκτορες και να τον χειριστεί ως ενσάρκωση, δοκιμάζοντας με αυτόν τον τρόπο το βάδισμά του και την ακρίβεια σύγκρουσής του με τα αντικείμενα. Το πρόγραμμα μπορεί επίσης να οπτικοποιήσει τα μοντέλα αίσθησης εμφανίζοντας τις ακτίνες ή την εικόνα του κόσμου που παράγει ο πράκτορας, βοηθώντας κατ' αυτό τον τρόπο το σχεδιαστή να ρυθμίσει τη λειτουργία του περιβάλλοντος στις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής. Το πιο σημαντικό προσόν του προγράμματος είναι ότι μπορεί να εκτελέσει μια ακολουθία ενεργειών σε κάθε έναν από τους πράκτορες, επιτρέποντας στο χρήστη να πειραματιστεί με ενέργειες ή συνδυασμούς ενεργειών σε διαφορετικά περιβάλλοντα.

Με τη χρήση των δύο αυτών εργαλείων μπορεί ο σχεδιαστής να τροποποιήσει τα μοντέλα των πρακτόρων αλλά και του σκηνικού και να παράγει όλα τα απαραίτητα αρχεία εισόδου που θα χρησιμοποιηθούν από τη βιβλιοθήκη SimHuman.

### 5.3 Το μοντέλο του περιβάλλοντος

Στα εικονικά περιβάλλοντα γενικότερα υπάρχουν δύο μοντέλα για τον υπολογισμό της συνθετικής κίνησης των αντικειμένων: το *κινηματικό* (kinematic) και το *δυναμικό* (dynamic). Στο κινηματικό μοντέλο η συνθετική κίνηση προκαλείται από απευθείας μετατοπίσεις και περιστροφές των αντικειμένων. Το περιβάλλον φροντίζει σε αυτή την περίπτωση να παρεμβάλλει ομαλά μια ακολουθία ενδιάμεσων θέσεων μεταξύ της αρχικής και της τελικής, ώστε να φαίνεται πιο φυσική η κίνηση. Αντίθετα, στο δυναμικό μοντέλο δεν επιτρέπονται απευθείας μετακινήσεις αντικειμένων, αλλά η κίνηση προκαλείται με ανάθεση δυνάμεων στα αντικείμενα και υπολογισμό της μετακίνησής τους με βάση τους φυσικούς νόμους. Συνεπώς η χρήση του είναι προτιμότερη σε συστήματα προσομοίωσης, καθώς η κίνηση των αντικειμένων έχει

μεγαλύτερη ακρίβεια, αλλά και αληθοφάνεια. Το μεγάλο μειονέκτημα όμως του δυναμικού μοντέλου είναι η δυσκολία ελέγχου της συμπεριφοράς των αντικειμένων και ιδιαίτερα σε πολύπλοκες δομές, όπως οι εικονικοί άνθρωποι. Πράγματι, ακόμα και το απλό βάδισμα ενός εικονικού ανθρώπου σε ένα λεπτομερές περιβάλλον προσομοίωσης παρουσιάζει προβλήματα αντίστοιχα με αυτά που εμφανίζονται στην περίπτωση βαδίσματος ανθρωποειδών ρομπότ στον πραγματικό κόσμο. Από την άλλη μεριά, ακόμη και αν αντιμετωπιστεί με επιτυχία ο έλεγχος των βασικών ενεργειών ενός χαρακτήρα, θα είναι τέτοια η υπολογιστική ισχύς που θα απαιτείται για την κίνησή τους, που δε θα επιτρέπει τη συνύπαρξη πολλών εικονικών ανθρώπων ούτε την ενίσχυση των γνωσιακών χαρακτηριστικών τους με υψηλότερου επιπέδου συμπεριφορά.

Για όλους τους παραπάνω λόγους, η πλατφόρμα SimHuman ακολουθεί ένα υβριδικό μοντέλο συνθετικής κίνησης, επιτρέποντας τόσο τη δυναμική όσο και την κινηματική μεταχείριση των αντικειμένων. Ενώ λοιπόν οι ενέργειες των πρακτόρων καταλήγουν σε απευθείας μετατοπίσεις και περιστροφές μελών του σώματος, υπάρχει και μια ενσωματωμένη μηχανή μοντελοποίησης φυσικών νόμων, στην οποία μπορούν προαιρετικά να συμμετέχουν οι οντότητες που θα επιλέξει ο σχεδιαστής. Κατά συνέπεια, η προσέγγιση αυτή αφενός διευκολύνει τις διαδικασίες ελέγχου και αφήνει ελεύθερο υπολογιστικό χρόνο για τις γνωσιακές ικανότητες των πρακτόρων, αφετέρου δίνει τη δυνατότητα ενίσχυσης του ρεαλισμού του εικονικού περιβάλλοντος με αντικείμενα που υπακούουν στους νόμους της βαρύτητας και της κινηματικής γενικότερα. Σε όλες τις περιπτώσεις, ο μηχανισμός αναγνώρισης σύγκρουσης μπορεί να αποτρέψει 'αφύσικες' καταστάσεις, όπου η γεωμετρία ενός αντικειμένου διαπερνά αυτή ενός άλλου.

### 5.3.1 Στοιχειώδεις Ενέργειες

Οι στοιχειώδεις ενέργειες που μπορεί να εκτελέσει ένας πράκτορας στον κόσμο είναι οι παρακάτω:

- *μετατόπιση*, TR e ( $t_x, t_y, t_z$ ): Μετατοπίζεται η θέση μιας οντότητας e στο χώρο κατά  $t_x$  στον άξονα X,  $t_y$  στον άξονα Y και  $t_z$  στον άξονα Z.



- *περιστροφή*, ROT  $e$  ( $rx$ ,  $ry$ ,  $rz$ ): Περιστρέφεται η οντότητα  $e$  κατά  $rx$  μοίρες γύρω από τον άξονα  $X$ ,  $ry$  μοίρες γύρω από τον άξονα  $Y$  και  $rz$  μοίρες γύρω από τον άξονα  $z$
- *προσθήκη υπο-οντότητας*, ATT  $e_1$   $e_2$ : Η οντότητα  $e_1$  γίνεται υπο-οντότητα της  $e_2$
- *αφαίρεση υπο-οντότητας*, DET  $e$ : Η οντότητα  $e$  παύει να είναι υπο-οντότητα και μετατρέπεται σε αυτόνομη οντότητα
- *εισαγωγή οντότητας*, INS  $e$ : Εισάγεται η οντότητα  $e$  στον κόσμο. Θα πρέπει να έχει ήδη φορτωθεί στη μνήμη από το αρχείο σκημικού
- *αντιγραφή οντότητας*, CP  $e$   $str$ : Εισάγεται αντίγραφο της οντότητας  $e$  στον κόσμο με όνομα  $str$
- *διαγραφή οντότητας*, DEL  $e$ : Η οντότητα  $e$  παύει να είναι μέρος του κόσμου, χωρίς όμως να διαγράφεται από τη μνήμη
- *αποστολή μηνύματος*, MSG  $e$   $msg$ : Αποστέλλεται το μήνυμα  $msg$  στην οντότητα  $e$

Οι πιο σημαντικές και συχνότερα χρησιμοποιούμενες στοιχειώδεις ενέργειες είναι αυτές της μετατόπισης και περιστροφής, καθώς όλες οι συνθετικές κινήσεις των πρακτόρων αναλύονται σε τέτοιες. Η δυνατότητα προσθήκης και αφαίρεσης υπο-οντοτήτων είναι χρήσιμη σε ενέργειες, όπως το πιάσιμο ενός αντικειμένου από έναν πράκτορα, όπου το αντικείμενο γίνεται υπο-οντότητα του χεριού του, ώστε να ακολουθεί την κίνησή του. Οι στοιχειώδεις ενέργειες εισαγωγής, αντιγραφής και διαγραφής οντοτήτων χρησιμοποιούνται σε ειδικές περιπτώσεις που απαιτείται εμφάνιση ή εξαφάνιση αντικειμένων, όπως για παράδειγμα εξαγωγή αντικειμένου από χώρο αποθήκευσης ή τοποθέτησή του σε αυτόν. Τέλος τα μηνύματα χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία και το συντονισμό των ενεργειών πολλαπλών πρακτόρων.

### 5.3.2 Μοντελοποίηση φυσικών νόμων

Όπως φάνηκε παραπάνω, οι στοιχειώδεις ενέργειες των πρακτόρων λειτουργούν σε κινηματικό επίπεδο. Παρόλα αυτά, ο προγραμματιστής έχει τη δυνατότητα να αξιοποιήσει τον ενσωματωμένο μηχανισμό μοντελοποίησης φυσικών νόμων για

ορισμένα από τα αντικείμενά του κόσμου. Εφόσον ένα αντικείμενο συμμετέχει σε αυτήν την διαδικασία, δέχεται αυτόματα τη δύναμη της βαρύτητας καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Παρόλα αυτά, ο προγραμματιστής μπορεί να ορίσει επιπλέον δυνάμεις σε ένα σώμα, σταθερές ή μεταβαλλόμενες, ώστε να μοντελοποιηθούν και αντικείμενα με δυνατότητες ανεξάρτητης κίνησης, όπως π.χ. ένα αυτοκίνητο.

Η προσομοίωση των φυσικών νόμων γίνεται σε διακριτά χρονικά πλαίσια, στα οποία κάθε αντικείμενο έχει την δική του μάζα, θέση και ταχύτητα. Στο τέλος κάθε διαστήματος υπολογίζονται οι νέες θέσεις και ταχύτητες των αντικειμένων με βάση τους νόμους της κινηματικής και της κρούσης. Για την αναγνώριση σύγκρουσης χρησιμοποιούνται οι περιβάλλοντες όγκοι των οντοτήτων, που υπολογίζονται αυτόματα κατά τη φόρτωση του σκηνικού.

Η διαδικασία μοντελοποίησης φυσικών νόμων και αναγνώρισης σύγκρουσης για κάθε χρονικό πλαίσιο είναι η παρακάτω:

Για κάθε αντικείμενο:

1. Υπολόγισε την συνολική δύναμη  $F$  που εφαρμόζεται σε αυτό. Αυτή θα προκαλέσει επιτάχυνση  $a$ , έτσι ώστε  $F = m \cdot a$ . Υπολόγισε την τιμή του  $a$
2. Η τελική ταχύτητα  $v$  του αντικειμένου θα είναι:  $v = v_0 + a \cdot dt$ , όπου  $v_0$  η τρέχουσα ταχύτητα και  $dt$  η διάρκεια του χρονικού πλαισίου
3. Η τελική θέση του αντικειμένου  $p$  υπολογίζεται θεωρώντας ότι κατά τη διάρκεια του χρονικού πλαισίου το αντικείμενο κινούνταν με σταθερή ταχύτητα, δηλαδή με τη μέση ταχύτητα μεταξύ της αρχικής και τελικής του ταχύτητας. Έτσι, αν  $p_0$  η αρχική θέση, η τελική υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$p = p_0 + 0.5 \cdot (v + v_0) \cdot dt$$

4. Έλεγξε αν το αντικείμενο συγκρούεται με κάποιο άλλο αντικείμενο του σκηνικού. Εάν όχι, κάνε την τρέχουσα θέση του αντικειμένου ίση με  $p$  και την τρέχουσα ταχύτητα ίση με  $v$  και προχώρησε στο επόμενο αντικείμενο

5. Αλλιώς: Θεώρησε ότι το άλλο αντικείμενο δεν κινούνταν κατά τη διάρκεια του  $dt$  και βρες τη θέση  $\mathbf{p}_c$  του αντικειμένου, όταν ξεκίνησε η κρούση, δηλαδή όταν οι επιφάνειες των δύο αντικειμένων εφάπτονται. Υπολόγισε τη σχέση  $\lambda$  μεταξύ της θέσης κρούσης και της τρέχουσας θέσης, ώστε να προσεγγιστεί η χρονική στιγμή της κρούσης και η ταχύτητα του αντικειμένου εκείνη τη στιγμή

$$\lambda = \frac{|\mathbf{p}_c - \mathbf{p}_0|}{|\mathbf{p} - \mathbf{p}_0|}, 0 < \lambda \leq 1 \quad \mathbf{v}_c = \lambda \cdot \mathbf{v} \quad dt_c = \lambda \cdot dt$$

6. Υπολόγισε την ταχύτητα ανάκλασης  $\mathbf{v}_r$  και τοποθέτησε την τιμή της στην τρέχουσα ταχύτητα του αντικειμένου. Τοποθέτησε την τιμή του  $\mathbf{p}_c$  στην τρέχουσα θέση και επανέλαβε τη διαδικασία (πήγαινε στο βήμα 1) για το υπόλοιπο χρονικό διάστημα  $dt - dt_c$

## 5.4 Το μοντέλο του πράκτορα

Η λειτουργία των πρακτόρων της πλατφόρμας στηρίζεται στην αρχιτεκτονική που περιγράφηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 4. Υπάρχουν έτοιμες διαδικασίες για την ενέργεια και την αίσθηση, ενώ τα τμήματα αντίληψης, εκτέλεσης έργου και απόφασης του πράκτορα προγραμματίζονται από το σχεδιαστή, καθώς εξαρτώνται άμεσα από την εφαρμογή. Στη συνέχεια θα περιγραφούν με λεπτομέρεια η μοντελοποίηση του σώματος των πρακτόρων, οι ενέργειες που μπορούν να εκτελούν και τα διαθέσιμα μοντέλα αίσθησης που υποστηρίζονται. Ο τρόπος προγραμματισμού των κανόνων αντίληψης και ορισμού των εκτελέσιμων έργων γίνεται με τη γλώσσα SLaVE, που θα περιγραφεί αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο. Αντίθετα, η λειτουργία της απόφασης του πράκτορα καθορίζεται μέσω συνάρτησης επανάκλησης, ώστε να είναι δυνατή η αξιοποίηση υπάρχοντων τμημάτων κώδικα και η διασύνδεση του συστήματος με άλλες γλώσσες προγραμματισμού, όπως η Prolog.

### 5.4.1 Μοντελοποίηση του σώματος

Το σώμα του πράκτορα στο SimHuman αναπαρίσταται ως ένα σύνολο από πολύγωνα στο χώρο. Κάθε μέρος του σώματος αποτελεί ένα ξεχωριστό πλέγμα (mesh), δηλαδή πολύγωνα συνδεδεμένα με κοινές ακμές, το οποίο μετατοπίζεται και περιστρέφεται κατά τη διάρκεια των ενεργειών του πράκτορα. Οι κορυφές του πλέγματος διατηρούν το δικό τους κανονικό διάνυσμα, που είναι το κάθετο διάνυσμα προς την επιφάνεια του πλέγματος στο σημείο αυτό, επιτρέποντας έτσι τη ρεαλιστική φωτοσκίαση



καμπύλων επιφανειών με τη μέθοδο Goureaud, λειτουργία που υποστηρίζεται από τη βιβλιοθήκη OpenGL. Παρόλο που το σώμα φορτώνεται «κομμένο» σε ένα σύνολο από ανεξάρτητα πλέγματα, η πληροφορία αυτή δεν είναι αρκετή για τη σωστή κίνησή τους. Απαιτείται και ο σκελετός του σώματος, που θα ορίσει τον τρόπο με τον οποίο μετατοπίζονται και περιστρέφονται αυτά τα τμήματα. Ο σκελετός περιλαμβάνει τις παρακάτω πληροφορίες:

- *Ιεραρχία αρθρώσεων*: Η δενδρική δομή που ενώνει τις αρθρώσεις. Με τη δομή αυτή μπορεί κάποιος να ορίσει τις αρθρώσεις και τα τμήματα που πρόκειται να επηρεαστούν, εάν μια άρθρωση προκαλέσει περιστροφή. Για παράδειγμα, η ανύψωση του χεριού επηρεάζει τη θέση του καρπού και της παλάμης.
- *Οι θέσεις των αρθρώσεων*: Οι αρθρώσεις έχουν ένα μέγιστο τριών βαθμών ελευθερίας και επιτρέπουν μόνο περιστροφές. Για το λόγο αυτό κάθε άρθρωση έχει σταθερή θέση, που είναι και το κέντρο περιστροφής για όλα τα απογονικά τμήματα στη δενδρική δομή.
- *Τα όρια των αρθρώσεων*: Οι εικονικοί πράκτορες δε θα πρέπει να περιστρέφουν αυθαίρετα τα μέλη του προς όλες τις κατευθύνσεις, γιατί κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε αφύσικες κινήσεις. Κάθε άρθρωση μπορεί να έχει συγκεκριμένα όρια, τα οποία ορίζονται με έξι αριθμούς: την ελάχιστη και μέγιστη γωνία περιστροφής ανά βαθμό ελευθερίας.

Οι πράκτορες μπορούν να έχουν έναν αυθαίρετο αριθμό από αρθρώσεις και κάθε πθηνό δέντρο ιεραρχίας να τις συνδέει. Αυτό δίνει στο σχεδιαστή τη δυνατότητα να φορτώσει οποιοδήποτε δυνατό μοντέλο και να το προσαρμόσει στις ανάγκες διαφορετικών εφαρμογών με τον επιθυμητό βαθμό λεπτομέρειας.

Όταν φορτώνεται το μοντέλο του σώματος, όλες οι γωνίες των αρθρώσεων είναι μηδενικές. Η θέση αυτή είναι η αρχική στάση του σώματος και οι μετασχηματισμοί εφαρμόζονται πάνω σε αυτήν. Παρόλο που τίποτα δεν εμποδίζει ένα μοντέλο να έχει μια αυθαίρετη αρχική στάση, η υιοθέτηση κοινής αρχικής στάσης ευνοεί την επαναχρησιμοποίηση των αποθηκευμένων στάσεων του σώματος και συνθετικών κινήσεων σε παραπλήσια μοντέλα. Για το λόγο αυτό είναι προτιμότερο όλα τα μοντέλα να έχουν σχεδιαστεί με την ίδια αρχική στάση, εάν πρόκειται να χρησιμοποιήσουν κοινή βιβλιοθήκη συνθετικών κινήσεων. Στην εικόνα 5.5

απεικονίζεται ένα μοντέλο που έχει εξαχθεί από το πρόγραμμα Poser και βρίσκεται στην αρχική στάση που έχει οριστεί στο πρόγραμμα αυτό.



Εικόνα 5.5: Η αρχική στάση σώματος του πράκτορα όπως ορίζεται στο πρόγραμμα Poser

Η εφαρμογή περιστροφών στα μέρη του σώματος γίνεται με τη χρήση πινάκων μετασχηματισμού. Οι πίνακες αυτοί είναι τύπου  $(4 \times 4)$  και μπορούν να ορίσουν μια μετατόπιση και μια περιστροφή σε ένα διάνυσμα. Κάθε φορά που ένα τμήμα περιστρέφεται, οι κορυφές του και τα κανονικά διανύσματά τους πολλαπλασιάζονται με έναν πίνακα  $(4 \times 4)$ . Ο μοναδικός αυτός πίνακας θα είναι το γινόμενο από όλους τους πίνακες μετασχηματισμού που θα πρέπει να εφαρμοστούν στον τομέα. Για παράδειγμα, εάν το τμήμα  $S_i$  πρέπει να περιστραφεί γύρω από την άρθρωση  $J_i$ , οι κορυφές και τα κανονικά διανύσματά θα πολλαπλασιαστούν με τον πίνακα  $M$ , όπου:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -px_i \\ 0 & 1 & 0 & -py_i \\ 0 & 0 & 1 & -pz_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} R_x R_y R_z \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & px_i \\ 0 & 1 & 0 & py_i \\ 0 & 0 & 1 & pz_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Όπου  $(px_i, py_i, pz_i)$  η θέση της άρθρωσης (κέντρο περιστροφής) και  $R_x, R_y, R_z$  τρεις πίνακες περιστροφής γύρω από τους άξονες  $x, y$  και  $z$  αντίστοιχα. Ο γενικός πίνακας περιστροφής γύρω από έναν άξονα ορίζεται ως εξής:

$$\begin{bmatrix} ka_x^2 + c & ka_x a_y - sa_z & ka_x a_z + sa_y \\ ka_x a_y + sa_z & ka_y^2 + c & ka_y a_z - sa_x \\ ka_x a_z - sa_y & ka_y a_z + sa_x & ka_z^2 + c \end{bmatrix},$$

όπου  $[ a_x, a_y, a_z ]$  είναι το μοναδιαίο διάνυσμα που ορίζει τον άξονα,  $\theta$  η γωνία περιστροφής και  $c = \cos\theta$ ,  $s = \sin\theta$ , και  $k = (1 - \cos\theta)$ . Ο πίνακας περιστροφής μπορεί να μετατραπεί σε μορφή  $4 \times 4$  με την εξής μορφή:

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{21} & r_{31} & 0 \\ r_{12} & r_{22} & r_{32} & 0 \\ r_{13} & r_{23} & r_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ όπου } \begin{bmatrix} r_{11} & r_{21} & r_{31} \\ r_{12} & r_{22} & r_{32} \\ r_{13} & r_{23} & r_{33} \end{bmatrix} \text{ ο πίνακας περιστροφής } \mathbf{R}.$$

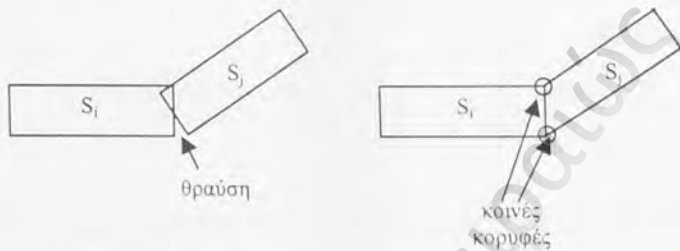
Για κάθε άρθρωση  $J_i$  κάποιος μπορεί να βρει τον αντίστοιχο τοπικό πίνακα μετασχηματισμού  $M_i$  και να τον εφαρμόσει σε όλα τα απογονικά τμήματα. Οι τελικές συντεταγμένες του κάθε τμήματος εξαρτώνται από τους μετασχηματισμούς όλων των προηγούμενων αρθρώσεων. Ο τελικός μετασχηματισμός καθορίζεται από έναν μοναδικό  $4 \times 4$  πίνακα, που είναι το γινόμενο όλων των αντίστοιχων πινάκων στο μονοπάτι του δέντρου από την κορυφή ως το τρέχον τμήμα.

Ας υποθέσουμε ότι τα τμήματα  $S_i$  και  $S_k$  συνδέονται μέσω της άρθρωσης  $J_k$ . Εάν γίνει μια περιστροφή γύρω από την  $J_k$ , το  $S_k$  θα περιστραφεί, αλλά το  $S_i$  όχι. Αυτό θα προκαλέσει διασπάσεις γύρω από την άρθρωση. Υπάρχουν πολλοί τρόποι για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό, και ο πιο απλός είναι να υπάρχουν σταθερά γεωμετρικά αντικείμενα (συνήθως σφαίρες) στη θέση των αρθρώσεων. Το βασικό μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι το γεγονός ότι τα αντικείμενα αυτά συνήθως δεν ταιριάζουν επακριβώς με τη γεωμετρία του μοντέλου, παραμορφώνοντας έτσι την εμφάνισή του. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι οι σφαίρες αυτές προσθέτουν πολλά παραπάνω πολύγωνα στο σκηνικό μειώνοντας έτσι την απόδοση. Από την άλλη μεριά, δε θα ήταν βολικό να χρησιμοποιηθούν πιο εξειδικευμένοι αλγόριθμοι, όπως τα περιγράμματα δέρματος, γιατί κάτι τέτοιο θα έθετε σημαντικούς περιορισμούς στη δομή του σώματος των χαρακτήρων και συνεπώς δεν θα ευνοούσε την εισαγωγή έτοιμων μοντέλων από άλλα προγράμματα.

Στο SimHuman υιοθετήθηκε μια διαφορετική προσέγγιση: η σύνδεση των άκρων των γειτονικών τμημάτων μεταξύ τους. Το μοντέλο του πράκτορα, στην αρχική του

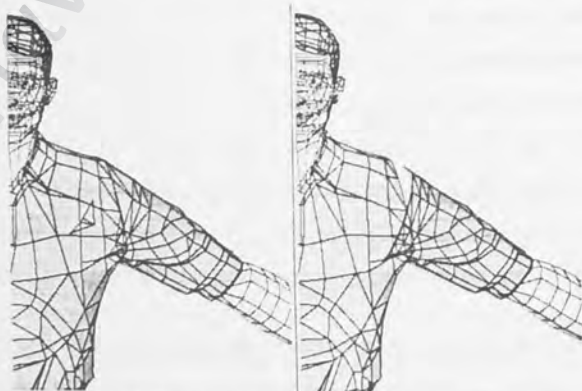


στάση, έχει συνεχές δέρμα. Αυτό σημαίνει ότι τα γειτονικά τμήματα έχουν κάποιες κοινές κορυφές, από τις οποίες το καθένα χρησιμοποιεί το δικό του αντίγραφο. Εάν το πρόγραμμα σιγουρέψει ότι κάθε φορά που ένα τμήμα περιστρέφεται, οι κορυφές που είναι κοινές με οποιοδήποτε γειτονικό τμήμα δε μεταβάλλονται, τότε θα αποφευχθούν οι διασπάσεις. Η μέθοδος αυτή απεικονίζεται σχηματικά στην εικόνα 5.6.



Εικόνα 5.6: Η μέθοδος κοινών κορυφών για την αποφυγή διασπάσεων

Κατά τη φόρτωση του μοντέλου, κάθε πλέγμα ελέγχει τα γειτονικά του, εάν μοιράζονται κοινές κορυφές, δηλ. αν υπάρχουν κορυφές με την ίδια θέση στο χώρο. Έστω ότι τα πλέγματα των τμημάτων  $S_i$  και  $S_j$  μοιράζονται τις κορυφές  $v_1, v_2, \dots, v_n$ . Κάθε μία από τις κοινές κορυφές που ανήκει στο  $S_j$  διαγράφεται και αντικαθίσταται με ένα δείκτη στην αντίστοιχη κορυφή του  $S_i$ . Αυτό σημαίνει ότι όλα τα πολύγωνα του  $S_j$  που περιέχουν μία ή περισσότερες από τις κοινές κορυφές θα σχεδιαστούν χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες τιμές των κορυφών του  $S_i$ . Έτσι, εάν το πρώτο περιστραφεί, οι κοινές κορυφές (που ανήκουν στο δεύτερο) θα μείνουν αμετάβλητες, οπότε δεν θα δημιουργούνται διασπάσεις (εικ. 5.7).



Εικόνα 5.7: Περιστροφή του ώμου με και χωρίς κοινές κορυφές

### 5.4.2 Ενέργειες

Οι πράκτορες στο SimHuman υποστηρίζουν έναν αριθμό από έτοιμες ενέργειες, οι οποίες βοηθούν στη μετακίνησή του και στην αλληλεπίδρασή του με αντικείμενα του χώρου. Ο προγραμματιστής έχει φυσικά τη δυνατότητα να ορίσει και επιπλέον ενέργειες δηλώνοντας συναρτήσεις που καταλήγουν σε σύνολα στοιχειωδών ενεργειών. Οι ενσωματωμένες δυνατότητες του πράκτορα είναι: κίνηση με θέσεις-κλειδιά, αναγνώριση σύγκρουσης, αντίστροφη κινηματική, βάδισμα και εύρεση μονοπατιού.

### 5.4.3 Κίνηση με θέσεις-κλειδιά

Η πιο συνηθισμένη τεχνική παραγωγής συνθετικής κίνησης είναι ο *ορισμός θέσεων-κλειδιών* (keyframing), όπου ο σχεδιαστής ορίζει στάσεις του σώματος σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές και το πρόγραμμα παράγει τις ενδιάμεσες στάσεις με γραμμική παρεμβολή. Στο SimHuman ο σχεδιαστής μπορεί χρησιμοποιώντας το βοηθητικό πρόγραμμα Agent Designer να ορίσει ένα σύνολο συνθετικών κινήσεων, κάθε μία από τις οποίες μπορεί να κληθεί ως ενέργεια κατά την εκτέλεση του προγράμματος και να καταλήξει σε σύνολα στοιχειωδών ενεργειών με την τεχνική κίνησης με θέσεις-κλειδιά.

Ας υποθέσουμε ότι το σώμα έχει αρχική στάση  $P_1$  και σκοπός είναι να αποκτήσει μια νέα στάση  $P_2$  μετά από χρόνο  $t_1$ . Κάθε στάση μπορεί να περιγραφεί με το σύνολο όλων των περιστροφών των αρθρώσεων και τη γενική μετατόπιση και περιστροφή του σώματος. Έστω ότι η άρθρωση  $J_i$  έχει αρχική ( $t = 0$ ) περιστροφή  $\mathbf{R}(rx_i, ry_i, rz_i)$  και τελική ( $t = t_1$ ) περιστροφή  $\mathbf{R}'(rx'_i, ry'_i, rz'_i)$ . Με την χρήση γραμμικής παρεμβολής μεταξύ των δύο στάσεων η περιστροφή της  $J_i$  σε χρόνο  $t$  θα είναι

$$\mathbf{R}_i((t_1 - t)rx_i + trx'_i, (t_1 - t)ry_i + try'_i, (t_1 - t)rz_i + trz'_i)$$

Οι αποθηκευμένες συνθετικές κινήσεις περιλαμβάνουν όλες από μια αρχική στάση του σώματος, η οποία συνήθως διαφέρει από την τρέχουσα στάση του πράκτορα. Κατά συνέπεια, κάθε φορά που εκτελείται μια ενέργεια συνθετικής κίνησης θα πρέπει πρώτα να γίνεται μια ομαλή μετάβαση από την τρέχουσα στάση στην αρχική θέση-κλειδί. Στο SimHuman εκτελείται αυτή η διαδικασία με συνεχόμενες περιστροφές

των αρθρώσεων με σταθερή γωνιακή ταχύτητα μέχρι οι γωνίες περιστροφής τους να γίνουν ίσες με τις αντίστοιχες γωνίες της άρθρωσης στην αρχική θέση-κλειδί.

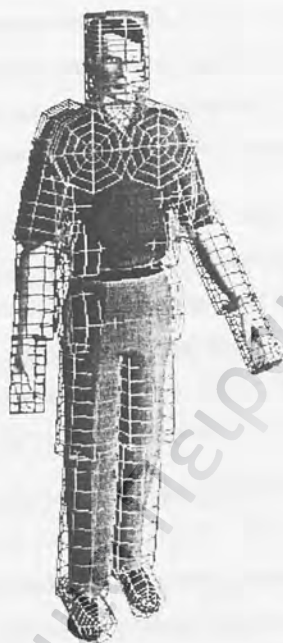
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η πλατφόρμα παρέχει τη δυνατότητα εκτέλεσης παράλληλων ενεργειών, οι οποίες ελέγχονται από το τμήμα εκτέλεσης έργου. Ο έλεγχος ορθότητας της παραλληλίας γίνεται με *παρακράτηση και απελευθέρωση πόρων* (resource allocation and de-allocation). Κάθε μια από τις δυνατές ενέργειες του πράκτορα μετακινεί έναν αριθμό από μέλη του σώματος, μερικά από τα οποία είναι κρίσιμα για την επιτυχία της ενέργειας, ενώ άλλα όχι. Όταν μια ενέργεια ξεκινά την εκτέλεσή της, κλειδώνει τα κρίσιμα μέρη του σώματος και καμιά άλλη ενέργεια δεν επιτρέπεται να τα χρησιμοποιήσει μέχρι να τερματίσει και να τα ξεκλειδώσει. Άλλες ενέργειες μπορούν, παρόλα αυτά, να ελέγξουν τα μη κρίσιμα τμήματα της συγκεκριμένης ενέργειας. Για παράδειγμα, μια συνθετική κίνηση βαδίσματος κλειδώνει τα πόδια καθώς και τη σφαιρική θέση και τον προσανατολισμό, αλλά δεν κλειδώνει τα χέρια, παρόλο που τα κινεί. Είναι λοιπόν δυνατό για έναν πράκτορα να περπατάει και να ξύνει το κεφάλι του παράλληλα, δεν είναι όμως δυνατό να κλωτσήσει κάτι, ενώ περπατάει. Στην περίπτωση όπου μια ενέργεια προσπαθεί να κλειδώσει ένα μέρος που είναι ήδη κλειδωμένο, η παραλληλία δεν επιτρέπεται και η ενέργεια αποτυγχάνει.

#### 5.4.4 Αναγνώριση σύγκρουσης του σώματος του πράκτορα

Οι μετακινήσεις μελών του σώματος αναπόφευκτα οδηγούν σε συγκρούσεις, και στις περισσότερες περιπτώσεις είναι επιθυμητό οι συγκρούσεις αυτές να εντοπίζονται και να αποφεύγονται. Ο ακριβής έλεγχος σύγκρουσης του σώματος ενός συνθετικού χαρακτήρα με άλλα αντικείμενα δεν είναι εύκολη διαδικασία. Θα πρέπει να ελεγχθεί κάθε πολύγωνο του σώματος με όλα τα υπόλοιπα αντικείμενα του σκηνικού, ώστε να προσδιοριστεί εάν διαπερνά κάποιο άλλο πολύγωνο. Η προσέγγιση που χρησιμοποιείται στο SimHuman για λόγους βελτίωσης της απόδοσης είναι κάπως διαφορετική. Χρησιμοποιούνται περιβάλλοντα στερεά για κάθε ένα από τα τμήματα του σώματος και οι έλεγχοι σύγκρουσης γίνονται με αυτά. Αυτή η διαδικασία μειώνει σημαντικά τον υπολογιστικό χρόνο, κάνοντάς την δυνατή να εκτελεστεί με αποδεκτή ταχύτητα σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Τα στερεά που επιλέχθηκαν είναι οι κύλινδροι, για το λόγο ότι η γεωμετρία τους είναι πιο συμμετρική σε σχέση με τα παραλληλεπίπεδα, ενώ ταιριάζουν αρκετά καλά στο ανθρώπινο σώμα (εικ. 5.8). Όταν



φορτώνεται το μοντέλο, υπολογίζονται αυτόματα οι περιβάλλοντες κύλινδροι για κάθε μέρος του σώματος.



Εικόνα 5.8: Μοντέλο χαρακτήρα και οι αντίστοιχοι περιβάλλοντες κύλινδροι

Οι κύλινδροι υπολογίζονται μία φορά και στη συνέχεια μετατοπίζονται και περιστρέφονται ακολουθώντας την κίνηση των μελών του σώματος στα οποία αντιστοιχούν. Η διαδικασία υπολογισμού του κάθε περιβάλλοντος κυλίνδρου ακολουθεί τα παρακάτω στάδια:

1. *Υπολογισμός του περιβάλλοντος παραλληλεπιπέδου:* Ελέγχονται όλες οι κορυφές του πλέγματος και υπολογίζονται οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές  $x$ ,  $y$  και  $z$ . Το αποτέλεσμα είναι δύο διανύσματα (**max** και **min** αντίστοιχα) που ορίζουν τις δύο γωνίες του παραλληλεπιπέδου. Οι διαστάσεις (**size**) και το κέντρο (**center**) του υπολογίζονται εύκολα:  $\text{size} = \text{max} - \text{min}$  και  $\text{center} = \frac{\text{max} + \text{min}}{2}$

2. *Τύπος κυλίνδρου*: Κάθε κύλινδρος μπορεί να είναι διατεταγμένος σε έναν από τους τρεις βασικούς άξονες. Η χρήση αυθαίρετων κυλίνδρων αποφεύχθηκε, γιατί αυξάνει σημαντικά την πολυπλοκότητα των υπολογισμών. Αυτό όμως δεν αποτελεί μειονέκτημα, γιατί οι κύλινδροι μπορούν να μετατοπιστούν και να περιστραφούν όπως οποιοδήποτε αντικείμενο του σκηνηκού, απλώς επηρεάζει τον αρχικό τους ορισμό. Ο άξονας στον οποίο θα είναι διατεταγμένος ο κύλινδρος θα είναι αυτός με τη μέγιστη τιμή στο διάνυσμα διαστάσεων (**size**).
3. *Κέντρο, ακτίνα και ύψος*: Το κέντρο του κυλίνδρου θα είναι το κέντρο του παραλληλεπιπέδου (**center**). Το ύψος του (ή μήκος ή πλάτος, ανάλογα με τον άξονα) θα είναι η τιμή του **size** στον άξονα που είναι διατεταγμένος. Η διάμετρός του θα είναι ο μέσος μεταξύ των τιμών του **size** στους άλλους δύο άξονες. Για παράδειγμα, αν ο κύλινδρος είναι διατεταγμένος στον άξονα των  $x$  και οι διαστάσεις του παραλληλεπιπέδου είναι  $[sx\ sy\ sz]$ , τότε το μήκος του θα είναι  $sx$  και η διάμετρός του  $\frac{sy + sz}{2}$ . Κατά συνέπεια η ακτίνα του θα είναι  $\frac{sy + sz}{4}$ .

Μετά τον ορισμό της αρχικής θέσης και των διαστάσεων του κάθε κυλίνδρου το επόμενο βήμα είναι ο έλεγχος σύγκρουσής του με άλλα αντικείμενα του σκηνηκού. Σε κάθε χρονικό πλαίσιο οι κύλινδροι έχουν τη θέση και τον προσανατολισμό των μελών του σώματος στα οποία αντιστοιχούν. Έστω για παράδειγμα ότι πρέπει να γίνει έλεγχος σύγκρουσης ενός κυλίνδρου με μια σφαίρα. Σε αυτή την περίπτωση, αντί να χρησιμοποιηθεί ο μετασχηματισμένος κύλινδρος, εκτελείται αντίστροφος μετασχηματισμός στη θέση και την ταχύτητα της σφαίρας και γίνεται έλεγχος σύγκρουσης με τον αρχικό κύλινδρο. Εάν τα αντικείμενα συγκρούονται, υπολογίζεται η νέα θέση και η ταχύτητα ανάκλασης της σφαίρας και μετασχηματίζονται ξανά στο αρχικό σύστημα συντεταγμένων. Τα βήματα της διαδικασίας αυτής είναι:

1. Βρες τον πίνακα μετασχηματισμού του αντίστοιχου τμήματος και υπολόγισε τον αντίστροφό του.
2. Πολλαπλασίασε τον αντίστροφο πίνακα με το κέντρο και την ταχύτητα της σφαίρας
3. Έλεγε αν η σφαίρα συγκρούεται με τον αρχικό κύλινδρο

4. Αν ναι, υπολόγισε τις νέες τιμές θέσης και ταχύτητας και πολλαπλασίασε τις με τον πίνακα μετασχηματισμού.

Η αναγνώριση σύγκρουσης ενός στερεού με έναν κύλινδρο δεν είναι ιδιαίτερα δύσκολη διαδικασία. Έστω για παράδειγμα ότι πρέπει να ελεγχθεί αν ένα σημείο βρίσκεται εντός ενός κυλίνδρου διατεταγμένου στον άξονα  $x$ . Έστω ότι το κέντρο του κυλίνδρου είναι  $[cx\ cy\ cz]$ , η ακτίνα του  $R$  και το μήκος του  $l$ . Έστω ακόμη ότι οι συντεταγμένες του σημείου είναι  $[px\ py\ pz]$ . Τότε το σημείο βρίσκεται εντός του κυλίνδρου, αν και μόνο αν:

- το σημείο βρίσκεται μέσα στα όρια του κυλίνδρου:  $cx - \frac{l}{2} \leq px \leq cx + \frac{l}{2}$  και
- η απόσταση του σημείου από τον άξονα του κυλίνδρου είναι μικρότερη ή ίση από την ακτίνα του:  $\sqrt{(cy - px)^2 + (cz - pz)^2} \leq R$

Με αντίστοιχο τρόπο μπορούν να ελεγχθούν ακμές και πολύγωνα και να υπολογιστεί η σύγκρουση ενός οποιουδήποτε πλέγματος με τους περιβάλλοντες κυλίνδρους του πράκτορα.

#### 5.4.5 Αντίστροφη κινηματική

Οι πράκτορες στο SimHuman έχουν τη δυνατότητα αντίστροφης κινηματικής, που είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις δυναμικών ενεργειών, όπως το πιάσιμο ενός αντικειμένου. Αντί να χρησιμοποιηθεί ένα γενικό σύστημα επίλυσης προβλημάτων αντίστροφης κινηματικής, υιοθετείται μια διαφορετική προσέγγιση. Η προσέγγιση αυτή ελέγχει σε κάθε βήμα την καλύτερη περιστροφή κάθε άρθρωσης που θα οδηγήσει στο στόχο. Αρχικά ορίζεται το σύνολο των αρθρώσεων (ή η αλυσίδα αρθρώσεων) που θα χρησιμοποιηθούν από τη μηχανή αντίστροφης κινηματικής. Στη συνέχεια ορίζεται μια συνάρτηση που επιστρέφει πόσο κοντά στο στόχο είναι η τρέχουσα κατάσταση του σώματος. Η διαδικασία σε ψευδοκώδικα είναι:

Για κάθε άρθρωση της αλυσίδας

    Για κάθε βαθμό ελευθερίας της άρθρωσης

        αύξησε και μείωσε την γωνία κατά τιμή  $\nu$

        έλεγε ποια από τις δύο καταστάσεις (αύξηση ή μείωση)

        βελτιώνει την συνάρτηση

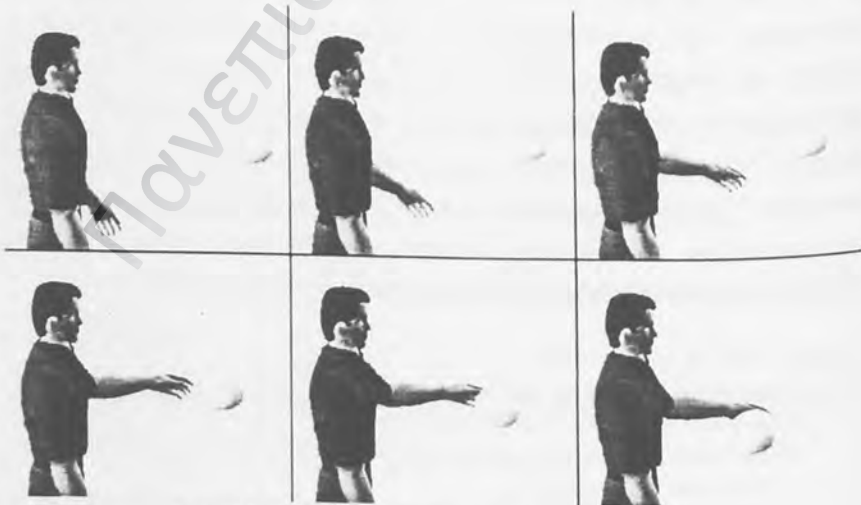
ΑΝ αυτή η κατάσταση είναι διαφορετική από την προηγούμενη



ΤΟΤΕ μείωσε την τιμή του  $v$   
 ΑΛΛΙΩΣ αύξησέ τη  
 τοποθέτησε τη νέα τιμή στη γωνία.

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για κάθε χρονικό πλαίσιο και η αλυσίδα διορθώνει συνεχώς τον εαυτό της κινούμενη προς το στόχο. Η ταχύτητα μεταβολής των περιστροφών εξαρτάται από την επιτυχία της κίνησης. Αν ένα τμήμα παρουσιάζει μεταβολές (η γωνία αυξάνεται σε ένα βήμα και μειώνεται στο επόμενο ή αντίστροφα), τότε η ταχύτητα περιστροφής του συγκεκριμένου βαθμού ελευθερίας μειώνεται, ώστε να υπάρχει πιο ακριβής προσέγγιση του στόχου. Από την άλλη μεριά, αν ένα τμήμα κινείται συνεχώς προς το στόχο, η ταχύτητα αυξάνεται μέχρι μια μέγιστη τιμή, ώστε να ενισχυθεί η μετακίνησή του.

Αυτή η συνεχής ακολουθία διορθώσεων έχει το πλεονέκτημα ότι η συνθετική κίνηση δείχνει πιο φυσική και «ανθρώπινη» σε σχέση με την εφαρμογή γραμμικής παρεμβολής από την τρέχουσα θέση του σώματος προς τη θέση που προκύπτει από την λύση του προβλήματος. Επιπλέον, μπορεί να λειτουργήσει τόσο με στατικούς όσο και με κινούμενους στόχους και μπορεί να αποφύγει συγκρούσεις με αντικείμενα που βρίσκονται ανάμεσα στα μέλη του σώματος και στο στόχο. Η εικόνα 5.9 απεικονίζει έναν πράκτορα που προσπαθεί να πιάσει μια κινούμενη σφαίρα χρησιμοποιώντας τον παραπάνω αλγόριθμο αντίστροφης κινηματικής.



Εικόνα 5.9: Ο πράκτορας προσπαθεί να πιάσει μια κινούμενη σφαίρα

### 5.4.6 Βάδισμα του πράκτορα

Η συνθετική κίνηση ενός εικονικού ανθρώπου που βαδίζει είναι ένα τυπικό παράδειγμα κίνησης με θέσεις κλειδιά. Αυτό συμβαίνει, επειδή από τη φύση του το βάδισμα είναι μια συνεχής μετάβαση μεταξύ ορισμένων καταστάσεων. Κατά τη διάρκεια του βαδίσματος ένα άτομο αλλάζει μεταξύ των παρακάτω συνθετικών κινήσεων:

- *κίνηση 1*: Το αριστερό πόδι αγγίζει το έδαφος και σπρώχνει το σώμα προς τα εμπρός
- *κίνηση 2*: Το σώμα στηρίζεται στο δεξί πόδι για την ίδια κίνηση

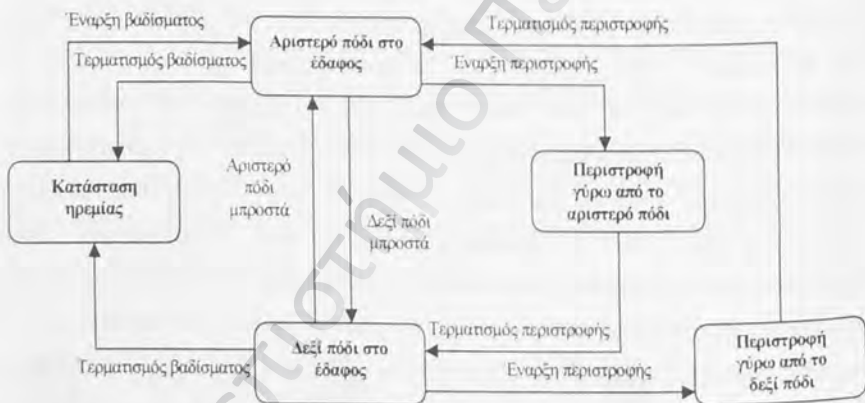
Παρόλα αυτά, μια συνθετική κίνηση βαδίσματος θα πρέπει να περιλαμβάνει δύο ακόμη κινήσεις. Μία είναι η μετάβαση από την τρέχουσα στάση του σώματος στην αρχική στάση της κίνησης 1 και η άλλη είναι η μετάβαση από οποιαδήποτε κατάσταση στην τελική κατάσταση ηρεμίας του σώματος, που εκτελείται στο τέλος του βαδίσματος. Αυτή η διαδικασία μετάβασης καταστάσεων είναι ικανή να εκτελέσει μόνο βάδισμα κατά μήκος μιας ευθείας γραμμής. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως ο εικονικός άνθρωπος θα πρέπει να αλλάξει τη κατεύθυνσή του καθώς περπατάει. Αυτό δε θα πρέπει να γίνει με απλή αλλαγή της σφαιρικής περιστροφής του, γιατί η συνθετική κίνηση δε θα δείχνει φυσική. Στην πραγματικότητα οι άνθρωποι χρησιμοποιούν τα πόδια τους για να στρίψουν και δεν μπορούν να περιστρέψουν απλώς το σώμα τους καθώς βαδίζουν. Η περιστροφή του σώματος είναι μια κίνηση που περιλαμβάνει δύο ακόμη κινήσεις, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.10. Οι κινήσεις αυτές δεν είναι πάντοτε αρκετές, γιατί δεν μπορεί κάποιος να περιστρέψει το σώμα του με αυτόν τον τρόπο σε γωνία μεγαλύτερη των 90 μοιρών. Κατά συνέπεια, αν η επιθυμητή γωνία περιστροφής είναι μεγαλύτερη, η διαδικασία μοιράζεται σε δύο μικρότερες.



Εικόνα 5.10: Κινήσεις περιστροφής του σώματος

Εάν το ανθρώπινο σώμα δεν κινείται, η διαδικασία περιστροφής μπορεί να ξεκινήσει αμέσως. Αυτό όμως δε συμβαίνει και στην περίπτωση που ο συνθετικός άνθρωπος βαδίζει. Εάν η περιστροφή ξεκινήσει αυθαίρετα, μπορεί στην τρέχουσα κατάστασή του το σώμα να μη στηρίζεται σε κάποιο πόδι και η κίνηση να δείχνει αφύσικη. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει η περιστροφή να συντονιστεί με το βάδισμα, για να επιτευχθούν καλύτερα οπτικά αποτελέσματα.

Όταν ο εικονικός πράκτορας βαδίζει και το σώμα του πρέπει να περιστραφεί, ο μηχανισμός βαδίσματος περιμένει μέχρι ένα από τα δύο πόδια να βρίσκεται στο έδαφος και το σώμα να στηρίζεται σε αυτό. Τότε το σώμα περιστρέφεται γύρω από αυτό το πόδι, με αποτέλεσμα η συνθετική κίνηση να είναι ομαλή και αρκετά ρεαλιστική. Το διάγραμμα καταστάσεων που χρησιμοποιείται στη διαδικασία του βαδίσματος απεικονίζεται στην εικόνα 5.11.



Εικόνα 5.11: Διάγραμμα μετάβασης καταστάσεων για το βάδισμα του εικονικού πράκτορα

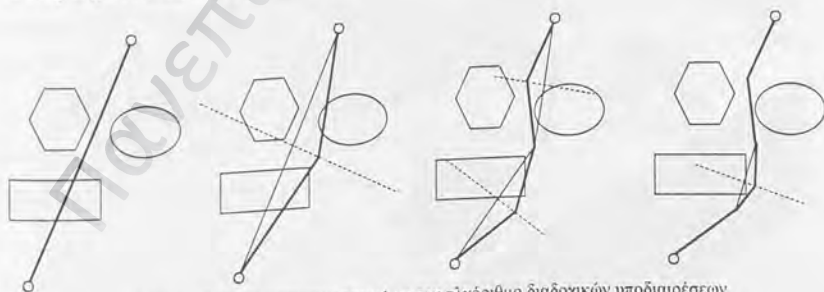
Η μηχανή βαδίσματος του SimHuman δεν έχει σχεδιαστεί για συγκεκριμένο μοντέλο πράκτορα και στηρίζεται σε προεπιλεγμένες συνθετικές κινήσεις. Για να την χρησιμοποιήσει ο προγραμματιστής για ένα νέο μοντέλο χαρακτήρα, αρκεί να δηλώσει τα ονόματα των συνθετικών κινήσεων της βιβλιοθήκης που θα χρησιμοποιηθούν στις παραπάνω καταστάσεις, και ο μηχανισμός θα φροντίσει για την ομαλή μετάβαση μεταξύ αυτών.



### 5.4.7 Εύρεση μονοπατιού

Το SimHuman περιέχει έναν απλό αλγόριθμο για εύρεση μονοπατιού και αποφυγή αντικειμένων. Βασισμένος στη γεωμετρία του χώρου, ο πράκτορας ελέγχει αν το σώμα του θα συγκρουστεί με κάποιο αντικείμενο, εφόσον βαδίσει στο ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει την τρέχουσα θέση του με την τελική θέση. Στην περίπτωση αυτή επιλέγεται ένα σημείο πάνω στη μεσοκάθετο του τμήματος και το ευθύγραμμο τμήμα υποδιαιρείται σε δύο νέα, ένα από την τρέχουσα θέση του πράκτορα ως το νέο σημείο και ένα από το νέο σημείο ως την τελική θέση. Ο αλγόριθμος συνεχίζεται αναδρομικά για τα δύο νέα τμήματα. Εάν αποτύχει, επαναλαμβάνεται ο αλγόριθμος για το συμμετρικό του σημείου, ενώ στην περίπτωση νέας αποτυχίας μετακινείται το σημείο ακόμα μακρύτερα πάνω στην μεσοκάθετο. Το βήμα μετακίνησης του σημείου υποδιαίρεσης και το βάθος της αναδρομής μπορούν να μεταβληθούν από τον προγραμματιστή, ώστε να προσαρμοστεί ο αλγόριθμος σε περισσότερο ή λιγότερο απαιτητικά περιβάλλοντα. Η εικόνα 5.12 παρουσιάζει μια περίπτωση που ο αλγόριθμος επιτυγχάνει να βρει μονοπάτι σε σκηνικό με τρία διαφορετικά εμπόδια, χρησιμοποιώντας 4 διαδοχικές υποδιαίρεσεις.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι η χρήση του μηχανισμού είναι προαιρετική. Ο προγραμματιστής θα μπορούσε να υλοποιήσει και άλλες μεθόδους ελέγχου της κίνησης του πράκτορα ανάλογα με το περιβάλλον, όπως γράφημα, πλέγμα (grid) κλπ., ή να χρησιμοποιήσει τους περιβάλλοντες όγκους των αντικειμένων, για να δοκιμάσει άλλες τεχνικές εύρεσης μονοπατιού.



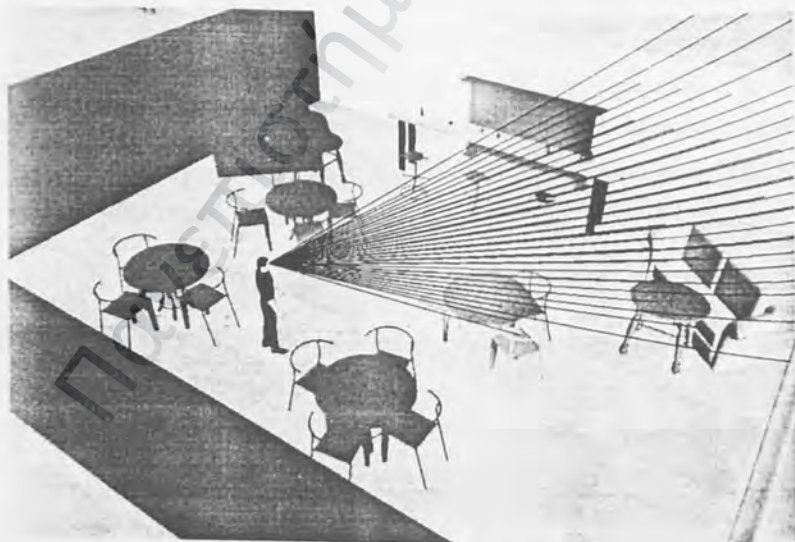
Εικόνα 5.12: Εύρεση μονοπατιού με τον αλγόριθμο διαδοχικών υποδιαίρεσεων

### 5.4.8 Αίσθηση

Σχετικά με την αίσθηση έχουν υλοποιηθεί δύο βασικά μοντέλα από τα οποία μπορεί ο προγραμματιστής να επιλέξει. Το ένα είναι *βασισμένο σε εικόνα*, δηλαδή μια εικόνα

απεικονίζεται από την οπτική γωνία του πράκτορα, όπου τα αντικείμενα έχουν χρωματιστεί ανάλογα με το μοναδικό τους αριθμό αναγνώρισης (id). Η απεικόνιση γίνεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που γίνεται και η οπτικοποίηση του περιβάλλοντος, αξιοποιώντας δηλαδή τη δυνατότητα της βιβλιοθήκης OpenGL να προβάλλει τα αντικείμενα σε δισδιάστατες εικόνες. Ο πράκτορας μπορεί έτσι να αποκτήσει τη λίστα με τα αντικείμενα που είναι ορατά σε αυτόν διαβάζοντας την τιμή χρώματος του κάθε pixel.

Το δεύτερο μοντέλο βασίζεται σε αποστολή ακτίνων (ray-casting): ο πράκτορας αποστέλλει έναν αριθμό ακτίνων στο σκηνικό και λαμβάνει τη λίστα των αντικειμένων στα οποία προσέκρουσαν μια ή παραπάνω ακτίνες. Στην εικόνα 5.13 απεικονίζεται μια τέτοια διαδικασία αποστολής ακτίνων, όπου τα αντικείμενα που δεν είναι ορατά στον πράκτορα έχουν σχεδιαστεί γκριζά. Ο προγραμματιστής έχει τη δυνατότητα να επιλέξει πόσο συχνά θα εκτελείται η διαδικασία της αίσθησης αλλά και τον αριθμό των ακτίνων που θα αποστέλλονται σε κάθε τέτοια διαδικασία, επιτρέποντας την προσαρμογή του μηχανισμού αίσθησης στις απαιτήσεις της εφαρμογής.



Εικόνα 5.13: Αίσθηση με αποστολή ακτίνων

Κάθε φορά που φτάνει μια νέα λίστα οντοτήτων μετά από τη διαδικασία αίσθησης, τα αντικείμενα των οντοτήτων αντιγράφονται, αν δεν υπάρχουν ήδη, στη μνήμη του

πράκτορα και οι τιμές των χαρακτηριστικών τους αντικαθίστανται με τις τρέχουσες. Η μνήμη υλοποιείται με τη χρήση ενός αντικείμενου ίδιας κλάσης με του κόσμου, που περιέχει τη δική του λίστα οντοτήτων. Το πλεονέκτημα του να υπάρχει η ίδια διεπαφή πράκτορα-μνήμης και πράκτορα-κόσμου είναι ότι, αν κάποιος επιθυμεί να έχει έναν πράκτορα παντογνώστη, δεν κατασκευάζεται καθόλου αντικείμενο μνήμης και δίνεται ο δείκτης στον ίδιο τον κόσμο, από τον οποίο ο πράκτορας διαβάζει τιμές απευθείας.

## 5.5 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό έγινε αναλυτική παρουσίαση ενός εργαλείου που βοηθάει στο σχεδιασμό και την υλοποίηση τρισδιάστατων κόσμων με εικονικούς πράκτορες. Ο σχεδιασμός της πλατφόρμας SimHuman στηρίχθηκε στο γεγονός ότι πολλές από τις εφαρμογές με εικονικά περιβάλλοντα και απλά συστήματα προσομοίωσης δεν απαιτούν τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια αλλά φυσική, αληθοφανή κίνηση, καθώς και αποδεκτές ταχύτητες εκτέλεσης σε μέσους προσωπικούς υπολογιστές. Ο στόχος του SimHuman ήταν να συνδυάσει απλούς αλλά αποδοτικούς αλγορίθμους και τεχνικές υλοποίησης για τη συνθετική κίνηση πρακτόρων σε εικονικά περιβάλλοντα σθόνης. Ένα βασικό πλεονέκτημα της προσέγγισης αυτής είναι ότι ευνοεί την ανάπτυξη παραθυρικών εφαρμογών σε προσωπικούς υπολογιστές, καθώς βασίζεται στην προγραμματιστική γλώσσα C++ και τη βιβλιοθήκη τρισδιάστατων γραφικών OpenGL. Λόγω αυτής είναι σε θέση να εκμεταλλεύεται πλήρως το υλικό επιτάχυνσης των σύγχρονων καρτών γραφικών, κάνοντας δυνατή την οπτικοποίηση μεγάλων τρισδιάστατων σκηνικών σε ικανοποιητικές ταχύτητες. Ο πίνακας 5.1 δείχνει μερικούς τυπικούς χρόνους απεικόνισης για τρία διαφορετικά σκηνικά με και χωρίς μοντελοποίηση φυσικών νόμων. Οι χρόνοι μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια του βαδίσματος ενός πράκτορα στο σκηνικό σε υπολογιστή με επεξεργαστή Pentium III – 500 MHz και κάρτα γραφικών Riva TNT2.

	Χωρίς φυσική	Με φυσική
~ 4000 πολύγωνα	17 msec	18 msec
~ 10,000 πολύγωνα	31 msec	34 msec
~ 25,000 πολύγωνα	68 msec	72 msec

Πίνακας 5.1: Τυπικοί χρόνοι απεικόνισης



Παρέχοντας βιβλιοθήκη προγραμματισμού το περιβάλλον του SimHuman μπορεί να είναι μέρος μιας ευρύτερης εφαρμογής, που να συνδυάζει επιπλέον πολυμεσικά χαρακτηριστικά, όπως εικόνες, ήχος και video. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό του μηχανισμού είναι ότι είναι πλήρως παραμετροποιήσιμος, καθώς μπορεί να απεικονίσει σκηνικά χρησιμοποιώντας μοντέλα σε γλώσσα VRML97 και να εισαγάγει χαρακτήρες από το πρόγραμμα Curiouslabs Poser. Κατά συνέπεια οι σχεδιαστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν υπάρχοντα μοντέλα και χαρακτήρες και να κατασκευάσουν με αυτά ένα εικονικό περιβάλλον χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα SimHuman.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

## 6 Η ΓΛΩΣΣΑ SLAVE

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η δομή και η λειτουργία της γλώσσας SLaVE για τον προγραμματισμό των κανόνων αντίληψης και τον ορισμό των έργων των εικονικών πρακτόρων της πλατφόρμας SimHuman. Παρουσιάζονται αναλυτικά οι τύποι δεδομένων, οι σταθεροί όροι (literals), οι μεταβλητές και οι διαθέσιμες συναρτήσεις της γλώσσας και εξηγείται ο τρόπος υλοποίησης των σημαντικότερων από αυτές. Στη συνέχεια αναλύεται ο τρόπος σύνταξης των κανόνων αντίληψης και ο τρόπος ορισμού των έργων, και περιγράφεται αναλυτικά η λειτουργία των εντολών αυτών. Τέλος δίνεται ένας αριθμός από αναλυτικά παραδείγματα χρήσης της γλώσσας σε διάφορες περιπτώσεις εφαρμογών, γίνεται σύγκρισή της με άλλες, σχετικές εργασίες, και παρατίθενται τα συμπεράσματα σε ό,τι αφορά την χρησιμότητά της και τις δυνατότητες αξιοποίησής της.

### 6.1 Εισαγωγή

Το προτεινόμενο μοντέλο ευφυών εικονικών πρακτόρων περιλαμβάνει τα τμήματα αντίληψης και εκτέλεσης ενεργειών ως ενός μέσου, για να γεφυρωθεί το κενό μεταξύ των υψηλού-επιπέδου διαδικασιών απόφασης και της κίνησης και αλληλεπίδρασης του πράκτορα με το περιβάλλον. Παρόλα αυτά, δεν υπάρχει γενικά παραδεκτός τρόπος αντίληψης του κόσμου και αναπαράστασής του σε συμβολική μορφή, με αποτέλεσμα να είναι αδύνατο να χρησιμοποιηθεί κάποιος γενικός αλγόριθμος «μετάφρασης» της γεωμετρικής μορφής του κόσμου σε συμβολική. Τα γεγονότα και οι σχέσεις που θα πρέπει να προσέξει ένας πράκτορας σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον εξαρτώνται άμεσα από τον τρόπο με τον οποίο έχει κατασκευαστεί το μοντέλο συμπεριφοράς του πράκτορα, τις ικανότητες, τους στόχους του κλπ. Κάτι αντίστοιχο ισχύει και στην εκτέλεση έργου, καθώς ο συνδυασμός ενεργειών, που θα είναι σε θέση ο πράκτορας να εκτελέσει, εξαρτάται άμεσα από το σενάριο αλλά και από τον τρόπο με τον οποίο είναι μοντελοποιημένες οι ενέργειές του σε υψηλό επίπεδο στο τμήμα απόφασης. Συνεπώς είναι αδύνατο να είναι προαποφασισμένος ο τρόπος εκτέλεσης έργων.

Από την άλλη μεριά όμως, εάν αφεθεί στην αποκλειστική ευθύνη του σχεδιαστή η υλοποίηση των κατάλληλων αλγορίθμων για την αντίληψη και την εκτέλεση έργου του πράκτορα, θα καταλήξει να είναι μια ιδιαίτερα επίπονη διαδικασία. Ο σχεδιαστής θα αναγκαστεί να ασχοληθεί με λεπτομέρειες υλοποίησης, όπως η διαχείριση των πεποιθήσεων, η παραλληλία ενεργειών και ο έλεγχος συνθηκών, με αποτέλεσμα να επιβαρυνθεί ιδιαίτερα ο σχεδιασμός του περιβάλλοντος, χωρίς να είναι επαναχρησιμοποιήσιμες οι περισσότερες από τις διαδικασίες που θα υλοποιηθούν.

Για τους λόγους αυτούς σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε μια γλώσσα για τον ορισμό κανόνων αντίληψης και την περιγραφή έργων στην πλατφόρμα SimHuman, έτσι ώστε οι σχεδιαστές να μπορούν να προγραμματίσουν τις ικανότητες των πρακτόρων με απλό και αποδοτικό τρόπο. Η γλώσσα αυτή ονομάζεται SLAVE (Scripting Language for Virtual Environments – Γλώσσα Σεναρίων για Εικονικά Περιβάλλοντα). Με την χρήση της SLAVE μπορεί κανείς να συνδυάσει έναν αριθμό από ενσωματωμένες συναρτήσεις και εντολές, για να περιγράψει πολύπλοκα έργα ως συνδυασμούς ενεργειών, καθώς και να ορίσει τους κανόνες αντίληψης που θα παραγάγουν τις πεποιθήσεις του πράκτορα για το περιβάλλον του. Το βασικό της πλεονέκτημα είναι ότι διευκολύνει το σχεδιαστή να ορίσει πολύπλοκα έργα και σενάρια για εικονικούς πράκτορες χωρίς να πρέπει ρητώς να προγραμματίσει όλες τις λεπτομέρειες υλοποίησης. Πέρα από αυτό, η διαδικασία απόφασης του πράκτορα λειτουργεί με ένα συμβολικό ορισμό του κόσμου και χρησιμοποιεί έργα υψηλότερου επιπέδου. Για το λόγο αυτό είναι πιθανό να οριστεί η συμπεριφορά του με τρόπο ανεξάρτητο από την περίπτωση (context – independent) και έτσι να επαναχρησιμοποιηθεί εύκολα σε διαφορετικούς πράκτορες ή / και σε άλλα παρόμοια περιβάλλοντα.

## 6.2 Σύνταξη της SLAVE

Όπως αναφέρθηκε ήδη, η γλώσσα αφορά δύο ξεχωριστά τμήματα του πράκτορα: την αντίληψη και την εκτέλεση έργου. Στην πρώτη περίπτωση ο προγραμματιστής καθορίζει τους κανόνες αντίληψης (perception rules) του πράκτορα και στη δεύτερη τις περιγραφές έργων (task descriptions). Τόσο οι κανόνες αντίληψης όσο και οι περιγραφές έργων συντάσσονται με τη χρήση εντολών, σταθερών όρων (literals), μεταβλητών και συναρτήσεων. Οι εντολές διαφέρουν στα δύο αυτά τμήματα, αλλά η σύνταξη και η λειτουργικότητα σταθερών όρων, μεταβλητών και συναρτήσεων είναι κοινή.



## 6.2.1 Τύποι δεδομένων

Η γλώσσα υποστηρίζει τους παρακάτω τύπους δεδομένων:

- *boolean*: λογικός τύπος δεδομένων, παίρνει τιμές true ή false
- *integer*: ακέραιος αριθμός
- *float*: ρητός αριθμός
- *vector*: διάνυσμα τριών ρητών αριθμών. Οι αριθμοί χωρίζονται με κόμμα (,) και δηλώνονται μέσα σε παρένθεση.
- *string*: συμβολοσειρά. Οι σταθεροί όροι δηλώνονται μέσα σε μονά εισαγωγικά
- *entity*: δείκτης σε μια οντότητα του περιβάλλοντος. Οι σταθεροί όροι ξεκινούν με αστερίσκο (\*) και ακολουθεί το όνομα της οντότητας
- *list*: λίστα. Η λίστα μπορεί να περιλαμβάνει αυθαίρετο αριθμό όρων οποιουδήποτε τύπου. Οι όροι χωρίζονται με κόμμα (,) και δηλώνονται μέσα σε παρένθεση.

Ο πίνακας 6.1 παρουσιάζει συνοπτικά τους διαθέσιμους τύπους δεδομένων με τον τρόπο δήλωσής τους και από ένα παράδειγμα σταθερού όρου.

Τύπος δεδομένων	Δήλωση	Παράδειγμα
boolean	bool	true
integer	int	36
float	float	4.78
vector	vec3f	(1.0, 0.0, 0.0)
string	str	'this is a test'
entity	ent	*Chair1
list	list	(*John, 1.75, 22, 'single')

Πίνακας 6.1: Τύποι δεδομένων της SLaVE

Είναι προφανές ότι το διάνυσμα αποτελεί ειδική περίπτωση λίστας, όμως γίνεται διάκριση, γιατί υπάρχουν αρκετές ενσωματωμένες συναρτήσεις φτιαγμένες ειδικά για το χειρισμό διανυσμάτων, όπως εσωτερικό και εξωτερικό γινόμενο.

## 6.2.2 Μεταβλητές

Υπάρχουν τέσσερα είδη μεταβλητών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην γλώσσα SLaVE. Αυτοί είναι:

- *Τα χαρακτηριστικά του πράκτορα:* Τόσο τα εξ ορισμού χαρακτηριστικά όσο και τα επιπλέον που ορίστηκαν από το χρήστη μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μεταβλητές.
- *Τα χαρακτηριστικά άλλων οντοτήτων:* Εκτός από αυτά του ίδιου του πράκτορα, μπορούν να προσπελαστούν και τα χαρακτηριστικά άλλων οντοτήτων, με τις τιμές που είναι καταγεγραμμένες στη μνήμη του πράκτορα.
- *Τα ορίσματα του έργου:* Στην περίπτωση περιγραφής έργου μπορούν να προσπελαστούν τα ορίσματα του έργου ως μεταβλητές
- *Οι τοπικές μεταβλητές:* Τόσο στην περιγραφή έργου όσο και στους κανόνες αντίληψης ο χρήστης μπορεί να δηλώσει τοπικές μεταβλητές.

Τα εξ ορισμού χαρακτηριστικά (τύπος, όνομα μεταβλητής) των οντοτήτων είναι:

- **ent me:** δείκτης στον ίδιο τον πράκτορα
- **str name:** όνομα
- **int id:** αριθμός αναγνώρισης
- **vec3f trans:** θέση στο χώρο
- **vec3f rot:** περιστροφή
- **vec3f min:** ελάχιστες τιμές περιβάλλοντος όγκου
- **vec3f max:** μέγιστες τιμές περιβάλλοντος όγκου
- **list children:** απογονικές οντότητες

Η προσπέλαση χαρακτηριστικών άλλων οντοτήτων γίνεται με την εξής σύνταξη:

[οντότητα]όνομα μεταβλητής,

π.χ. [\*Box5]trans ή [agent]name, όπου agent μεταβλητή τύπου ent. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις οι μεταβλητές αναφέρονται απλά με το όνομά τους.

### 6.2.3 Συναρτήσεις

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό της γλώσσας είναι ότι παρέχει ένα μεγάλο αριθμό συναρτήσεων που μπορούν να υπολογίζουν χωρικές σχέσεις μεταξύ αντικειμένων, να εκτελούν αριθμητικές πράξεις, να κάνουν λογικούς συνδυασμούς άλλων συναρτήσεων κλπ. Όπως θα φανεί στη συνέχεια, η χρησιμότητά τους τόσο στην αντίληψη όσο και στην εκτέλεση έργων είναι εξαιρετικά μεγάλη. Κάθε συνάρτηση δέχεται έναν αριθμό ορισμάτων συγκεκριμένου τύπου και έχει έναν τύπο επιστροφής.

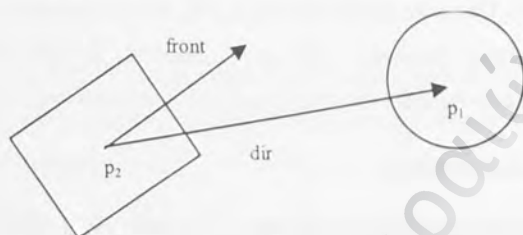
### 6.2.4 Χωρικές συναρτήσεις

Η SLaVE περιλαμβάνει έναν αριθμό από προκαθορισμένες συναρτήσεις που μπορούν να εντοπίσουν χωρικές σχέσεις μεταξύ οντοτήτων. Οι συναρτήσεις αυτές χρησιμοποιούν δύο οντότητες ως ορίσματα και μπορούν να αξιοποιηθούν για τις παρακάτω σχέσεις: *near*, *on*, *front\_of*, *behind*, *right\_of*, *left\_of*, *above* και *below*. Οι σχέσεις αυτές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τα τρέχοντα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οντοτήτων και επιστρέφουν μια boolean τιμή, π.χ. η *above*(e1, e2) είναι αληθής, εάν η οντότητα e1 είναι πάνω από την οντότητα e2. Μια άλλη σημαντική συνάρτηση είναι η *intersect*(e1, e2), η οποία ελέγχει εάν δύο οντότητες συγκρούονται μεταξύ τους χρησιμοποιώντας τον ενσωματωμένο μηχανισμό αναγνώρισης σύγκρουσης του περιβάλλοντος. Ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή των συναρτήσεων αυτών:

- **bool near** (ent, ent): Επιστρέφει true, αν η απόσταση μεταξύ των δύο οντοτήτων είναι μικρότερη μιας καθορισμένης τιμής. Η τιμή αυτή ορίζεται από το χρήστη.
- **bool on** (ent, ent): Επιστρέφει true, αν η πρώτη οντότητα βρίσκεται πάνω στη δεύτερη, δηλαδή αν η κάτω επιφάνεια του περιβάλλοντος όγκου της πρώτης οντότητας εφάπτεται με την πάνω επιφάνεια της δεύτερης.
- **bool front\_of** (ent, ent): Επιστρέφει true, αν η πρώτη οντότητα βρίσκεται μπροστά από την δεύτερη. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με βάση το σύστημα συντεταγμένων της δεύτερης οντότητας. Σε κάθε οντότητα ορίζονται εξαρχής δύο διανύσματα, *front* και *up*, κάθετα μεταξύ τους, που είναι η μπροστά και πάνω

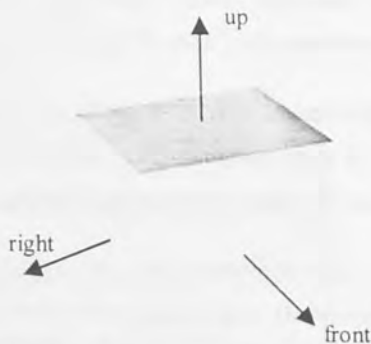


διεύθυνση αντίστοιχα. Αρχικά τα διανύσματα αυτά έχουν τιμές  $(0, 0, 1)$  και  $(0, 1, 0)$  αντίστοιχα, και στην συνέχεια ακολουθούν τους μετασχηματισμούς της οντότητας. Έστω  $p_1$  η θέση της πρώτης οντότητας και  $p_2$  η θέση της δεύτερης. Υπολογίζεται το διάνυσμα  $\text{dir} = p_1 - p_2$  (Εικόνα 6.1). Εάν το εσωτερικό γινόμενο  $\text{front} \cdot \text{dir}$  είναι θετικό, τότε η πρώτη οντότητα βρίσκεται μπροστά από την δεύτερη και επιστρέφεται true



Εικόνα 6.1: υπολογισμός σχέσης front\_of μεταξύ δύο οντοτήτων

- bool **behind** (ent, ent): Επιστρέφει true, αν η πρώτη οντότητα βρίσκεται πίσω από την δεύτερη. Ο υπολογισμός γίνεται με αντίστοιχο τρόπο με αυτόν της front\_of
- bool **right\_of** (ent, ent): Επιστρέφει true, αν η πρώτη οντότητα βρίσκεται στα δεξιά της δεύτερης. Για τον υπολογισμό της δημιουργείται πρώτα ένα νέο διάνυσμα, το right, που προκύπτει από το εξωτερικό γινόμενο του front με το up, και δίνει τη δεξιά διεύθυνση της δεύτερης οντότητας (εικ. 6.2). Με έλεγχο της τιμής του εσωτερικού γινομένου του right με το διάνυσμα dir υπολογίζεται αν η πρώτη οντότητα βρίσκεται στα δεξιά της δεύτερης.



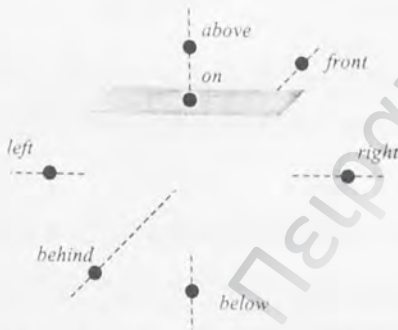
Εικόνα 6.2: Τα διανύσματα κατεύθυνσης μιας οντότητας

- **bool left\_of** (ent, ent): Επιστρέφει true, αν η πρώτη οντότητα βρίσκεται στα αριστερά της δεύτερης. Ο υπολογισμός γίνεται με αντίστοιχο τρόπο με αυτόν της right\_of.
- **bool above** (ent, ent): Επιστρέφει true, αν η πρώτη οντότητα βρίσκεται πάνω από τη δεύτερη. Οι σχέσεις πάνω και κάτω στη φυσική γλώσσα δεν αφορούν σχετικές συντεταγμένες αλλά απόλυτες, οπότε και στη συγκεκριμένη συνάρτηση επιστρέφεται true, αν το κέντρο της πρώτης οντότητας είναι σε μεγαλύτερο ύψος από αυτό της δεύτερης.
- **bool below** (ent, ent): Επιστρέφει true, αν η πρώτη οντότητα βρίσκεται κάτω από την δεύτερη. Και σε αυτήν την περίπτωση γίνεται απλώς σύγκριση του ύψους των δύο οντοτήτων.
- **bool intersect** (ent, ent): Επιστρέφει true, αν οι δύο οντότητες συγκρούονται μεταξύ τους. Η τιμή της συνάρτησης υπολογίζεται με τον ενσωματωμένο μηχανισμό αναγνώρισης σύγκρουσης.

Υπάρχουν επίσης συναρτήσεις που μπορούν να δημιουργήσουν μια νέα θέση σχετική με μια δοσμένη οντότητα ή μια δοσμένη θέση. Αυτή η σχετική θέση μπορεί να είναι μία από τις παραπάνω: *left*, *right*, *front*, *behind*, *above*, *below* και *on*. Στην περίπτωση μιας δοσμένης οντότητας, η αντίστοιχη συνάρτηση χρησιμοποιεί το σύστημα συντεταγμένων της ίδιας της οντότητας, ενώ στην περίπτωση θέσης χρησιμοποιεί αυτό του πράκτορα. Υπάρχουν φυσικά άπειρα διανύσματα που ικανοποιούν τέτοιες σχέσεις, π.χ. υπάρχουν άπειρα σημεία πάνω από μια οντότητα, αλλά η γλώσσα χρησιμοποιεί μια ορισμένη από το χρήστη τιμή απόστασης, ώστε να παράγει το διάνυσμα επιστροφής. Οι συναρτήσεις αυτές είναι:

- **vec3f p\_ent\_rlv** (ent, str): Επιστρέφει μια θέση στο χώρο σχετική με τη δοσμένη οντότητα ανάλογα με την τιμή του δεύτερου ορίσματος (εικ. 6.3). Αν έχει την τιμή 'front' ή 'behind', προστίθεται στο μπροστινό άκρο ή αφαιρείται από το πίσω άκρο της οντότητας ένα ποσοστό  $l$  του διανύσματος front, όπου το  $l$  τιμή απόστασης που δίνεται από το χρήστη. Στην περίπτωση των 'above' και 'below' συμβαίνει η αντίστοιχη διαδικασία χρησιμοποιώντας το διάνυσμα up και στα 'left' και 'right' χρησιμοποιείται το διάνυσμα right. Τέλος, αν το δεύτερο όρισμα

- έχει την τιμή 'on', επιστρέφεται το κεντρικό σημείο της πάνω επιφάνειας του περιβάλλοντος όγκου της οντότητας.
- `vec3f p_rlv (vec3f, str)`: Επιστρέφει μια θέση στο χώρο σχετική με τη δοσμένη θέση. Ο υπολογισμός γίνεται με αντίστοιχο τρόπο με αυτόν της `p_ent_rlv`, μόνο που χρησιμοποιούνται τα διανύσματα `front`, `up` και `right` του ίδιου του πράκτορα, ενώ δεν επιτρέπεται η τιμή 'on' στο δεύτερο όρισμα.



Εικόνα 6.3: Οι σχετικές θέσεις με βάση μια δοσμένη οντότητα

Τέλος, υπάρχουν δύο ακόμη συναρτήσεις που επιστρέφουν την απόσταση μεταξύ δύο οντοτήτων ή το μέσο σημείο μεταξύ αυτών:

- `float dist (ent, ent)`: Επιστρέφει την απόσταση μεταξύ δύο οντοτήτων
- `vec3f p_betw (ent, ent)`: Επιστρέφει το μέσο σημείο μεταξύ δύο οντοτήτων

### 6.2.5 Λογικές συναρτήσεις

Πέρα από τις συναρτήσεις που χειρίζονται τις χωρικές ιδιότητες, υπάρχουν ακόμη οι λογικές `and`, `or` και `not`, οι οποίες είναι πολύ χρήσιμες για τον ορισμό πολύπλοκων συνθηκών:

- `bool and (bool, bool)`: Επιστρέφει `true`, αν και τα δύο ορίσματα έχουν τιμή `true`
- `bool or (bool, bool)`: Επιστρέφει `true`, αν τουλάχιστον ένα από τα δύο ορίσματα έχει τιμή `true`
- `bool not (bool)`: Επιστρέφει την αντίθετη τιμή του ορίσματος



Τέλος, δύο σημαντικές συναρτήσεις είναι οι *exists* και *forall*, αντίστοιχες των λογικών *υπάρχει* και *για κάθε*:

- **bool exists** (ent, bool, bool): Το πρώτο όρισμα θα πρέπει να είναι μεταβλητή τύπου *entity* και τα επόμενα δύο συναρτήσεις με τύπο επιστροφής *boolean* που χρησιμοποιούν την μεταβλητή. Αν *e* η μεταβλητή και  $f_1(e)$ ,  $f_2(e)$  οι δύο συναρτήσεις, η *exists* επιστρέφει *true* εάν υπάρχει τουλάχιστον μια οντότητα στη μνήμη για την οποία οι συναρτήσεις  $f_1$  και  $f_2$  αληθεύουν ταυτόχρονα. Στην περίπτωση αυτή η μεταβλητή παίρνει ως τιμή την πρώτη τέτοια οντότητα που βρέθηκε. Για παράδειγμα η συνθήκη *exists(x, eq([x]class, 'bottle'), on(x, \*Table1))* επιστρέφει *true*, εάν υπάρχει οντότητα της οποίας η τάξη είναι *bottle* και βρίσκεται πάνω στην οντότητα *Table1*.
- **bool forall** (ent, bool, bool): Δηλώνεται με αντίστοιχο τρόπο με την *exists*, δηλαδή με μια μεταβλητή *e* και δύο συναρτήσεις  $f_1(e)$  και  $f_2(e)$  και επιστρέφει *true* αν για όλες τις οντότητες στη μνήμη, για τις οποίες ισχύει  $f_1(e)$  ισχύει και  $f_2(e)$ . Για παράδειγμα η συνθήκη *forall(x, on(x, \*Table1), eq([x]class, 'bottle'))* επιστρέφει *true*, αν όλες οι οντότητες πάνω στην οντότητα *Table1* είναι της τάξης *bottle*.

### 6.2.6 Αριθμητικές συναρτήσεις

Η SLaVE περιλαμβάνει ακόμα ορισμένες συναρτήσεις που κάνουν συγκρίσεις και αριθμητικές πράξεις μεταξύ των τιμών των ορισμάτων. Οι συναρτήσεις αυτές είναι οι:

- **bool eq** (.... ..): Επιστρέφει *true*, αν οι τιμές των δύο ορισμάτων είναι ίσες ή περίπου ίσες στην περίπτωση σύγκρισης ρητών αριθμών. Μπορεί να εφαρμοστεί σε όλους τους διαθέσιμους τύπους δεδομένων
- **bool grt** (.... ..): Εφαρμόζεται στους τύπους *integer* και *float* και επιστρέφει *true*, αν η τιμή του πρώτου ορίσματος είναι μεγαλύτερη από την τιμή του δεύτερου.
- **bool lss** (.... ..): Εφαρμόζεται στους τύπους *integer* και *float* και επιστρέφει *true*, αν η τιμή του πρώτου ορίσματος είναι μικρότερη από την τιμή του δεύτερου.

- ... **add** (... , ...): Εφαρμόζεται στους τύπους integer, float και vector και επιστρέφει το άθροισμα των δύο ορισμάτων.
- ... **sub** (... , ...): Εφαρμόζεται στους τύπους integer, float και vector και επιστρέφει το αποτέλεσμα της αφαίρεσης του δεύτερου ορίσματος από το πρώτο.
- ... **mul** (... , ...): Εφαρμόζεται στους τύπους integer και float και επιστρέφει το γινόμενο των δύο ορισμάτων.
- ... **div** (... , ...): Εφαρμόζεται στους τύπους integer και float και επιστρέφει το πηλίκο της διαίρεσης του πρώτου ορίσματος με το δεύτερο.
- **int mod** (int, int): Επιστρέφει το υπόλοιπο της διαίρεσης του πρώτου ορίσματος με το δεύτερο.
- float **dot\_prod** (vec3f, vec3f): Επιστρέφει το εσωτερικό γινόμενο των δύο διανυσμάτων
- vec3f **cross\_prod** (vec3d, vec3f): Επιστρέφει το εξωτερικό γινόμενο των δύο διανυσμάτων.

Τέλος, υπάρχει και ένας αριθμός από βοηθητικές συναρτήσεις για την προσπέλαση, προσθήκη, διαγραφή και αντικατάσταση των στοιχείων μιας λίστας

### 6.2.7 Προγραμματισμός κανόνων αντίληψης

Για τον προγραμματισμό των κανόνων αντίληψης ο χρήστης αρχικά δηλώνει τους τύπους των κατηγορημάτων που θα χρησιμοποιηθούν και που είναι δυνατόν να προστεθούν στις πεποιθήσεις του πράκτορα, και στη συνέχεια τους κανόνες αντίληψης. Η δήλωση των κατηγορημάτων γίνεται ως εξής:

*όνομα ( τύπος1, τύπος2, ...)*

δηλαδή ορίζεται το όνομα του κατηγορήματος και ο αριθμός και οι τύποι των ορισμάτων που δέχεται, π.χ. *has(ent, ent)*.

Οι κανόνες αντίληψης είναι δηλώνονται στην παρακάτω μορφή:

*συνθήκη -> κατηγορημα*

όπου μια συνθήκη είναι είτε μια από τις συναρτήσεις της SLaVE με τύπο επιστροφής boolean ή ένα από τα κατηγορήματα που έχουν οριστεί από το χρήστη. Στην πρώτη περίπτωση η τιμή της συνθήκης είναι η τιμή επιστροφής της συνάρτησης, ενώ στη δεύτερη περίπτωση η συνθήκη είναι αληθής, αν και μόνο αν το κατηγορήμα υπάρχει στα πιστεύω του πράκτορα. Οι κανόνες αντίληψης ελέγχονται σε συχνότητα που ορίζεται από το χρήστη και μπορούν να ενεργοποιηθούν / απενεργοποιηθούν σε πραγματικό χρόνο με τη χρήση συγκεκριμένης ενέργειας κατά τη διάρκεια εκτέλεσης ενός έργου. Για όλους τους κανόνες που είναι ενεργοί, εάν η συνθήκη είναι αληθής, το αντίστοιχο κατηγορήμα προστίθεται στις πεποιθήσεις. Στην περίπτωση που αυτή η συνθήκη γίνει ξανά ψευδής, το σχετικό κατηγορήμα θα απομακρυνθεί αυτόματα. Τόσο η συνθήκη όσο και το κατηγορήμα ενός κανόνα αντίληψης μπορούν να χρησιμοποιήσουν ως ορίσματα σταθερούς όρους, μεταβλητές, συναρτήσεις ή ένα συνδυασμό αυτών.

Ο χρήστης μπορεί επίσης να δηλώσει νέες μεταβλητές με τοπική ορατότητα στον κανόνα αντίληψης, αρκεί τα ονόματά τους να είναι διαφορετικά από αυτά των προκαθορισμένων χαρακτηριστικών. Αυτές οι μεταβλητές  $\{ v_1, v_2, \dots, v_n \}$  είναι υποχρεωτικά τύπου entity και ο κανόνας επεξεργάζεται ως εξής: Για κάθε σύνολο ενεργειών  $\{ e_1, e_2, \dots, e_n \}$  που ικανοποιούν τη συνθήκη το κατηγορήμα προστίθεται στα πιστεύω με  $v_1=e_1, v_2=e_2, \dots, v_n=e_n$ . Για παράδειγμα ο κανόνας  $on(X,Y) \rightarrow is\_above(X,Y)$  θα προσθέσει στις πεποιθήσεις το κατηγορήμα  $is\_above(e1,e2)$  για κάθε ζευγάρι οντοτήτων  $\{ e1, e2 \}$  για το οποίο η συνθήκη  $on(e1,e2)$  είναι αληθής.

### 6.2.8 Προγραμματισμός έργων

Τα έργα προγραμματίζονται με τη χρήση εντολών έργου. Κάθε έργο δηλώνεται με το όνομά του και τα ορίσματα που δέχεται:

TASK όνομα ( τύπος1 όνομα1, τύπος2 όνομα2, ...)

Στη συνέχεια ακολουθεί ένας αριθμός τοπικών μεταβλητών και ένα block από εντολές έργου που ορίζουν πώς θα εκτελεστεί το έργο. Ένα block δηλώνεται με τη μορφή  $c_1; c_2; \dots c_n$ , όπου τα  $c_1, c_2, \dots, c_n$  είναι εντολές έργου. Οι πιθανές εντολές έργου είναι:

- $\langle \text{ενέργεια} \rangle$ : εκτελείται μια μοναδική ενέργεια



- *task* <έργο>: ένα έργο μπορεί να κληθεί μέσα από ένα άλλο, και με τον τρόπο αυτό μπορούν να κατασκευαστούν υψηλότερου επιπέδου έργα ως συνδυασμός πιο απλών
- *PAR*( <block b1>, <block b2>): Τα block b1 και b2 εκτελούνται παράλληλα
- *DO*( <block b> ) *UNTIL* c: Το block b εκτελείται επαναλαμβανόμενα μέχρι να αληθεύει η συνθήκη c. Η c μπορεί να είναι σταθερός όρος, μεταβλητή, συνάρτηση ή και συνδυασμός αυτών.
- *IF* <bool c> *THEN* (<block b1>) *ELSE* (<block b2>): Εάν η συνθήκη c είναι αληθής, τότε εκτελείται το block b1, αλλιώς εκτελείται το block b2

Η πιο απλή δήλωση έργου είναι το να υπάρχει μια ακολουθία από ενέργειες που χωρίζονται με ερωτηματικό. Οι ενέργειες αυτές θα εκτελεστούν σειριακά και η εκτέλεση του έργου θα τερματιστεί, όταν τελειώσει και η τελευταία ενέργεια. Η παράλληλη εκτέλεση ενεργειών ή ακολουθιών ενεργειών μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση της εντολής *PAR*. Ο χρήστης ορίζει δύο block που θα εκτελεστούν παράλληλα μέχρι να τερματίσουν και τα δύο με επιτυχία.

Υπάρχουν περιπτώσεις που είναι επιθυμητό ο πράκτορας να συνεχίζει να εκτελεί το ίδιο block ενεργειών μέχρι να είναι αληθής κάποια συνθήκη. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την εντολή *DO-UNTIL*. Η διαφορά μεταξύ αυτής της ενέργειας και άλλων σχετικών του κλασσικού διαδικαστικού προγραμματισμού είναι ότι η τιμή της συνθήκης τερματισμού δεν ελέγχεται μόνο στο τέλος του block αλλά και κατά τη διάρκεια της εκτέλεσής του. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί κάποιος να δώσει σε έναν πράκτορα την εντολή να εκτελέσει έναν αριθμό ενεργειών, για να πετύχει τους στόχους του, αλλά εάν η συνθήκη ελέγχου του στόχου αληθεύει νωρίτερα, οι υπόλοιπες ενέργειες θα παραληφθούν και θα συνεχίσει η εκτέλεση της επόμενης εντολής έργου. Η συχνότητα ελέγχου της συνθήκης κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των εντολών ορίζεται από το χρήστη.

Τέλος, μια σημαντική εντολή έργου για εκτέλεση blocks υπό συνθήκη είναι η δήλωση *IF-THEN-ELSE*, η οποία ελέγχει μια συνθήκη και αποφασίζει ποιο από τα δύο blocks θα εκτελεστεί. Αυτό είναι χρήσιμο σε περιπτώσεις που χρειάζεται κάποια τοπική

απόφαση, π.χ. το έργο  $\text{sit}(\text{entity } e)$  μπορεί να υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας διαφορετικές ενέργειες ανάλογα με το είδος της  $e$  (καναπές, καρέκλα, σκαμπό κλπ).

Οι ενέργειες που υποστηρίζονται αυτή τη στιγμή είναι:

- *κίνηση με θέσεις κλειδιά*: ο πράκτορας μπορεί να εκτελέσει προκαθορισμένες κινήσεις από τη βιβλιοθήκη συνθετικών κινήσεων. Η εντολή είναι:
  - **anim str**: Εκτέλεση της συνθετικής κίνησης με όνομα το δοσμένο όρισμα
- *μετακίνηση*: κάποιος μπορεί να διατάξει τον πράκτορα να βαδίσει μέχρι ένα συγκεκριμένο σημείο, να ακολουθήσει ένα μονοπάτι, να βαδίσει σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση (εμπρός, πίσω, πλάγια) ή να στρίψει το σώμα του κατά μια δοσμένη γωνία. Οι εντολές είναι:
  - **walk\_p vec3f**: Βάδισμα μέχρι τη δοσμένη θέση
  - **walk\_r vec3f**: Περιστροφή του σώματος μέχρι τις δοσμένες γωνίες
  - **walk\_pr vec3f vec3f**: Βάδισμα μέχρι τη θέση που δίνεται από το πρώτο όρισμα με τελική περιστροφή αυτή που δίνεται στο δεύτερο
  - **walk\_d str**: Συνεχές βάδισμα προς μια κατεύθυνση. Η κατεύθυνση δίνεται ως συμβολοσειρά και μπορεί να είναι 'forward' (εμπρός), backwards (πίσω), left (αριστερά), right (δεξιά).
  - **walk\_path list**: Βάδισμα ενός μονοπατιού που ορίζεται από μια λίστα σημείων στο χώρο
- *αντίστροφη κινηματική*: Κάποιος μπορεί να ορίσει μια αλυσίδα κινηματικής και να αφήσει τον πράκτορα να μετακινηθεί μέχρι το τελικό στοιχείο δράσης (end-effector), να έχει μια συγκεκριμένη θέση ή και ένα συγκεκριμένο προσανατολισμό.
  - **ik\_p list vec3f**: Αντίστροφη κινηματική για τη δοσμένη λίστα οντοτήτων μέχρι το τελικό στοιχείο δράσης να έχει τη δοσμένη θέση

- **ik\_pr vec3f vec3f**: Αντίστροφη κινηματική για τη δοσμένη λίστα οντοτήτων μέχρι το τελικό στοιχείο δράσης να έχει τη δοσμένη θέση και το δοσμένο προσανατολισμό.
- *στοιχειώδεις ενέργειες*: Οποιαδήποτε από τις δυνατές στοιχειώδεις ενέργειες μπορεί να κληθεί από μόνη της. Οι στοιχειώδεις ενέργειες καλούνται με τις παρακάτω εντολές:
  - **translate ent vec3f**: Μετατόπιση μιας οντότητας
  - **rotate ent vec3f**: Περιστροφή μιας οντότητας
  - **add\_child ent ent**: Προσθήκη υπο-οντότητας
  - **rem\_child ent ent**: Αφαίρεση υπο-οντότητας
  - **insert ent**: Εισαγωγή οντότητας
  - **copy\_ent ent str**: Αντιγραφή των χαρακτηριστικών δοσμένης οντότητας σε νέα, που θα έχει ως όνομα το δεύτερο όρισμα
  - **delete ent**: Διαγραφή οντότητας
  - **send\_msg ent ...**: Αποστολή μιας τιμής (οποιοδήποτε τύπου) ως μηνύματος σε έναν άλλο πράκτορα ή στον κόσμο
- *εσωτερικές ενέργειες*: Οι ενέργειες αυτές αφορούν την εσωτερική κατάσταση του πράκτορα και δεν έχουν επίδραση στον κόσμο, δηλαδή δεν καταλήγουν σε στοιχειώδεις ενέργειες. Οι ενέργειες αυτές είναι οι παρακάτω:
  - **get\_msg ent ...**: Αναμονή μέχρι τη λήψη μηνύματος από κάποιον πράκτορα. Το μήνυμα αντιγράφεται στη δοσμένη μεταβλητή, που θα πρέπει να είναι του ίδιου τύπου.
  - **lock list**: «Κλειδωμα» τμημάτων του πράκτορα. Ο προσανατολισμός τους παραμένει αμετάβλητος ανεξάρτητα από τις συνθετικές κινήσεις που εκτελεί ο πράκτορας
  - **unlock list**: Ξεκλειδωμα των τμημάτων.



- **copy ... ..**: Αντιγραφή τιμών. Η δεύτερη τιμή γράφεται στην πρώτη μεταβλητή.
- **valid list**: Ενεργοποίηση κανόνων αντίληψης. Κάθε κανόνας έχει μοναδικό αριθμό, που είναι η σειρά με την οποία δηλώθηκε στο πρόγραμμα.
- **invalid list**: Απενεργοποίηση κανόνων αντίληψης.

Κάθε ενέργεια έχει έναν αριθμό από ορίσματα και εκτός από τις ίδιες τις τιμές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεταβλητές ή οποιαδήποτε από τις διαθέσιμες συναρτήσεις της SLaVE.

## 6.3 Παραδείγματα

Θα παρουσιαστούν δύο παραδείγματα για να φανεί πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί η γλώσσα SLaVE για να παραγάγει συμβολική περιγραφή του κόσμου, να πετύχει συγκεκριμένες αλληλεπιδράσεις πράκτορα με αντικείμενα και να περιγράψει πιο σύνθετες συμπεριφορές του πράκτορα ορίζοντας έργα υψηλού επιπέδου.

### 6.3.1 Παρατηρώντας το περιβάλλον

Υπάρχουν περιπτώσεις που μπορεί ο πράκτορας να μην ξέρει αρχικά με ποιο αντικείμενο θα πρέπει να αλληλεπιδράσει. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ο πράκτορας θα πρέπει να παρατηρήσει την κατάσταση του κόσμου και να επιλέξει τα αντίστοιχα αντικείμενα, πριν εκτελέσει ένα έργο. Έστω, για παράδειγμα, ότι ένας πράκτορας μπαίνει σε ένα μπαρ και αναζητά ένα ελεύθερο τραπέζι. Ας υποθέσουμε ότι δεν υπάρχουν reserve τραπέζια, επομένως ένα τραπέζι θεωρείται ελεύθερο, εάν όλες οι καρέκλες γύρω από αυτό δεν είναι κατειλημμένες. Υποθέτουμε ακόμα ότι μια καρέκλα είναι κατειλημμένη, εάν η γεωμετρία ενός εικονικού ανθρώπου διαπερνά την γεωμετρία της, οπότε πιθανώς κάθεται σε αυτήν ή τη μετακινεί. Ο πράκτορας μπορεί να χρησιμοποιήσει έναν συνδυασμό κανόνων αντίληψης, για να εξετάσει αν υπάρχει κάποιο ελεύθερο τραπέζι στον κόσμο. Ένα τέτοιο πιθανό σύνολο κανόνων αντίληψης είναι το παρακάτω:

```
1: and(
    and( eq( [Chair]class, 'chair' ), eq( [Table]class, 'table' ) ),
    near( Chair, Table )
) -> belongs( Chair, Table )
```

```
2: and(
```

```

    and( eq( [Human]class, 'human'), eq([Chair]class, 'chair' ) ),
    intersect( Human, Chair )
) -> sitting( Human, Chair )

3: forall( Chair, belongs(Chair, Table), not( sitting(Human, Chair) ) )
    -> free(Table)

```

Ο πρώτος κανόνας προσθέτει στις πεποιθήσεις το κατηγορήμα *belongs(Chair, Table)* για όλα τα ζευγάρια οντοτήτων { Chair, Table } της τάξης 'chair' και 'table' αντίστοιχα, που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση. Ο δεύτερος κανόνας προσθέτει το κατηγορήμα *sitting(Human, Chair)* για όλες τις οντότητες κλάσης 'human' που συγκρούονται με οντότητες της κλάσης 'chair'. Μετά από την εφαρμογή των δύο αυτών κανόνων, ο πράκτορας θα έχει έναν αριθμό από πεποιθήσεις, που θα περιγράφουν ποιες καρέκλες ανήκουν σε ποια τραπέζια και ποιες καρέκλες είναι κατειλημμένες. Χρησιμοποιώντας τα κατηγορήματα αυτά, ο τρίτος κανόνας εντοπίζει τα ελεύθερα τραπέζια αναζητώντας αυτά, για τα οποία όλες οι καρέκλες που τους ανήκουν δεν είναι κατειλημμένες.

Η εικόνα 6.4 δείχνει ένα απόσπασμα μιας σκηνής με τα αντίστοιχα ονόματα των τραπεζιών, καρεκλών και ανθρώπων. Στο παράδειγμα αυτό οι τρεις παραπάνω κανόνες θα προσθέσουν τα παρακάτω πιστεύω:

**Κανόνας 1:**

```

[ belongs(Chair1, Table1), belongs(Chair2, Table1), belongs(Chair3, Table1),
  belongs(Chair4, Table1), belongs(Chair5, Table2), belongs(Chair6, Table2),
  belongs(Chair7, Table2), belongs(Chair8, Table2), belongs(Chair9, Table3),
  belongs(Chair10, Table3), belongs(Chair11, Table3), belongs(Chair12, Table3)
]

```

**Κανόνας 2:**

```

[ sitting(John, Chair4), sitting(James, Chair1), sitting(Bob, Chair6) ]

```

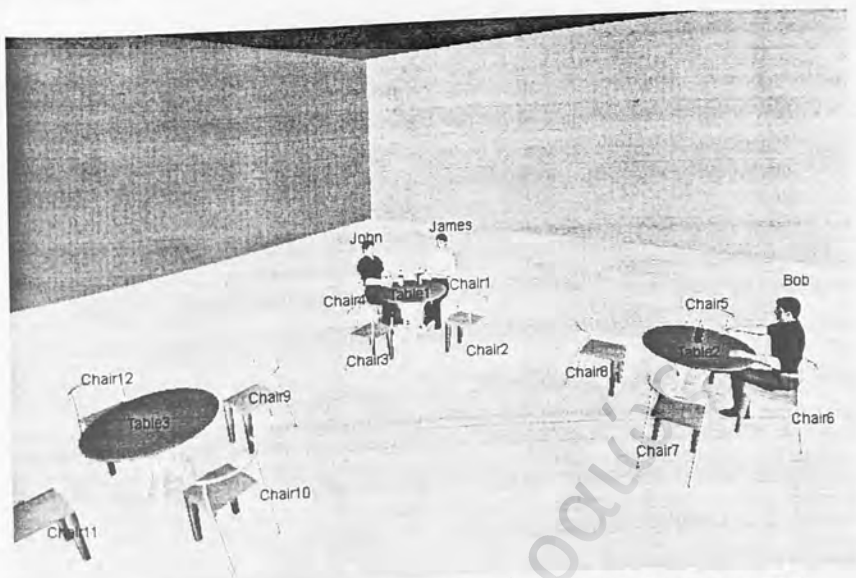
**Κανόνας 3:**

```

[ free(Table3) ]

```

Μετά από την επιτυχή αντίληψη ο πράκτορας θα γνωρίζει ότι η οντότητα της τάξης 'table' με όνομα Table3 είναι ελεύθερη και έτσι μπορεί να καθίσει σε αυτή και να παραγγείλει το ποτό του.



Εικόνα 6.4: Παράδειγμα σκηνοικού σε χώρο διασκέδασης με τα αντίστοιχα ονόματα των οντοτήτων

### 6.3.2 Αλληλεπίδραση με αντικείμενα

Το δεύτερο παράδειγμα είναι ένας ορισμός έργου. Χρησιμοποιώντας το ίδιο σενάριο, όπως και στο προηγούμενο παράδειγμα, θα παρουσιάσουμε την περίπτωση που ένας πράκτορας πηγαίνει και κάθεται σε μια καρέκλα ενός τραπεζιού. Οι ενέργειες που θα πρέπει να κάνει ώστε να φέρει σε πέρας ένα τέτοιο έργο είναι: να πάει στην καρέκλα, να τη μετακινήσει προς τα πίσω και να καθίσει σε αυτήν. Ο παρακάτω κώδικας ορίζει το έργο αυτό χρησιμοποιώντας την γλώσσα SLaVE.

```

1  TASK take_a_seat(ent Table, ent Chair) (
2
3      walk_pr p_ent_rlv(Chair, 'behind') [Chair]rot;
4      PAR(
5          ik_p (*Abdomen, *L_Shoulder, *L_Elbow, *L_Wrist, *L_Grip)
6              [Chair]left_spot
7
8          ik_p (*R_Shoulder, *R_Elbow, *R_Wrist, *R_Grip) [Chair]right_spot;
9          add_child R_Grip Chair
10     );
11     lock (*L_Shoulder, *L_Elbow, *R_Shoulder, *R_Elbow);
12     DO( walk_d 'backwards' )
13     UNTIL grt( dist( Chair, Table ), 1.0 );
14     rem_child R_Grip Chair;
15     unlock (*L_Shoulder, *L_Elbow, *R_Shoulder, *R_Elbow);

```



```

16 walk_pr p_ent_rlv(Chair, 'front') [Chair]rot;
17 DO( anim 'sitdown' )
18 UNTIL intersect( me, [Chair]seat );
19 DO( anim 'lieback' )
20 UNTIL intersect( me, [Chair]back );
21 }

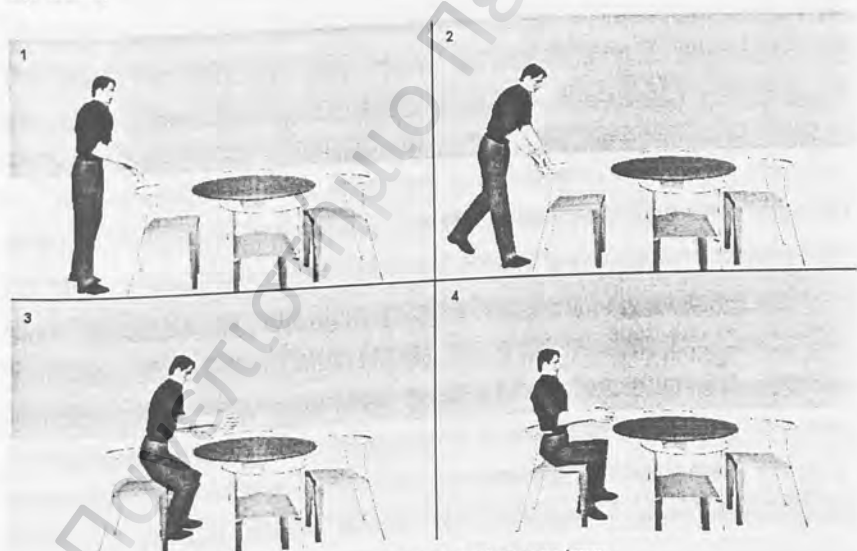
```

Το έργο `take_a_seat` χρησιμοποιεί δύο οντότητες ως ορίσματα: την καρέκλα στην οποία θα καθίσει ο πράκτορας και το τραπέζι που βρίσκεται κοντά της.

Η πρώτη ενέργεια (γραμμή 3) δίνει εντολή στον πράκτορα να πάει πίσω από την καρέκλα. Η ενέργεια `walk_pr` παίρνει ως ορίσματα μια τελική θέση και μια τελική περιστροφή και ο πράκτορας αρχίζει να βαδίζει μέχρι να πετύχει τους στόχους αυτούς. Στη συνέχεια ο πράκτορας κάνει δυο ενέργειες παράλληλα (εντολή `PAR`, γραμμή 4). Χρησιμοποιεί αντίστροφη κινηματική ταυτόχρονα για δύο κινηματικές αλυσίδες, συγκεκριμένα τη μέση με το αριστερό χέρι στην πρώτη και το δεξί χέρι στην δεύτερη, μέχρις ότου τα τελικά τμήματα (αριστερή και δεξιά λαβή) να έχουν συγκεκριμένες θέσεις. Η καρέκλα θα πρέπει στο παράδειγμα αυτό να έχει δύο προκαθορισμένα σημεία ως χαρακτηριστικά, έτσι ώστε ο πράκτορας να τοποθετήσει τα χέρια του στα σημεία αυτά και να αναπαραστήσει το πιάσιμο της καρέκλας. Η ενέργεια `ik_p` χρησιμοποιεί μια λίστα από οντότητες που ορίζουν την κινηματική αλυσίδα και μια τελική θέση που είναι ο στόχος. Στον παραπάνω κώδικα υποθέτουμε ότι ο αριστερός ώμος του πράκτορα ονομάζεται `L_Shoulder`, ο αριστερός του αγκώνας `L_Elbow`, κλπ.

Η ενέργεια στην γραμμή 9 συνδέει την καρέκλα με την ιεραρχία του σώματος του πράκτορα και γίνεται παιδί της δεξιάς λαβής του πράκτορα. Ορισμένα μέλη του σώματος του πράκτορα κλειδώνονται (γραμμή 11) έτσι ώστε να μην κινηθούν κατά τη διάρκεια του βαδίσματος. Χρησιμοποιώντας την εντολή έργου `DO-UNTIL`, ο πράκτορας βαδίζει προς τα πίσω, μέχρι η καρέκλα να έχει μια συγκεκριμένη απόσταση από το τραπέζι. Η ενέργεια `walk_d` δέχεται μια συμβολοσειρά ως όρισμα (`forward`, `backwards`, `left`, `right`) και ο πράκτορας βαδίζει μόνιμα προς αυτή την κατεύθυνση. Όσο ο πράκτορας βαδίζει, η καρέκλα ακολουθεί την κίνησή του, γιατί είναι τμήμα της ιεραρχίας του πράκτορα. Στην συνέχεια η καρέκλα αποδεσμεύεται από τον πράκτορα και τα χέρια του ξεκλειδώνονται ξανά (γραμμές 14, 15).

Στο επόμενο βήμα, ο πράκτορας βαδίζει στο μπροστινό μέρος της καρέκλας (γραμμή 16) και ξεκινά να κάθεται εκτελώντας μια προκαθορισμένη συνθετική κίνηση μέχρι το σώμα του να συγκρουστεί με την θέση της καρέκλας. Υποθέτουμε ότι η καρέκλα είναι ένα σύνθετο αντικείμενο που αποτελείται από διάφορα μέρη, συμπεριλαμβανομένων της θέσης (seat) και της πλάτης (back). Τέλος, ο πράκτορας εκτελεί μια ακόμα ακολουθία συνθετικής κίνησης και γέρνει το σώμα του προς τα πίσω μέχρι να συγκρουστεί με την πλάτη της καρέκλας. Η εικόνα 6.5 απεικονίζει 4 στιγμιότυπα εκτέλεσης του παραδείγματος. Στο πρώτο, τα χέρια και η μέση του πράκτορα κινούνται παράλληλα, ώστε να πιάσει την καρέκλα, ενώ στο δεύτερο ο πράκτορας κινείται προς τα πίσω συμπαρασύροντας την καρέκλα μέχρι να αποκτήσει μια συγκεκριμένη απόσταση από το τραπέζι. Στη συνέχεια, ο πράκτορας εκτελεί μια προκαθορισμένη συνθετική κίνηση (στιγμιότυπο 3), μέχρι το σώμα του να έρθει σε επαφή με την καρέκλα. Τέλος ο πράκτορας στρίβει προς τα πίσω, για να ακουμπήσει την πλάτη.



Εικόνα 6.5: Στιγμιότυπα εκτέλεσης του έργου

## 6.4 Σχετικές Εργασίες

Ο τρόπος αντίληψης και ενέργειας των πρακτόρων είναι κρίσιμα θέματα για την αληθοφάνεια και τη λειτουργικότητα των ευφών εικονικών περιβαλλόντων και για το λόγο αυτό εμφανίζονται αρκετές σχετικές προσεγγίσεις στην βιβλιογραφία. Στις

περισσότερες από αυτές όμως η αλληλεπίδραση πράκτορα – περιβάλλοντος είναι προσανατολισμένη στην εφαρμογή, δηλαδή οι ενέργειες του πράκτορα και ο τρόπος που αντιλαμβάνεται το περιβάλλον είναι προκαθορισμένα, και το μόνο μεταβλητό είναι η υψηλού επιπέδου συμπεριφορά του πράκτορα. Κάτι τέτοιο, φυσικά, δεν ευνοεί την επαναχρησιμοποίηση των πρακτόρων σε διαφορετικού τύπου περιβάλλοντα.

Σε ό,τι αφορά την προγραμματιζόμενη αντίληψη των πρακτόρων, μια σημαντική προσέγγιση είναι η χρήση ενός συστήματος διασωλήνώσεων (pipeline) από *φίλτρα αντίληψης* (Bordeux et al., 1999). Τα φίλτρα αυτά δέχονται ως είσοδο οντότητες του περιβάλλοντος, εξάγουν συγκεκριμένες πληροφορίες για αυτές και αποφασίζουν αν θα πρέπει να τις αφήσουν να περάσουν στην συνέχεια της διασωλήνωσης ή όχι. Οι πληροφορίες που λαμβάνονται με τη μέθοδο αυτή αφορούν, παρόλα αυτά, κυρίως τον ίδιο τον πράκτορα, π.χ. πιθανή κρούση του πράκτορα με άλλα αντικείμενα, ενώ δεν υπάρχουν ενδείξεις για τον τρόπο με τον οποίο μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει την αρχιτεκτονική αυτή για σχέσεις μεταξύ διαφορετικών αντικειμένων, όπως π.χ. δύο αντικείμενα που συγκρούονται μεταξύ τους. Επιπλέον, η έξοδος της διασωλήνωσης είναι πάντα μια τελική φιλτραρισμένη λίστα οντοτήτων και όχι κάποια υψηλότερου επιπέδου περιγραφή του κόσμου.

Η προσέγγιση που χρησιμοποιείται από τους Caicedo και Thalmann (2000) είναι κάπως διαφορετική. Ο κόσμος διατηρεί μια σφαιρική βάση γνώσης και οι πράκτορες προσθέτουν ή αφαιρούν γνώση από αυτόν ως αποτέλεσμα των ενεργειών τους. Η προσέγγιση αυτή είναι αποδοτική σε σχετικά στατικά περιβάλλοντα, γιατί οι πράκτορες δέχονται τη συμβολική περιγραφή του κόσμου απευθείας από τη σφαιρική βάση γνώσης, χωρίς να χρειάζεται να κάνουν επιπλέον υπολογισμούς. Παρόλα αυτά, η χρήση βάσης γνώσης φαίνεται να παρουσιάζει προβλήματα σε δυναμικά περιβάλλοντα, όπου η κατάσταση του κόσμου αλλάζει διαρκώς. Σε τέτοιες περιπτώσεις, υπάρχει γνώση που δεν μπορεί εκ των προτέρων να οριστεί ως αποτέλεσμα ενεργειών, όπως, για παράδειγμα, σε ένα παιχνίδι ποδοσφαίρου, όπου ο κάθε παίκτης θα πρέπει να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή ποιοι παίκτες είναι κοντά στην μπάλα. Με τη γλώσσα SLAVE ο κάθε πράκτορας κατασκευάζει τις δικές του πεποιθήσεις με βάση τους κανόνες αντίληψης που ακολουθεί και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και σε δυναμικά περιβάλλοντα..



Σε ό,τι αφορά τις ενέργειες των εικονικών πρακτόρων, μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση είναι η *Παραμετροποιημένη Αναπαράσταση Ενεργειών* (Parameterized Action Representation) (Badler et al., 2000), μια γλώσσα που σχεδιάστηκε για να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ των εντολών σε φυσική γλώσσα και των πρακτόρων που πρόκειται να τις εκτελέσουν. Χρησιμοποιώντας την Παραμετροποιημένη Αναπαράσταση Ενεργειών μπορεί κανείς να δώσει μια πλήρη περιγραφή μιας ενέργειας ορίζοντας τις συνθήκες εφαρμογής, τα βήματα εκτέλεσης και τις συνθήκες τερματισμού. Μια ενέργεια εκτελείται, αν αληθεύουν οι συνθήκες εφαρμογής, και τερματίζει, όταν επιτευχθούν οι συνθήκες τερματισμού. Επιπλέον, οι ενέργειες μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους με τη χρήση προκαταρκτικών ορισμών, ένα σύνολο από δηλώσεις του τύπου <συνθήκη, ενέργεια>, στις οποίες για κάθε συνθήκη που δεν είναι αληθής εκτελείται η αντίστοιχη ενέργεια, πριν την εκτέλεση της τρέχουσας ενέργειας.

Η Παραμετροποιημένη Αναπαράσταση Ενεργειών είναι ένας επιτυχημένος τρόπος συνδυασμού πολύπλοκων ενεργειών και ορισμού της συμπεριφοράς του πράκτορα. Φαίνεται, παρόλα αυτά, ότι ο έλεγχος συνθηκών περιορίζεται σε τιμές μεταβλητών και συμβολικές σχέσεις, ενώ στην περίπτωση της SLaVE μπορούν να χρησιμοποιηθούν έλεγχοι σε χωρικές σχέσεις και συγκρούσεις μεταξύ αντικειμένων για την ενεργοποίηση και τον τερματισμό των ενεργειών. Επιπλέον, η ικανότητα χρήσης και τροποποίησης μεταβλητών και κλήσης έργων μέσα από άλλα έργα στην SLaVE κάνει ευκολότερο τον ορισμό υψηλού επιπέδου έργων ως συνδυασμό πιο απλών. Αυτό γίνεται δηλώνοντας επιπλέον κώδικα, χωρίς να χρειαστεί να αλλάξουν επιμέρους τμήματα των έργων, όπως θα συνέβαινε στην περίπτωση της Παραμετροποιημένης Αναπαράστασης Ενεργειών, όπου θα έπρεπε να μεταβληθούν οι προκαταρκτικοί ορισμοί των υπο-έργων.

Οι M. Kallmann και D. Thalmann (2002) προτείνουν ένα νέο είδος συνθετικής κίνησης συμπεριφοράς, χρησιμοποιώντας μια επέκταση των εικονικών αντικειμένων, που ονομάζουν έξυπνα αντικείμενα (smart objects), όπου όλες οι δυνατότητες αλληλεπίδρασης με ένα αντικείμενο συμπεριλαμβάνονται στην ίδια την περιγραφή του. Εκτός από τις εσωτερικές ιδιότητες των αντικειμένων (περιγραφή κινήσεων, φυσικές ιδιότητες, κλπ) τα έξυπνα αντικείμενα περιλαμβάνουν πληροφορίες που βοηθούν τους πράκτορες στην εκτέλεση κάθε δυνατής αλληλεπίδρασης. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφουν την αντίδραση του αντικείμενου σε κάθε

αλληλεπίδραση, και την αναμενόμενη συμπεριφορά του πράκτορα για την εκτέλεσή της.

Η προσέγγιση των έξυπνων αντικειμένων είναι ιδιαίτερα σημαντική για την επαναχρησιμοποίηση των σχεδιασμένων αντικειμένων και την αποκέντρωση του ελέγχου συνθετικής κίνησης, αλλά έχει το μειονέκτημα ότι όλοι οι πράκτορες αλληλεπιδρούν με τα αντικείμενα με τον ίδιο τρόπο. Επιπλέον, περιορίζει τις ικανότητες συμπεριφοράς των πρακτόρων σε απλές αλληλεπιδράσεις πράκτορα – αντικειμένου, ενώ ένα πολύπλοκο έργο μπορεί να περιλαμβάνει περισσότερα από ένα αντικείμενα και πράκτορες. Τα έξυπνα αντικείμενα είναι επίσης σχεδιασμένα μόνο για αλληλεπιδράσεις με ανθρωπόμορφους πράκτορες, πράγμα που σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να αποτελεί μειονέκτημα. Από την άλλη μεριά, με τη χρήση της SLaVE μπορεί κανείς να ενσωματώσει πληροφορία στα αντικείμενα (π.χ. με τον ορισμό σημείων πάνω στην επιφάνειά τους για ενέργειες πιασίματος), χωρίς όμως να περιορίζει τους πράκτορες στον τρόπο αλληλεπίδρασης μαζί τους. Επιπλέον, κατά τον ορισμό έργων στη SLaVE μπορούν να κατασκευαστούν πολύπλοκες ενέργειες, που περιλαμβάνουν διάφορες οντότητες, και εξαρτώνται όχι μόνο από την κατάσταση ενός αντικειμένου αλλά και από την κατάσταση του ευρύτερου περιβάλλοντος, η οποία μπορεί να ελέγχεται διαρκώς με τη χρήση των κατάλληλων συναρτήσεων.

Τέλος, ένα ενδιαφέρον σύστημα για τη δημιουργία συνθετικά κινούμενων ηθοποιών σε πραγματικό χρόνο είναι το *Impron* (Goldberg, 1997), που περιγράφεται αναλυτικά στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο. Το *Impron* δε φαίνεται να παρέχει τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης ενεργειών, καθώς όλα τα σενάρια ορίζονται σε χαμηλό επίπεδο δηλώνοντας συγκεκριμένες τιμές θέσης και περιστροφής των τμημάτων του σώματος. Επιπλέον, το σύστημα δεν μπορεί να θεωρηθεί προσανατολισμένο σε πράκτορες (agent-oriented), καθώς ο κάθε ηθοποιός είναι ελεύθερος να αλλάξει τις τιμές των χαρακτηριστικών άλλων ηθοποιών ως αποτέλεσμα των ενεργειών του.

## 6.5 Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, η γλώσσα SLaVE φαίνεται να είναι ένα ισχυρό εργαλείο στα χέρια των σχεδιαστών, καθώς σε συνδυασμό με την πλατφόρμα ανάπτυξης *SimHuman* δίνει τη δυνατότητα εύκολης προσαρμογής των πρακτόρων στις απαιτήσεις του εκάστοτε περιβάλλοντος, χωρίς να απαιτείται ιδιαίτερος προγραμματισμός. Διευκολύνει το χρήστη στην περιγραφή πολύπλοκων σεναρίων αλλά και στον ορισμό

του τρόπου αντίληψης του πράκτορα, με αποτέλεσμα να εξυπηρετεί ως ένας επιτυχημένος τρόπος διασύνδεσης της συμπεριφοράς του πράκτορα με την κίνηση και λειτουργία του στο περιβάλλον.

Επιπλέον, είναι σημαντικό το γεγονός ότι η συμβολική πληροφορία γεννιέται από τα γεωμετρικά δεδομένα του κόσμου και όχι ως αποτέλεσμα απευθείας μηνυμάτων από τον κόσμο, όπως συμβαίνει σε άλλες προσεγγίσεις. Κατά συνέπεια, οι πράκτορες μπορούν να λαμβάνουν υψηλού επιπέδου αποφάσεις με επιτυχία και σε δυναμικά περιβάλλοντα, όπου οι συνεχείς αλλαγές στην κατάσταση του κόσμου δεν μπορούν να περιγραφούν με προκαθορισμένα μηνύματα. Τέλος, η χρήση προγραμματιζόμενων κανόνων αντίληψης ευνοεί και περιπτώσεις, που διαφορετικοί τύποι πρακτόρων λειτουργούν με διαφορετικές αναπαραστάσεις του κόσμου στο ίδιο περιβάλλον, ένα πρόβλημα που δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί μέσω μηνυμάτων.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



# Πανεπιστήμιο Πειραιώς

## 7 ΕΙΚΟΝΙΚΟΙ ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ ΣΤΟΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΙΣΤΟ

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζεται η ιδιαίτερη περίπτωση των εικονικών περιβαλλόντων στον Παγκόσμιο Ιστό (World Wide Web) και η δυνατότητα εισαγωγής ευφών πρακτόρων σε αυτά. Αρχικά παρουσιάζονται αναλυτικά οι ιδιαιτερότητες των εφαρμογών στο Διαδίκτυο και της γλώσσας VRML ειδικότερα, καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης τους έναντι των αυτόνομων (standalone) εφαρμογών. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το μοντέλο ευφών εικονικών πρακτόρων προσαρμοσμένο στις απαιτήσεις της συγκεκριμένης πλατφόρμας, τόσο σε ό,τι αφορά τον κόσμο, όσο και σε ό,τι αφορά τους πράκτορες, και εξετάζεται το ζήτημα της διασύνδεσης με άλλες γλώσσες προγραμματισμού. Τέλος παρουσιάζεται αναλυτικά ένα παράδειγμα περιβάλλοντος με εικονικό πράκτορα κατασκευασμένο με βάση το προτεινόμενο μοντέλο.

### 7.1 Εισαγωγή

Ο Παγκόσμιος Ιστός (World Wide Web) είναι σήμερα ένα πολύ σημαντικό μέσο αλληλεπίδρασης με το χρήστη, καθώς παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα στον τρόπο διαχείρισης και αναπαράστασης πληροφοριών σε σχέση με τις αυτόνομες εφαρμογές. Πρώτα απ' όλα, είναι ιδιαίτερα χρήσιμο το γεγονός ότι οι χρήστες «κατεβάζουν» στο μηχανήμα τους μόνο τις πληροφορίες εκείνες που τους ενδιαφέρουν και όχι ολόκληρο το σύνολο του διαθέσιμου υλικού, κάνοντας κατ' αυτό τον τρόπο καλύτερη χρήση των πόρων του μηχανήματός τους. Δεύτερον, η χρήση συνδέσμων (hyperlinks) τους επιτρέπει να πλοηγούνται γρήγορα από σελίδα σε σελίδα και να οδηγούνται με ευκολία στις επιθυμητές πληροφορίες. Τέλος, είναι εξίσου σημαντική η δυνατότητα εμφάνισης των πληροφοριών του παγκοσμίου ιστού σε όλες τις διαθέσιμες πλατφόρμες, γεγονός που επιτρέπει την ουσιαστική διασύνδεση χρηστών διαφορετικών τύπων μηχανημάτων σε έναν ενιαίο νοητό χώρο, από απλό χώρο ανταλλαγής πληροφοριών μέχρι πολύπλοκες εφαρμογές εκπαίδευσης και συνεργασίας.

Η γλώσσα VRML είναι ένα πρότυπο αναπαράστασης εικονικών περιβαλλόντων για τον παγκόσμιο ιστό, που αναπτύχθηκε πριν από μερικά χρόνια, και φαίνεται να διατηρεί όλα τα παραπάνω πλεονεκτήματα, καθώς επιτρέπει τη χρήση συνδέσμων, που μεταφέρουν το χρήστη σε διαφορετικά περιβάλλοντα, και υποστηρίζεται από τις περισσότερες πλατφόρμες. Θα μπορούσε λοιπόν να χρησιμοποιηθεί ως βάση για την ενίσχυση των υπαρχόντων εφαρμογών στον παγκόσμιο ιστό παρέχοντας στο χρήστη ένα τρισδιάστατο περιβάλλον πλοήγησης και αλληλεπίδρασης. Ακόμα περισσότερο, θα μπορούσαν να προστεθούν και εικονικοί πράκτορες σε τέτοια περιβάλλοντα κάνοντας πιο φυσική και αληθοφανή την αλληλεπίδραση του χρήστη με αυτά.

Παρόλα αυτά, η γλώσσα VRML και τα αντίστοιχα προγράμματα πλοήγησης (VRML browsers) έχουν αρκετούς περιορισμούς που δεν επιτρέπουν την άμεση εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου για την κατασκευή ευφών εικονικών πρακτόρων. Οι περιορισμοί αυτοί οφείλονται κυρίως στον ελλιπή έλεγχο, που μπορεί να έχει ο προγραμματιστής πάνω στο τρισδιάστατο περιβάλλον, ο οποίος οδηγεί στη δυσκολία κατασκευής πολύπλοκων μηχανισμών για τους αισθητήρες και επιδραστές των πρακτόρων. Για το λόγο αυτό τα εικονικά περιβάλλοντα στον παγκόσμιο ιστό αντιμετωπίζονται ως ξεχωριστή περίπτωση και αναλύονται με λεπτομέρεια σε αυτό το κεφάλαιο, όπου προτείνονται εναλλακτικές αρχιτεκτονικές και τεχνικές υλοποίησής τους.

## 7.2 Η γλώσσα VRML

Η VRML (Virtual Reality Modelling Language – γλώσσα μοντελοποίησης εικονικής πραγματικότητας) αναπτύχθηκε το 1994 από τους Mark Pesce, Tony Parisi και Gavin Bell ως μια πρώτη προσέγγιση αναπαράστασης τρισδιάστατου περιεχομένου στον Διαδίκτυο. Παρουσιάστηκε την ίδια χρονιά στο Δεύτερο Διεθνές Συνέδριο για τον Παγκόσμιο Ιστό, που έγινε στο Σικάγο, και μερικούς μήνες αργότερα κατασκευάστηκε ο πρώτος λεκτικός και συντακτικός αναλυτής για VRML με το όνομα QvLib. Ως επίσημη ημερομηνία έναρξης της VRML 1.0 ορίστηκε η 1<sup>η</sup> Απριλίου 1995, οπότε και εμφανίστηκαν αρκετά προγράμματα πλοήγησης για την υποστήριξή της. Τα προγράμματα αυτά μπορούσαν είτε να τρέχουν ανεξάρτητα είτε να αποτελούν τμήμα του προγράμματος πλοήγησης του παγκόσμιου ιστού, εμφανίζοντας έτσι τους τρισδιάστατους κόσμους ως στοιχεία μιας ευρύτερης ιστοσελίδας.



Το βασικό μειονέκτημα της VRML 1.0 είναι ότι ουσιαστικά αποτελεί μια γλώσσα περιγραφής μιας στατικής σκηνής. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί ένας δημιουργός να κατασκευάσει ένα εξαιρετικά πολύπλοκο σκηνικό, όπου ο κόσμος θα μπορεί να περιπλανιέται σ' αυτό και να εξερευνά όλα όσα βρίσκονται εκεί, αλλά δε θα υπάρχουν καθόλου δυνατότητες αλληλεπίδρασής του με το σκηνικό και τα αντικείμενά του. Ο περιορισμός αυτός οδήγησε πολλές εταιρίες στην προσπάθεια δημιουργίας μιας νέας εξέλιξης της γλώσσας με βελτιωμένα χαρακτηριστικά. Το αποτέλεσμα ήταν να κατασκευαστεί η VRML 1.1, μια έκδοση χωρίς πολλές καινοτομίες, η οποία δεν άργησε να δώσει τη θέση της στην VRML 2.0. Οι προτάσεις ήταν πολλές, αλλά τελικά έγινε αποδεκτή η πρόταση Moving Worlds, που ήταν το αποτέλεσμα της συνεργασίας δύο μεγάλων εταιριών, της Sony και της Silicon Graphics. Έτσι κυκλοφόρησαν και οι πρώτες beta εκδόσεις των προγραμμάτων πλοήγησης VRML 2.0, το Community Place της Sony και το Cosmo Player της SGI.

Η δεύτερη έκδοση της VRML εισήγαγε «προγραμματισμένη συμπεριφορά» στα αντικείμενα του τρισδιάστατου χώρου, με αποτέλεσμα να ευνοεί τον σχεδιασμό ολοκληρωμένων εικονικών περιβαλλόντων. Αυτό το πετυχαίνει με την υποστήριξη της δημοφιλούς γλώσσας προγραμματισμού Java, μέσω της οποίας μπορεί ο κάθε δημιουργός να ορίσει τον τρόπο λειτουργίας των αντικειμένων του κόσμου του. Πέρα από την προσθήκη συμπεριφοράς όμως η VRML 2.0 προσέθεσε πολλά ακόμα χαρακτηριστικά στην προκάτοχό της. Ένα πολύ σημαντικό είναι η δυνατότητα ενσωμάτωσης αληθινού τρισδιάστατου ήχου και αρχείων βίντεο στους κόσμους της, καθώς και η υποστήριξη πολυχρηστικών (multiuser) κόσμων, στους οποίους οι χρήστες θα είναι σε θέση να αντιληφθούν ο ένας τον άλλον και να αλληλεπιδράσουν μεταξύ τους. Η επιτυχία της δεύτερης έκδοσης της VRML οδήγησε στην καθιέρωσή της ως προτύπου για την αναπαράσταση τρισδιάστατων δεδομένων στον Παγκόσμιο Ιστό με την ονομασία VRML97.

Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα στη χρήση της γλώσσας VRML για την κατασκευή ενός εικονικού περιβάλλοντος. Το γεγονός ότι τα προγράμματα πλοήγησης VRML βασίζονται στον Παγκόσμιο Ιστό και χρησιμοποιούν αντικείμενα από αυτόν, επιτρέπει στα εικονικά περιβάλλοντα να συνδεθούν με στατικές ιστοσελίδες, ώστε να είναι δυνατή η προσπέλαση επιπλέον πληροφοριών. Για παράδειγμα, σε ένα εικονικό μουσείο θα μπορούσε η επιλογή με το ποντίκι οποιουδήποτε εκθέματος να εμφανίζει

σε ξεχωριστό τμήμα της εφαρμογής μια σχετική σελίδα με πληροφορίες. Επιπλέον, η VRML97 επιτρέπει και την ενσωμάτωση επιπλέον πολυμεσικού υλικού, όπως εικόνα, βίντεο και ήχος, το οποίο επίσης θα μπορούσε να προέρχεται από τον Παγκόσμιο Ιστό, δίνοντας την δυνατότητα ενίσχυσης του περιβάλλοντος με προϋπάρχον υλικό. Η λειτουργία της VRML στα πρότυπα του Παγκόσμιου Ιστού επιτρέπει ακόμα τη διαμέριση ενός εικονικού περιβάλλοντος σε τμήματα που ενώνονται μεταξύ τους μέσω συνδέσμων (hyperlinks), γεγονός που μειώνει σημαντικά τον όγκο των δεδομένων που μεταφέρονται στο μηχάνημα του χρήστη και βελτιώνει την απόδοση του σκηνικού. Τέλος, η καθιέρωση της VRML97 ως προτύπου οδήγησε στην υποστήριξή της από τα περισσότερα δημοφιλή προγράμματα τρισδιάστατης μοντελοποίησης για την περιγραφή του αρχείου σκηνικού, με αποτέλεσμα να υπάρχουν σήμερα πολλά διαθέσιμα μοντέλα στη μορφή αυτή.

Σε ό,τι αφορά όμως την απόδοση η VRML είναι ιδιαίτερα αργή σε σχέση με τα αυτόνομα τρισδιάστατα περιβάλλοντα οθόνης. Αυτό οφείλεται κυρίως στην έλλειψη τεχνικών επιτάχυνσης του σκηνικού, όπως τα δέντρα BSP, που προϋπολογίζουν τα αντικείμενα που είναι ορατά στο χρήστη διευκολύνοντας την διαδικασία οπτικοποίησης του σκηνικού. Η VRML97 υποστηρίζει *επίπεδα λεπτομέρειας* (Levels of Detail), δηλαδή την αναπαράσταση αντικειμένων σε πολλαπλά επίπεδα λεπτομέρειας, από τα οποία επιλέγει το πρόγραμμα πλοήγησης ανάλογα με την απόσταση του χρήστη από το αντικείμενο. Παρόλα αυτά, τα επίπεδα λεπτομέρειας δε δημιουργούνται αυτόματα από το αρχικό μοντέλο, αλλά είναι ευθύνη του σχεδιαστή να κατασκευάσει επιπλέον μοντέλα για κάθε επίπεδο, γεγονός που δυσκολεύει ιδιαίτερα το σχεδιασμό του σκηνικού. Τέλος, ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην απόδοση του περιβάλλοντος παίζει και ο τρόπος κατασκευής του προγράμματος πλοήγησης, καθώς είναι δυνατό να υπάρχουν αξιοπρόσεχτες διαφορές στην ταχύτητα αναπαράστασης και κίνησης του ίδιου σκηνικού σε δύο διαφορετικά προγράμματα πλοήγησης στο ίδιο μηχάνημα.

Ο έλεγχος του σκηνικού και ο προγραμματισμός της συμπεριφοράς των αντικειμένων γίνεται μέσω της γλώσσας Java με τη χρήση ενός ειδικού πρωτοκόλλου διασύνδεσης που αναπτύχθηκε για τη VRML97, του EAI (External Authoring Interface). Η χρήση του EAI όμως δεν επιτρέπει τον εξολοκλήρου έλεγχο των αντικειμένων και του σκηνικού, παρά μόνο ορισμένων επιμέρους ιδιοτήτων. Επιπλέον, στις τρέχουσες

υλοποιήσεις φαίνεται να είναι ιδιαίτερα μεγάλο το κόστος επικοινωνίας μεταξύ της Java εφαρμογής και του VRML κόσμου, με αποτέλεσμα να μην ενδείκνυται η χρήση του πρωτοκόλλου σε μεγάλη συχνότητα και για μεγάλο αριθμό αντικειμένων. Τέλος, οι VRML κόσμοι που συνδέονται με προγράμματα Java μέσω ΕΑΙ φαίνεται να παρουσιάζουν αστάθεια σε πολλές περιπτώσεις, γεγονός που καθιστά ιδιαίτερα δύσκολη την ανάπτυξη, την αποσφαλμάτωση, αλλά και την εκτέλεση μεγάλων εφαρμογών.

Σε ό,τι αφορά τους εικονικούς πράκτορες είναι θετική η ύπαρξη του προτύπου H-Anim για την αναπαράσταση ανθρωποειδών χαρακτήρων, παρόλο που δε φαίνεται να υπάρχει ακόμη πλήρης υποστήριξη από τα τρέχοντα προγράμματα τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Μια άλλη σημαντική έλλειψη της VRML είναι η αδυναμία εντοπισμού συγκρούσεων μεταξύ αντικειμένων, με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η κατασκευή πολύπλοκων εικονικών αισθητήρων αλλά και επιδρασιών σε επίπεδο φυσικής. Συνεπώς, δυνατότητες αίσθησης, όπως εικονική όραση και πραγματοποίησης ενεργειών με ανάθεση δυνάμεων και συγκρούσεις δεν υπάρχουν, με αποτέλεσμα να ευνοούνται οι εικονικοί πράκτορες που λειτουργούν περισσότερο σε νοητικό επίπεδο, έναντι των καθαρά φυσικών.

### 7.3 Ευφείς Εικονικοί Πράκτορες σε Περιβάλλοντα VRML

Όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω, η χρήση της σημερινής τεχνολογίας για την ανάπτυξη περιβαλλόντων σε VRML έχει σημαντικούς περιορισμούς, οι οποίοι συνοψίζονται στα παρακάτω σημεία:

- *μειωμένη απόδοση*: η τεχνολογία είναι κατάλληλη μόνο για μικρά περιβάλλοντα, στα οποία θα πρέπει να χρησιμοποιούνται όσο το δυνατόν πιο 'ελαφριά' μοντέλα αντικειμένων και πρακτόρων
- *περιορισμένος έλεγχος των αντικειμένων*: αυτό πρακτικά αποκλείει την ύπαρξη σύνθετων νόμων του κόσμου που να λειτουργούν σε χαμηλό επίπεδο, όπως στο προτεινόμενο μοντέλο του 4<sup>ου</sup> κεφαλαίου.
- *έλλειψη αισθητήρων και επιδρασιών*: ουσιαστικά αποκλείεται η πραγματική αυτονομία των πρακτόρων, οι οποίοι αναγκαστικά θα πρέπει να είναι αναπόσπαστο τμήμα του κόσμου.



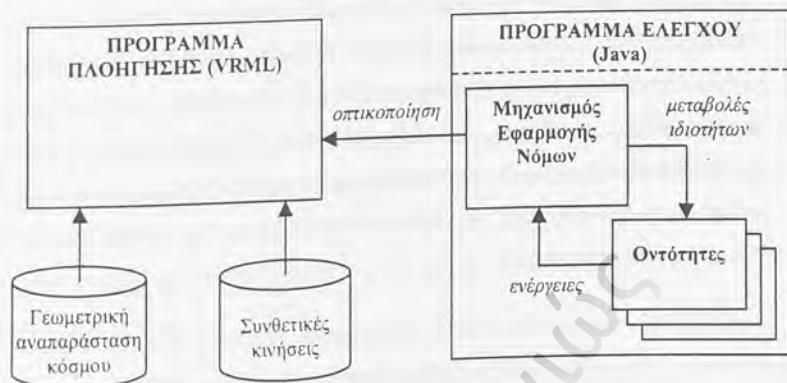
- *μεγάλο κόστος επικοινωνίας Java – VRML*: οι ενέργειες των πρακτόρων θα είναι συνεπώς προτιμότερο να περιορίζονται σε προσχεδιασμένες συνθετικές κινήσεις, παρά να εκτελούνται δυναμικά. Έτσι αποκλείεται και η ύπαρξη στοιχειωδών ενεργειών και ικανοτήτων, όπως η αντίστροφη κινηματική

Παρά όλους τους παραπάνω περιορισμούς, όμως, είναι πολλές φορές αναγκαία η χρήση της VRML για την κατασκευή του εικονικού περιβάλλοντος, και αυτό συμβαίνει κυρίως στις περιπτώσεις που το περιβάλλον επεκτείνει υπάρχουσα εφαρμογή του Παγκόσμιου Ιστού, όπως π.χ. εικονικό πολυκατάστημα, εικονικό μουσείο, εικονική βιβλιοθήκη, κλπ. Στις περιπτώσεις αυτές, τα περιβάλλοντα ενισχύονται ακόμη περισσότερο με την χρήση ενός ή παραπάνω εικονικών χαρακτήρων σε ρόλο ξεναγού, παρουσιαστή ή απλώς επισκέπτη, προσθέτοντας πιο αληθοφανή χαρακτηριστικά στο περιβάλλον. Για τους λόγους αυτούς αναπτύχθηκε ένα εναλλακτικό μοντέλο ευφυών εικονικών πρακτόρων, που εφαρμόζεται στην ειδική περίπτωση της πλατφόρμας Java – EAI – VRML και αποσκοπεί στην ανάπτυξη μικρής κλίμακας εικονικών περιβαλλόντων με πράκτορες που διαθέτουν περιορισμένες δυνατότητες αλληλεπίδρασης.

### 7.3.1 Το μοντέλο του κόσμου

Το σκηνικό του κόσμου στην περίπτωση των εικονικών περιβαλλόντων σε VRML περιγράφεται ως σύνολο γεωμετρικών μοντέλων στο αρχείο σκηνικού που φορτώνεται από το πρόγραμμα πλοήγησης. Η αναπαράσταση αυτή είναι αρκετά πολύπλοκη, για να χρησιμοποιηθεί από μόνη της για τις ενέργειες των πρακτόρων, ενώ το μεγάλο κόστος επικοινωνίας που προαναφέρθηκε καθιστά την συνεχή προσπέλαση των επιμέρους ιδιοτήτων των αντικειμένων απαγορευτική. Για τους λόγους αυτούς, είναι προτιμότερη η ύπαρξη μιας δεύτερης αναπαράστασης του κόσμου σε επίπεδο Java, η οποία θα εξυπηρετεί την εκτέλεση ενεργειών των πρακτόρων και στην εφαρμογή των νόμων του κόσμου πάνω στις οντότητες. Εκτός όμως από την εκτέλεση των ενεργειών σε επίπεδο αλλαγών στην κατάσταση του κόσμου οι ενέργειες αυτές θα πρέπει επίσης να οπτικοποιηθούν στο τρισδιάστατο περιβάλλον, ώστε να γίνουν αντιληπτές από τον παρατηρητή. Κατά συνέπεια, θα πρέπει να μπορούν οι πράξεις των πρακτόρων να αποδοθούν και σε επίπεδο συνθετικής κίνησης και για το λόγο αυτό είναι επιθυμητή η ύπαρξη προσχεδιασμένων

συνθετικών κινήσεων για κάθε πράκτορα και αντιστοιχιών μεταξύ των ενεργειών τους και των κινήσεων αυτών, ώστε να μειωθεί το κόστος επικοινωνίας.



Εικόνα 7.1: Μοντέλο κόσμου σε περιβάλλοντα VRML

Με βάση τα παραπάνω, το τρισδιάστατο περιβάλλον που θα απεικονίζεται από το πρόγραμμα πλοήγησης βασίζεται στα παρακάτω στοιχεία:

- *Γεωμετρική αναπαράσταση του κόσμου:* βρίσκεται σε ένα ή περισσότερα αρχεία VRML και περιγράφει τα τρισδιάστατα μοντέλα των οντοτήτων του κόσμου
- *Συνθετικές κινήσεις:* Προσχεδιασμένες ακολουθίες συνθετικών κινήσεων που εξυπηρετούν την οπτικοποίηση των ενεργειών των πρακτόρων αλλά και των αντιδράσεων των αντικειμένων σε αυτές. Βρίσκονται κι αυτές αποθηκευμένες σε ένα ή περισσότερα αρχεία VRML
- *Συμβολική αναπαράσταση του κόσμου:* Μια αφαιρετική αναπαράσταση του κόσμου που εξυπηρετεί την πραγματοποίηση των ενεργειών των πρακτόρων και στην εφαρμογή των νόμων. Η αναπαράσταση γίνεται σε επίπεδο Java και ο τρόπος εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής. Θα μπορούσε να είναι γράφημα, δισδιάστατο πλέγμα (grid), σύνολο προτάσεων ή ο,τιδήποτε άλλο εξυπηρετεί την συγκεκριμένη περίπτωση.
- *Ενέργειες των πρακτόρων:* Οι πράκτορες του κόσμου έχουν ένα σύνολο από ενέργειες που μπορούν να εκτελέσουν στον κόσμο. Οι ενέργειες αυτές θα έχουν εφαρμογή σε δύο επίπεδα: στη συμβολική αναπαράσταση του κόσμου, αλλά και στην οπτικοποίησή του, καθώς θα μετατραπούν σε συνθετικές κινήσεις.

- *Μηχανισμός εφαρμογής ενεργειών*: Ο μηχανισμός αυτός περιλαμβάνει τους νόμους του κόσμου και προσδιορίζει τις επιπτώσεις των ενεργειών των πρακτόρων πάνω στην κατάσταση του κόσμου. Επιπλέον, ενεργοποιεί και συντονίζει τις συνθετικές κινήσεις που θα οπτικοποιήσουν τις ενέργειες αυτές στο πρόγραμμα πλοήγησης. Είναι σημαντικό οι επιπτώσεις των ενεργειών σε συμβολικό επίπεδο να είναι κατά τέτοιο τρόπο σχεδιασμένες, ώστε η συμβολική αναπαράσταση του κόσμου να είναι πάντα συνεπής με την τρέχουσα κατάσταση του σε γεωμετρικό επίπεδο.

Η αρχιτεκτονική του μοντέλου που περιγράφηκε απεικονίζεται στην εικόνα 7.1. Εκτός από τη γεωμετρική τους αναπαράσταση, οι οντότητες έχουν αναπαρασταθεί για δεύτερη φορά και σε συμβολικό επίπεδο. Οι πράκτορες έχουν τη δυνατότητα εκτέλεσης ενεργειών, οι οποίες επεξεργάζονται από το μηχανισμό εφαρμογής νόμων και καταλήγουν σε μεταβολές στην κατάσταση του κόσμου και σε ενεργοποίηση συνθετικών κινήσεων. Το πρόγραμμα πλοήγησης αναλαμβάνει αυτόματα να εκτελέσει τις ακολουθίες συνθετικών κινήσεων και να αναπαραστήσει το σκηνικό από την άποψη του χρήστη.

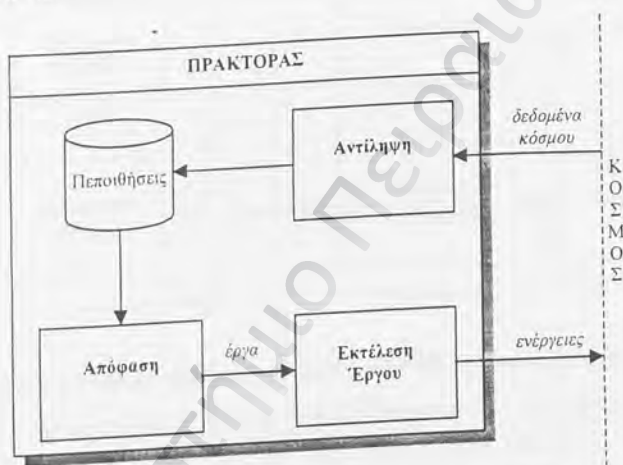
### 7.3.2 Το μοντέλο του πράκτορα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, δεν υπάρχει υποστήριξη για την υλοποίηση πολύπλοκων εικονικών αισθητήρων και επιδραστήων για τους πράκτορες του κόσμου σε επίπεδο VRML, με αποτέλεσμα η λειτουργία τους να μην μπορεί να είναι αυτόνομη, αλλά να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο κατασκευής του κόσμου. Παρόλα αυτά, και παρόλο που ο κόσμος αναπαρίσταται και σε συμβολική μορφή, μπορεί να είναι επιθυμητός ο μετασχηματισμός των δεδομένων του κόσμου και η αποθήκευσή τους σε μια μορφή ευκολότερα αξιοποιήσιμη από τη διαδικασία ελέγχου του πράκτορα. Από την άλλη μεριά, μπορεί επίσης να είναι επιθυμητή η χρήση συνδυασμού ενεργειών για την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων, οπότε απαιτείται ένας μηχανισμός εκτέλεσης έργου. Συνεπώς, το προτεινόμενο μοντέλο εικονικών πρακτόρων σε περιβάλλοντα VRML ακολουθεί τη δομή του γνωστικού επιπέδου του πράκτορα στο γενικό μοντέλο του κεφαλαίου 4.

Ο πράκτορας διαβάζει σε τακτά χρονικά διαστήματα τα δεδομένα του κόσμου, όπως αυτά αναπαρίστανται στο πρόγραμμα ελέγχου που έχει υλοποιηθεί σε Java, και μέσα από την διαδικασία της αντίληψης τα μετασχηματίζει σε μια μορφή που να είναι



χρήσιμη στον μηχανισμό απόφασης. Η μορφή αυτή αποθηκεύεται στις πεποιθήσεις του πράκτορα. Η διαδικασία απόφασης καθορίζει τις επόμενες ενέργειες του πράκτορα με βάση την τρέχουσα άποψη του κόσμου, όπως είναι καταγεγραμμένη στις πεποιθήσεις του, αποστέλλοντας εντολές στο τμήμα εκτέλεσης έργου. Στη συνέχεια, τα έργα αυτά αναλύονται σε ενέργειες που εκτελούνται σειριακά ή παράλληλα και αποστέλλονται στον κόσμο. Τέλος ο κόσμος αναλαμβάνει να εκτελέσει τις ενέργειες αυτές και να καθορίσει τις επιπτώσεις τους στα αντικείμενα του κόσμου αλλά και τον τρόπο οπτικοποίησής τους στο πρόγραμμα πλοήγησης. Η αρχιτεκτονική των εικονικών πρακτόρων του προτεινόμενου μοντέλου απεικονίζεται στην εικόνα 7.2.

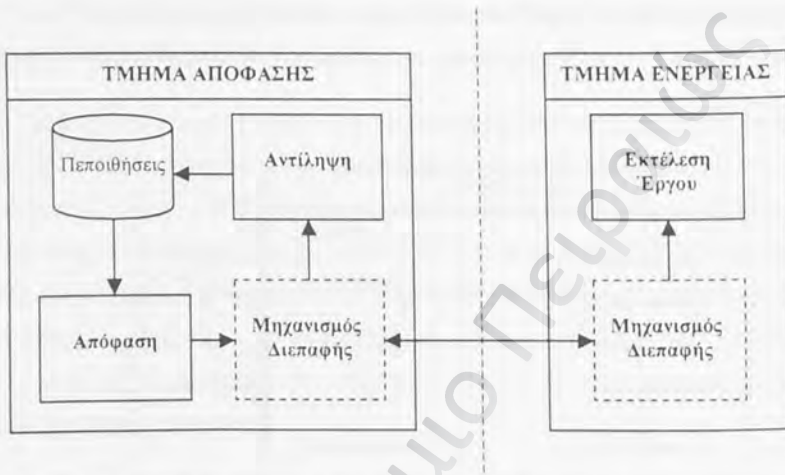


Εικόνα 7.2: Αρχιτεκτονική πρακτόρων σε περιβάλλον VRML

### 7.3.3 Σύνδεση με άλλες γλώσσες προγραμματισμού

Ένα μεγάλο μειονέκτημα της ανάπτυξης εικονικών περιβαλλόντων στην πλατφόρμα Java - EAI - VRML είναι ότι υποχρεώνει το σχεδιαστή να προγραμματίσει τη συμπεριφορά των αντικειμένων στη γλώσσα Java. Αυτός ο περιορισμός αποκλείει την επαναχρησιμοποίηση υπάρχοντων δομών ελέγχου, που έχουν υλοποιηθεί σε άλλες γλώσσες προγραμματισμού. Στην περίπτωση διαδικαστικών ή αντικειμενοστρεφών γλωσσών, όπως η C++, είναι εφικτή η τροποποίηση του κώδικα και η μεταφορά του σε Java, ένα μεγάλο όμως μέρος της υπάρχουσας έρευνας στους ευφυείς πράκτορες έχει πραγματοποιηθεί σε γλώσσες λογικού ή συναρτησιακού προγραμματισμού, όπως η Prolog και η Lisp, και η μεταφορά κώδικα από τις γλώσσες αυτές είναι ιδιαίτερα

δύσκολη, αν όχι αδύνατη. Κατά συνέπεια, θα ήταν επιθυμητή η δυνατότητα ενσωμάτωσης τμημάτων κώδικα σε άλλες γλώσσες προγραμματισμού στα εικονικά περιβάλλοντα σε VRML. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί με τη διαίρεση της λειτουργικότητας του εικονικού πράκτορα σε δύο τμήματα, που επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω μηνυμάτων, το υψηλού επιπέδου τμήμα απόφασης και το χαμηλού επιπέδου τμήμα ενέργειας.



Εικόνα 7.3: Διαίρεση του πράκτορα σε δύο τμήματα για την σύνδεση άλλων γλωσσών προγραμματισμού

Ο πιο απλός τρόπος υλοποίησης της επικοινωνίας αυτής είναι μέσω του πρωτοκόλλου TCP/IP και της αρχιτεκτονικής πελάτη – διακομιστή (client - server). Ο κόσμος μπορεί να αναλάβει το ρόλο του διακομιστή και να περιλαμβάνει τα τμήματα ενέργειας των πρακτόρων, στα οποία συνδέονται ως πελάτες τα αντίστοιχα τμήματα απόφασης. Το τμήμα απόφασης θα περιλαμβάνει τις διαδικασίες αντίληψης και απόφασης, καθώς και τις πεποιθήσεις του πράκτορα, και θα μπορεί να είναι υλοποιημένο σε οποιαδήποτε γλώσσα προγραμματισμού, αρκεί να έχει ενισχυθεί με ένα μηχανισμό διεπαφής που θα επικοινωνεί με το τμήμα ενέργειας μέσω TCP/IP. Το τμήμα ενέργειας θα πρέπει αναγκαστικά να είναι υλοποιημένο σε γλώσσα Java και θα αναλάβει την ανάλυση των έργων του πράκτορα σε επιμέρους ενέργειες, που στην συνέχεια θα οπτικοποιηθούν στο πρόγραμμα πλοήγησης.

Στην εικόνα 7.3 απεικονίζεται η αρχιτεκτονική διαίρεσης του πράκτορα σε δύο τμήματα που επικοινωνούν μέσω TCP/IP για την υποστήριξη άλλων γλωσσών προγραμματισμού.

## 7.4 Παράδειγμα

Έστω, για παράδειγμα, ένας κόσμος που αποτελείται από πολλά δωμάτια που συνδέονται μεταξύ τους με πόρτες. Ένας τρόπος να αναπαρασταθεί ο κόσμος αυτός σε συμβολική μορφή στο πρόγραμμα ελέγχου είναι με τη χρήση ενός γραφήματος. Στους κόμβους θα υπάρχουν οι συντεταγμένες θέσεων στο χώρο, ενώ κάθε ακμή θα σημαίνει ότι ο πράκτορας μπορεί να μετακινηθεί από τον ένα κόμβο στον άλλο. Κάποιοι από τους κόμβους θα βρίσκονται στο κέντρο ενός δωματίου, ενώ κάποιοι άλλοι σε ενδιάμεσες θέσεις που εξυπηρετούν την ασφαλή μετάβαση από το ένα δωμάτιο στο άλλο. Η αναπαράσταση του κόσμου σε επίπεδο Java θα γίνει με τη χρήση των παρακάτω κλάσεων:

```
class Node {
String name;
float location[3];
}
```

```
class Edge {
Node node1;
Node node2;
}
```

Έστω ακόμη ότι το πρόγραμμα ελέγχου που καθορίζει τη μετακίνηση του πράκτορα έχει γραφτεί στη γλώσσα Prolog. Το πρόγραμμα αυτό δεν ενδιαφέρεται για τους ενδιάμεσους κόμβους, παρά μόνο για τους κόμβους που βρίσκονται στα ίδια τα δωμάτια και η αναπαράσταση στη μνήμη γίνεται με βάση τα γειτονικά δωμάτια. Συνεπώς θα μπορούσε να υπάρξει ένα κατηγορημα του τύπου:

```
connects( room1, room2 )
```

Το κατηγορημα αυτό θα περιγράφει τα γειτονικά δωμάτια, δηλαδή από το δωμάτιο room1 υπάρχει άμεση πρόσβαση στο room2. Η διαδικασία αντίληψης θα πρέπει λοιπόν να διαβάσει το γράφημα του σκηνικού και να παραγάγει τα κατηγορήματα connects που θα είναι οι πεποιθήσεις του πράκτορα. Εφόσον στη συνέχεια η διαδικασία απόφασης διατάξει τη μετακίνηση του πράκτορα σε ένα νέο δωμάτιο, έστω kitchen, θα εκτελεστεί το έργο move(kitchen), που μετακινεί τον πράκτορα από το τρέχον δωμάτιο στο δωμάτιο kitchen. Το έργο αυτό θα αναλυθεί στη συνέχεια σε ενέργειες, η καθεμία από τις οποίες θα περιλαμβάνει το βάδισμα του πράκτορα σε



γειτονικούς κόμβους. Έτσι, αν μια ενέργεια είναι η walk (float x, float z), η οποία ενεργοποιεί συνθετική κίνηση που προκαλεί γραμμικό βάδισμα του πράκτορα μέχρι το σημείο (x, z), η μονε(kitchen) θα αναλυθεί ως εξής:

- Στο γράφημα σκηνικού θα βρεθεί μια διαδρομή που συνδέει το τρέχον δωμάτιο με το γειτονικό δωμάτιο kitchen
- Για κάθε έναν από τους κόμβους της διαδρομής θα εκτελεστεί η ενέργεια walk(x, z), όπου οι συντεταγμένες x και z θα προέρθουν από την θέση του εκάστοτε κόμβου



Εικόνα 7.4: Ο λαβύρινθος του παραδείγματος

Με βάση τα παραπάνω σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένα ολοκληρωμένο παράδειγμα, όπου ένας πράκτορας πρέπει να βρει την έξοδο σε ένα λαβύρινθο (εικόνα 7.4). Ο λαβύρινθος αποτελείται από διάφορα δωμάτια, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους μέσω διαδρόμων, ενώ, εκτός από τον ίδιο τον πράκτορα μπορούν να περιλαμβάνουν και αντικείμενα, όπως κλειδιά και κλειδαριές. Συγκεκριμένα ο κόσμος περιλαμβάνει ένα κόκκινο, ένα κίτρινο και ένα μπλε κλειδί και τις αντίστοιχες κλειδαριές. Για να βγει ο πράκτορας από το λαβύρινθο, θα πρέπει να ξεκλειδώσει και τις τρεις κλειδαριές και στην συνέχεια να φτάσει στην έξοδο.

Για την ανάπτυξη του παραδείγματος μοντελοποιήθηκαν αρχικά ο κόσμος, τα αντικείμενα και ο πράκτορας σε VRML. Στη συνέχεια σχεδιάστηκαν οι συνθετικές κινήσεις που απαιτούνται για το βάδισμα του πράκτορα και μοντελοποιήθηκαν οι ενέργειές του σε επίπεδο οπτικοποίησης. Κατόπιν κατασκευάστηκε το γράφημα

σκηρικού του κόσμου που καθορίζει τις δυνατές μετακινήσεις του πράκτορα. Η διαδικασία απόφασης υλοποιήθηκε στη γλώσσα Prolog με τη χρήση ενός σχεδιαστή ενεργειών (planner). Για κάθε μία από τις δυνατές ενέργειες του πράκτορα καθορίστηκαν οι προϋποθέσεις εκτέλεσης και οι επιδράσεις της στην κατάσταση του κόσμου, ενώ ορίστηκε και ο στόχος του πράκτορα, που είναι να βγει από το λαβύρινθο. Ο σχεδιαστής ενεργειών αναλαμβάνει με βάση τις πληροφορίες αυτές, να παραγάγει μια ακολουθία ενεργειών, που οδηγεί στην επίτευξη του στόχου του πράκτορα. Οι ενέργειες που μπορεί να εκτελέσει ο πράκτορας είναι:

- *μετακίνηση σε δωμάτιο*: Προϋποθέσεις: το δωμάτιο να βρίσκεται σε γειτονική θέση. Αποτελέσματα: η θέση του πράκτορα είναι στο νέο δωμάτιο
- *πίασιμο ενός κλειδιού*: Προϋποθέσεις: το κλειδί να βρίσκεται στο ίδιο δωμάτιο με τον πράκτορα. Αποτελέσματα: Το κλειδί παύει να βρίσκεται στο δωμάτιο, ο πράκτορας κρατάει το κλειδί.
- *ξεκλείδωμα μιας κλειδαριάς*: Προϋποθέσεις: Ο πράκτορας να κρατάει το αντίστοιχο κλειδί. Αποτελέσματα: η κλειδαριά ξεκλειδώνει.
- *έξοδος από το λαβύρινθο*: Προϋποθέσεις: Όλες οι κλειδαριές είναι ξεκλειδωτές, η θέση του πράκτορα είναι στην έξοδο. Αποτελέσματα: Τερματισμός του προγράμματος με επιτυχία.



Εικόνα 7.5: Ο πράκτορας εντοπίζει το κλειδί

Στην εικόνα 7.5 παρουσιάζεται μια άποψη του προγράμματος, στο σημείο που ο πράκτορας εντοπίζει ένα κλειδί.

## 7.5 Συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάστηκε αναλυτικά η περίπτωση των εικονικών περιβαλλόντων στον Παγκόσμιο Ιστό και παρουσιάστηκαν οι διάφοροι περιορισμοί που εμφανίζονται και που τη διαφοροποιούν από τη γενική περίπτωση. Συγκεκριμένα, τόσο ο τρόπος σχεδιασμού της VRML και του πρωτοκόλλου επικοινωνίας EAI, όσο και οι σημερινές υλοποιήσεις των προγραμμάτων πλοήγησης, δεν ευνοούν τη χρήση εικονικών αισθητήρων και το χειρισμό του κόσμου σε επίπεδο στοιχειωδών ενεργειών. Αυτό ουσιαστικά δυσκολεύει την κατασκευή φυσικών πρακτόρων και την υποστήριξη αληθοφανών κόσμων προσομοίωσης. Παρόλα αυτά, η ύπαρξη πολλών εφαρμογών στον Παγκόσμιο Ιστό που θα μπορούσαν να ενισχυθούν με ένα εικονικό περιβάλλον σε VRML, κατέστησε αναγκαία την εξέταση της ειδικής αυτής περίπτωσης, ώστε να αξιοποιηθεί η έρευνα στους εικονικούς πράκτορες και στο χώρο αυτό.

Η προσαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου στην πλατφόρμα Java – EAI – VRML οδήγησε στην αφαίρεση των διαδικασιών της αίσθησης και της ενέργειας, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η επαναχρησιμοποίηση πρακτόρων σε διαφορετικά περιβάλλοντα, γεγονός αναμενόμενο λόγω ανυπαρξίας αισθητήρων και στοιχειωδών ενεργειών. Παρόλα αυτά, παρουσιάστηκε μια προσέγγιση σύνδεσης της VRML με άλλες γλώσσες προγραμματισμού και αναλύθηκε ακόμη περισσότερο με την περιγραφή σχετικού παραδείγματος. Η δυνατότητα αυτή, της εισαγωγής τμημάτων κώδικα σε γλώσσες, όπως η Prolog, βοηθάει στην αξιοποίηση υπαρχόντων διαδικασιών που θα μπορούσαν να ενισχύσουν τις γνωσιακές ικανότητες των πρακτόρων σε περιβάλλοντα VRML, όπως ο σχεδιασμός ενεργειών, η επεξεργασία και κατανόηση φυσικής γλώσσας, η μηχανική μάθηση, κλπ.

Κατά συνέπεια, ενώ τα εικονικά περιβάλλοντα στον Παγκόσμιο Ιστό δεν ευνοούν την ύπαρξη φυσικών πρακτόρων, μπορούν ωστόσο με αρκετή ευκολία να υποστηρίξουν νοητικούς πράκτορες χάρη στη δυνατότητα διασύνδεσής τους με άλλες γλώσσες, αλλά και στην μικρότερη συχνότητα και εύρος επικοινωνίας που απαιτείται μεταξύ νοητικού επιπέδου και φυσικού.

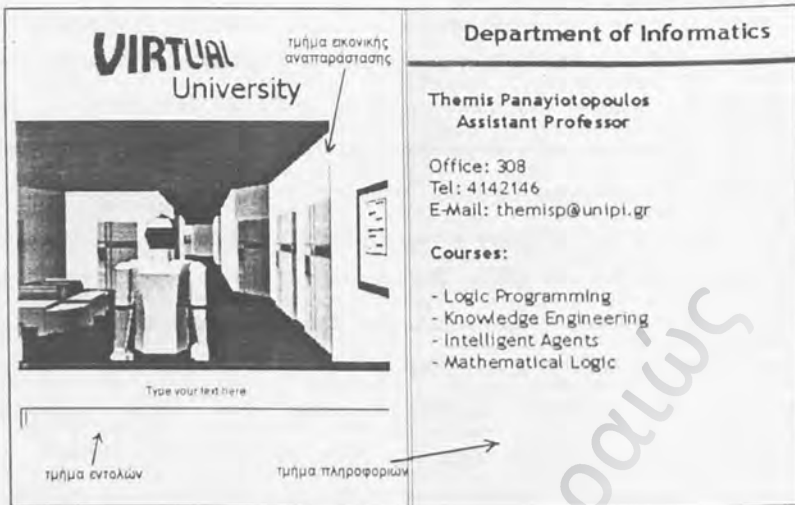


## 8 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τέσσερα παραδείγματα υλοποίησης των προτεινόμενων θεωριών. Το πρώτο είναι το «Εικονικό Πανεπιστήμιο», μια εφαρμογή παρουσίασης στον Παγκόσμιο Ιστό, όπου ένας εικονικός πράκτορας αναλαμβάνει τον ρόλο του ξεναγού. Το δεύτερο παράδειγμα παρουσιάζει την σύνδεση ενός εικονικού πράκτορα με ένα σχεδιαστή ενεργειών και οπτικοποιεί το πρόβλημα του κόσμου των κύβων. Στο επόμενο παράδειγμα γίνεται χρήση ενός εικονικού πράκτορα για την παρουσίαση εκπαιδευτικού υλικού. Έχει υλοποιηθεί με την πλατφόρμα SimHuman και αξιοποιεί κυρίως τις φυσικές ικανότητες του πράκτορα. Το τελευταίο παράδειγμα είναι μια μικρή εφαρμογή αλληλεπιδραστικής αφήγησης ιστορίας, όπου εκτελείται ένα σενάριο με πολλαπλούς πράκτορες, στο οποίο ο χρήστης έχει την δυνατότητα να μεταβάλλει την κατάσταση του κόσμου και να παρατηρήσει τις μεταβολές του σεναρίου. Το παράδειγμα αυτό έχει κατασκευαστεί με την πλατφόρμα SimHuman και τη χρήση της γλώσσας SLAVE.

### 8.1 Εικονικό Πανεπιστήμιο

Το «Εικονικό Πανεπιστήμιο» (εικ. 8.1) είναι μια εφαρμογή που σκοπεύει στην ενημέρωση των χρηστών σχετικά με το Πανεπιστήμιο Πειραιώς, η οποία σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε με βάση το προτεινόμενο μοντέλο ευφών πρακτόρων στον παγκόσμιο ιστό. Η εφαρμογή περιλαμβάνει ένα εικονικό περιβάλλον, στο οποίο αναπαριστάται το Πανεπιστημίου Πειραιώς, και μέσα σε αυτό «κατοικεί» ένας εικονικός ξεναγός, που οδηγεί το χρήστη σε διάφορες τοποθεσίες. Ο χρήστης μπορεί να δίνει εντολές προς τον ξεναγό και να παίρνει πληροφορίες για τα γραφεία και το προσωπικό του πανεπιστημίου, ενώ είναι ελεύθερος να πλοηγηθεί και μόνος του στον χώρο, και να βλέπει τις ενημερωτικές σελίδες με επιλογή πάνω σε τρισδιάστατα αντικείμενα του χώρου. Η εφαρμογή εκτελείται σε πρόγραμμα πλοήγησης του Παγκόσμιου Ιστού, όπως τα δημοφιλή προγράμματα Internet Explorer και Netscape και αποτελείται από τρία μέρη: το τμήμα εικονικής αναπαράστασης, το τμήμα αλληλεπίδρασης και το τμήμα πληροφοριών.



Εικόνα 8.1: Το εικονικό πανεπιστήμιο

### 8.1.1 Τμήμα εικονικής αναπαράστασης

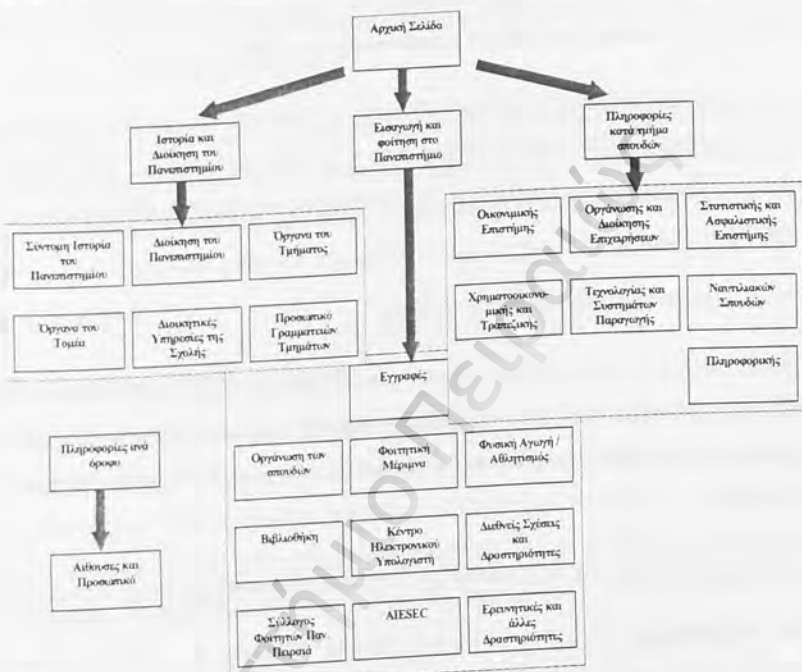
Στο τμήμα αυτό εμφανίζεται η τρισδιάστατη αναπαράσταση του Πανεπιστημίου Πειραιώς, στην οποία ο χρήστης μπορεί να πλοηγηθεί είτε μόνος του με τη χρήση των πλήκτρων μετακίνησης δρομέα (cursor keys) είτε με τη βοήθεια του εικονικού ξεναγού δίνοντάς του κάποια εντολή. Κατά την διάρκεια της μετακίνησής του μπορεί με επιλογή πάνω σε κάποια πόρτα να δει πληροφορίες για την αίθουσα αυτή και για το προσωπικό που εργάζεται εκεί. Εφόσον η μετακίνηση γίνεται με τη βοήθεια του εικονικού ξεναγού, η κάμερα του χρήστη ακολουθεί την κίνησή του, μέχρις ότου ο ξεναγός βρεθεί στον επιθυμητό προορισμό, οπότε και η εκτέλεση της εντολής τερματίζεται.

### 8.1.2 Τμήμα πληροφοριών

Στον χώρο αυτό, που βρίσκεται στο αριστερό μέρος της εφαρμογής, εμφανίζονται οι σελίδες που παρέχουν πληροφορίες για τον επισκέπτη. Πιο συγκεκριμένα περιέχονται γενικές πληροφορίες για το Πανεπιστήμιο Πειραιώς, που περιλαμβάνουν την ιστορία, την διοίκηση, τις σπουδές και τα τμήματα αυτού, ενώ υπάρχουν και περιγραφές για όλες τις αίθουσες στους διαφόρους ορόφους, καθώς και για το προσωπικό που εργάζεται σε αυτές. Στο χώρο αυτό ο χρήστης μπορεί να μεταβεί από σελίδα σε σελίδα με επιλογή των σχετικών συνδέσμων, ενώ για όλες τις σελίδες υπάρχει η

δυνατότητα επιστροφής σε προηγούμενη με το πλήκτρο «Επιστροφή» που βρίσκεται στο τέλος αυτών.

Η δομή των ιστοσελίδων που εμφανίζονται στο τμήμα πληροφοριών φαίνεται στην εικόνα 8.2.



Εικόνα 8.2: Οι ιστοσελίδες της εφαρμογής

### 8.1.3 Τμήμα Αλληλεπίδρασης

Στο χώρο αυτό μπορεί ο χρήστης να τυπώσει τις εντολές του στο πεδίο κειμένου που εμφανίζεται, και με το πάτημα του πλήκτρου Enter ξεκινάει η εκτέλεσή τους από το σύστημα. Η εφαρμογή αναγνωρίζει τις παρακάτω εντολές:

- GoTo [<όνομα γραφείου>|<όνομα ατόμου>|<αριθμός ορόφου>]: Προκαλεί τη μετακίνηση του εικονικού ξεναγού προς το επιθυμητό σημείο. Ο ξεναγός εμφανίζεται με την μορφή ανθρώπου (avatar) και, καθώς βαδίζει προς τον προορισμό του, η κάμερα του χρήστη ακολουθεί την κίνησή του. Κατά την άφιξη του εμφανίζονται και οι απαραίτητες πληροφορίες στο τμήμα πληροφοριών



- TellMeAbout [<όνομα γραφείου>|<όνομα ατόμου>|<όνομα τμήματος>|<όνομα μαθήματος ή ερευνητικού θέματος>]: Εμφανίζει τις ζητούμενες πληροφορίες, στέλνοντας μηνύματα στο χρήστη και τυπώνοντας τις αντίστοιχες σελίδες. Εφόσον χρησιμοποιηθεί η εντολή με όρισμα το όνομα ενός μαθήματος ή ενός θέματος, το σύστημα εντοπίζει τα άτομα που ασχολούνται με το θέμα αυτό και δείχνει τις αντίστοιχες σελίδες ενημερώνοντας το χρήστη.
- Tour [<όνομα τμήματος>|<αριθμός ορόφου>]: Προκαλεί μια εικονική ξενάγηση στο ζητούμενο χώρο. Πιο συγκεκριμένα, ο ξεναγός μετακινείται στα διάφορα γραφεία του τμήματος ή του ορόφου εμφανίζοντας τις σχετικές πληροφορίες στο χρήστη.
- Stop: Τερματισμός της τελευταίας εντολής.
- ReturnToGuide: Μετακινεί το χρήστη στο σημείο που βρίσκεται ο εικονικός ξεναγός. Η εντολή αυτή είναι χρήσιμη στην περίπτωση που ο χρήστης πλοηγείται μόνος του στο χώρο, και επιθυμεί να επιστρέψει στη θέση στην οποία βρίσκεται ο ξεναγός.
- Help, About: Εμφανίζεται η σελίδα με τις γενικές πληροφορίες για το πρόγραμμα.

#### 8.1.4 Υλοποίηση

Η εφαρμογή υλοποιήθηκε στην πλατφόρμα Java – VRML. Αρχικά σχεδιάστηκε το τρισδιάστατο μοντέλο του πανεπιστημίου ανά όροφο, με βάση τα σχεδιαγράμματα των κατόψεων του κάθε ορόφου. Το πρώτο βήμα στην φάση αυτή ήταν η τοποθέτηση των τοίχων του ορόφου ακολουθώντας τη διάταξη του σχεδιαγράμματος. Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν τα επιπλέον μοντέλα, όπως τραπέζια, καναπέδες, καρέκλες κλπ, σε πρόγραμμα μοντελοποίησης και μετατράπηκαν σε μορφή VRML. Τέλος, σχεδιάστηκαν οι απαραίτητες υφές (textures) που προσθέτουν επιπλέον αληθοφάνεια στο σκηνικό.

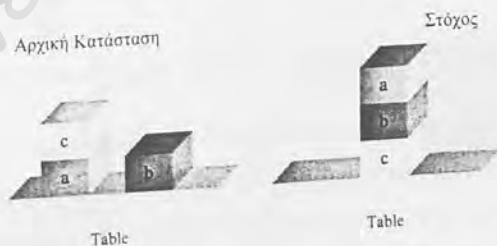
Στην συνέχεια αξιοποιήθηκε υπάρχον μοντέλο εικονικού ανθρώπου που προήλθε από το πρόγραμμα πλοήγησης Community Place της Sony, και τροποποιήθηκε ώστε να περιλαμβάνει αυτόνομα μέρη του σώματος και έναν απλό σκελετό που να υποστηρίζει βάδισμα. Σχεδιάστηκε η συνθετική κίνηση βαδίσματος και αποθηκεύτηκε μαζί με το τελικό μοντέλο του πράκτορα σε μορφή VRML.

Η εφαρμογή γράφτηκε στη γλώσσα Java και η επικοινωνία γίνεται με το πρωτόκολλο EAI. Η αναπαράσταση του κόσμου γίνεται με γράφημα, στους κόμβους του οποίου υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με την αντίστοιχη τοποθεσία, δηλαδή το όνομά της και η σχετική σελίδα πληροφοριών. Επιπλέον, υπάρχει μια βάση που περιλαμβάνει για κάθε καθηγητή το γραφείο στο οποίο βρίσκεται και τα μαθήματα που διδάσκει, ώστε να είναι σε θέση ο πράκτορας να απαντάει στα ερωτήματα του χρήστη και να μετακινείται σε σχετικές τοποθεσίες.

Η εφαρμογή «Εικονικό Πανεπιστήμιο» δημιουργήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος ΕΠΕΑΕΚ (ΕΚΤ, Υποπρόγραμμα 3, Μέτρο 3.1, Ενέργεια 3.1B) με τίτλο «Εκσυγχρονισμός της Κεντρικής Βιβλιοθήκης του Πανεπιστημίου Πειραιώς», που χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και το Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων

## 8.2 Σχεδιασμός Ενεργειών

Το δεύτερο παράδειγμα είναι ένα απλό περιβάλλον, στο οποίο γίνεται χρήση ενός σχεδιαστή ενεργειών (planner) για τον έλεγχο της συμπεριφοράς των πρακτόρων. Αντιμετωπίζεται ένα κλασικό πρόβλημα σχεδιασμού ενεργειών, ο κόσμος των κύβων (blocks world), το οποίο οπτικοποιείται με τη χρήση της πλατφόρμας SimHuman. Το πρόβλημα είναι το εξής: Υπάρχει ένα σύνολο από κύβους σε ένα τραπέζι και ο στόχος του πράκτορα είναι να τους μετακινήσει κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτύχει μια συγκεκριμένη διάταξη. Ένα παράδειγμα είναι αυτό του σχήματος 8.3, στο οποίο υπάρχουν τρεις κύβοι, οι *a*, *b*, και *c* που βρίσκονται πάνω στο τραπέζι (table).



Εικόνα 8.3: Παράδειγμα του κόσμου των κύβων

Για τη συμβολική αναπαράσταση του κόσμου μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα παρακάτω κατηγορήματα:

- $on(A, B)$ : το αντικείμενο A είναι πάνω στο αντικείμενο B
- $clear(X)$ : το αντικείμενο X είναι ελεύθερο (δεν υπάρχει άλλο αντικείμενο πάνω του).

Με βάση τα παραπάνω η συμβολική αναπαράσταση του αρχικού κόσμου του σχήματος είναι:

{  $on(a, table)$ ,  $on(c, a)$ ,  $on(b, table)$ ,  $clear(c)$ ,  $clear(b)$  }

ενώ ο στόχος είναι ο παρακάτω:

{  $on(c, table)$ ,  $on(b, c)$ ,  $on(a, b)$  }

Έστω ότι οι δυνατές ενέργειες του πράκτορα είναι οι παρακάτω:

- $pickup(Obj)$ : να πιάσει έναν κύβο. Προϋποθέσεις: να μην κρατάει τίποτα ο πράκτορας, ο κύβος να είναι ελεύθερος. Αποτελέσματα: ο πράκτορας κρατάει τον κύβο.
- $put(Obj, Location)$ : να τοποθετήσει έναν κύβο σε μια θέση (πάνω σε κύβο ή στο τραπέζι). Προϋποθέσεις: ο πράκτορας να κρατάει τον κύβο. Αν η θέση είναι κύβος, να είναι ελεύθερος. Αποτελέσματα: ο κύβος είναι πάνω στην θέση, ο κύβος είναι ελεύθερος

Συνεπώς, ένα πιθανό πλάνο που θα οδηγή στη λύση του προβλήματος θα είναι το παρακάτω:

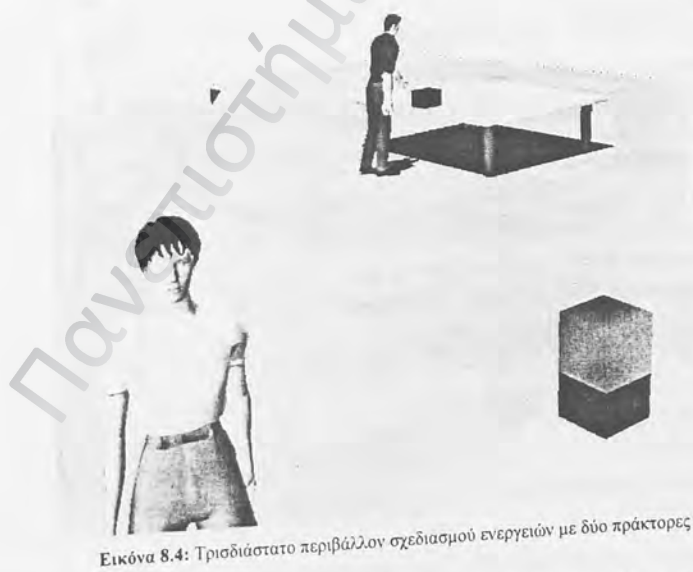
{  $pickup(c)$ ,  $put(c, table)$ ,  $pickup(b)$ ,  $put(b, c)$ ,  $pickup(a)$ ,  $put(a, b)$  }

Το παραπάνω παράδειγμα οπτικοποιήθηκε σε τρισδιάστατο περιβάλλον που κατασκευάστηκε με την πλατφόρμα SimHuman. Χρησιμοποιείται μια σκηνή με δύο τραπέζια και τρεις κύβους, όπου ο στόχος του πράκτορα είναι να μεταφέρει τους κύβους από το ένα τραπέζι στο άλλο πετυχαίνοντας συγκεκριμένη διάταξη. Όσο το πρόγραμμα τρέχει, ο πράκτορας δέχεται πληροφορίες για τα αντικείμενα της σκηνής μέσω της αίσθησης, τις οποίες αποθηκεύει στη μνήμη του. Κατόπιν μετατρέπει την πληροφορία αυτή σε συμβολική, παράγοντας τα κατηγορήματα  $on$  και  $clear$  με βάση τις θέσεις και διαστάσεις των αντικειμένων, και την αποθηκεύει στις πελοιθήσεις του.



Ο σχεδιαστής ενεργειών βρίσκει μια λύση στο πρόβλημα, η οποία καταλήγει σε ένα πλάνο, δηλαδή σε ακολουθία ενεργειών pickup και put, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Οι ενέργειες του σχεδιαστή ενεργειών αντιστοιχίζονται σε έργα του πράκτορα με το ίδιο όνομα, τα οποία αναλύονται σε επιμέρους ενέργειες του πράκτορα ως εξής:

- Το έργο pickup(Obj) αναγκάζει τον πράκτορα να βαδίσει ως το τραπέζι, πάνω στο οποίο βρίσκεται ο κύβος. Στην συνέχεια, με τη χρήση του μηχανισμού αντίστροφης κινηματικής πίνει τον κύβο με το χέρι του και τον σηκώνει από την θέση του.
- Το έργο put(Obj, Location) μπορεί να έχει ως θέση είτε έναν κύβο είτε ένα τραπέζι. Στην πρώτη περίπτωση, ο πράκτορας μετακινείται ως το τραπέζι στο οποίο βρίσκεται ο κύβος και τοποθετεί τον κύβο που κρατάει πάνω σε αυτόν, χρησιμοποιώντας και πάλι το μηχανισμό αντίστροφης κινηματικής. Στην περίπτωση τοποθέτησης στο τραπέζι, ο πράκτορας βρίσκει μια ελεύθερη θέση από τρεις προεπιλεγμένες πάνω στο τραπέζι και τοποθετεί τον κύβο στη θέση αυτή.



Εικόνα 8.4: Τρισδιάστατο περιβάλλον σχεδιασμού ενεργειών με δύο πράκτορες

Μια επέκταση του παραδείγματος αυτού είναι η χρήση δύο πρακτόρων με αντικρουόμενους στόχους. Στην περίπτωση αυτή οι πράκτορες θα πρέπει πάντα να

υπολογίζουν εκ νέου τα πλάνα τους και να εφαρμόζουν νέες ενέργειες για την επίλυση του προβλήματος (εικόνα 8.4).

Στην περίπτωση που ο κόσμος δε μεταβάλλεται μόνο από τις ενέργειες του ίδιου του πράκτορα αλλά και από αυτές άλλων πρακτόρων, είναι πιθανό να έχει προκύψει μια ακολουθία έργων, αλλά κατά τη διάρκεια εκτέλεσής της η κατάσταση του κόσμου να έχει αλλάξει κατά τέτοιο τρόπο, ώστε το πλάνο να αποτύχει. Αυτό μπορεί να εξεταστεί, αν συγκριθεί το σύνολο των πεποιθήσεων που έχει προκύψει από την παρατήρηση του κόσμου (*τρέχουσα κατάσταση*) με την κατάσταση του κόσμου, όπως θα έπρεπε να είναι σύμφωνα με το σχεδιαστή ενεργειών (*αναμενόμενη κατάσταση*). Εάν η αναμενόμενη κατάσταση δεν ταιριάζει με την πραγματική, το πλάνο θα πρέπει να υπολογιστεί ξανά. Φυσικά, μετά από κάθε επιτυχημένη εκτέλεση έργου από τον πράκτορα, θα πρέπει να αλλάζει και η αναμενόμενη κατάσταση του κόσμου με την εφαρμογή των αποτελεσμάτων της αντίστοιχης ενέργειας του σχεδιαστή ενεργειών. Εάν παραχθεί ένα νέο πλάνο, όλα τα υπολειπόμενα έργα της ακολουθίας διαγράφονται και ο πράκτορας ξεκινά να εκτελεί ένα νέο σύνολο εντολών. Η λειτουργία της διαδικασίας απόφασης σε ψευδοκώδικα είναι η εξής:

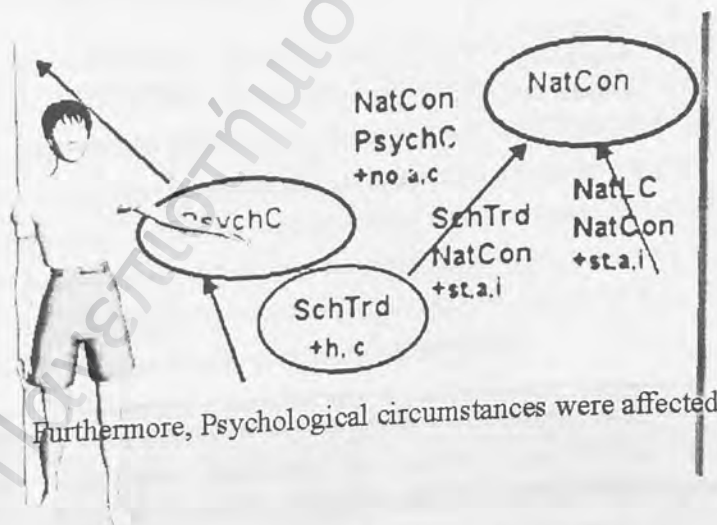
```
bool decide() {
    if(current_state == expected_state) {
        if(goals == current_state) {
            // το πλάνο έχει επιτύχει
            clear(action_sequence);
            return true;
        }
        // αλλιώς: το πλάνο εξακολουθεί να ισχύει,
        // αλλά δεν έχει πετύχει ακόμη
        return false;
    }
    // το πλάνο δεν ισχύει, πρέπει να υπολογιστεί
    // ξανά
    clear(action_sequence);
    recompute_plan;
    update(action_sequence);
}
```

### 8.3 Εικονικός Παρουσιαστής

Μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή των εικονικών πρακτόρων είναι στα συστήματα παρουσιάσεων, όπου ένας εικονικός άνθρωπος αναλαμβάνει το ρόλο του εκπαιδευτή.

για να παρουσιάσει ένα θέμα, να εξηγήσει μια έννοια ή γενικότερα να εκπαιδεύσει τον χρήστη. Ένα τέτοιο σύστημα αναπτύχθηκε με την χρήση της πλατφόρμας SimHuman, με σκοπό τη διεξαγωγή παρουσιάσεων που περιέχουν κείμενα και εικόνες (εικόνα 8.5). Το σύστημα βασίζεται στα παρακάτω στοιχεία:

- *βιβλιοθήκη εικόνων*: οι εικόνες / διαφάνειες που θα χρησιμοποιηθούν στην παρουσίαση. Κάθε εικόνα αντιστοιχεί σε ένα αρχείο εικόνας στο δίσκο και έχει ένα μοναδικό όνομα αναγνώρισης και ένα σύνολο θέσεων πάνω σε αυτήν. Οι θέσεις είναι συντεταγμένες (x,y) πάνω στην εικόνα, που έχουν κι αυτές μοναδικό όνομα για κάθε εικόνα.
- *αρχείο παρουσίασης*: Στο αρχείο αυτό περιλαμβάνεται το κείμενο της παρουσίασης, καθώς και οι απαραίτητες οδηγίες για την εκτέλεσή της. Οι οδηγίες μπορούν να είναι αλλαγή εικόνας ή κατάδειξη από τον πράκτορα συγκεκριμένου σημείου της εικόνας.



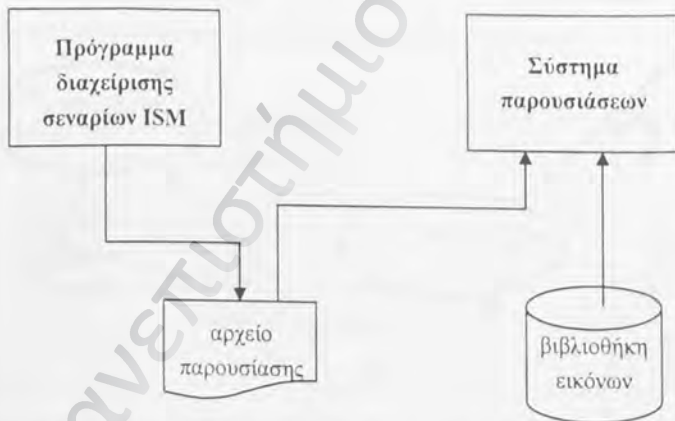
Εικόνα 8.5: Στιγμιότυπο της εφαρμογής «Εικονικός Παρουσιαστής»

Όταν ξεκινάει η εφαρμογή, παρουσιάζεται ένα τρισδιάστατο σκηνικό με τον παρουσιαστή και έναν πίνακα στον οποίο εμφανίζονται οι εικόνες. Στη συνέχεια φορτώνεται το αρχείο παρουσίασης και ο εικονικός άνθρωπος απαγγέλλει το κείμενο



χρησιμοποιώντας το ενσωματωμένο σύστημα σύνθεσης φωνής Microsoft Speech API. Η απαγγελία ενισχύεται με την ταυτόχρονη προβολή του κειμένου στην οθόνη. Στην περίπτωση που απαιτείται αλλαγή εικόνας φορτώνεται το αντίστοιχο αρχείο στον πίνακα και ενημερώνονται οι νέες θέσεις πάνω στην εικόνα. Όταν ο πράκτορας πρέπει να τονίσει κάποια σημεία, π.χ. τμήματα ενός διαγράμματος, βαδίζει παράλληλα προς τον πίνακα μέχρι να πλησιάσει στο επιθυμητό σημείο, του οποίου οι συντεταγμένες έχουν καταχωριστεί στην βιβλιοθήκη εικόνων, και χρησιμοποιεί αντίστροφη κινηματική για να δείξει με το χέρι του τη θέση αυτή.

Εκτός από τις ενέργειες του ίδιου του πράκτορα, το σύστημα ελέγχει και την κάμερα, για καλύτερη σκηνοθεσία της παρουσίασης. Έτσι, όταν ο πράκτορας καταδεικνύει κάποιο σημείο της εικόνας, η κάμερα χρησιμοποιώντας ομαλή μετάβαση εστιάζει αυτόματα στο σημείο αυτό, ώστε να βρίσκεται στο επίκεντρο της προσοχής του χρήστη. Όταν ο πράκτορας σταματάει να δείχνει πάνω στον πίνακα, η κάμερα επιστρέφει στη συνολική άποψη του χώρου παρουσίασης.



Εικόνα 8.6: σύνδεση του συστήματος παρουσιάσεων με το πρόγραμμα ISM

Το σύστημα παρουσίασης συνδέθηκε με ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα, την εφαρμογή ευφυούς διαχείρισης σεναρίων ISM (Belessiotis et al, 2001), στην οποία ο εικονικός πράκτορας δίνει στους χρήστες απαντήσεις σε ερωτήματα σχετικά με ιστορικά σενάρια. Όταν ο χρήστης υποβάλλει κάποια ερώτηση, η εφαρμογή ISM παράγει αυτόματα το κείμενο της απάντησης, το οποίο αφορά κάποια έτοιμα σχεδιαγράμματα που βρίσκονται στη βιβλιοθήκη εικόνων. Έτσι, γεννιέται δυναμικά το αρχείο παρουσίασης, που περιλαμβάνει το κείμενο της απάντησης με τις σχετικές εντολές

κατάδειξης σημείων του διαγράμματος και αλλαγής διαγραμμάτων, και στην συνέχεια φορτώνεται το σύστημα παρουσιάσεων στο οποίο ο εικονικός πράκτορας αναλαμβάνει να απατήσει με επεξηγηματικό τρόπο (εικόνα 8.6).

Ο εικονικός παρουσιαστής χρηματοδοτήθηκε από το πρόγραμμα ΠΕΝΕΔ 99 / 99ΕΔ265 / Μέτρο 4.1 με τίτλο «Εκτελέσιμες Νοηματικές Γλώσσες και Ευφυείς Εφαρμογές Πολυμέσων, Υπερμέσων και Εικονικής Πραγματικότητας»

## 8.4 Εικονική Αφήγηση Ιστορίας

Η τελευταία εφαρμογή είναι ένα μικρό παράδειγμα εικονικής αφήγησης ιστορίας (virtual storytelling). Χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα SimHuman σε συνδυασμό με την γλώσσα SLaVE, για να κατασκευαστεί ένα μικρό σενάριο αλληλεπίδρασης πολλαπλών πρακτόρων, που θα μπορούσε να αποτελεί τμήμα μιας ευρύτερης εφαρμογής εικονικής αφήγησης ιστορίας. Το σημαντικό στο παράδειγμα αυτό είναι ότι η ιστορία εξελίσσεται δυναμικά, ανάλογα με την αρχική κατάσταση του περιβάλλοντος και τον τρόπο λειτουργίας των πρακτόρων, με αποτέλεσμα να μπορεί κάποιος να πειραματιστεί με διάφορους τρόπους εκτέλεσής του.

Το σενάριο αφορά ένα μπαρ στο οποίο υπάρχει ένας σερβιτόρος και το επισκέπτονται διάφοροι πελάτες (εικόνα 8.7). Οι πελάτες κάθονται σε ένα οποιοδήποτε ελεύθερο τραπέζι, παραγγέλνουν ένα ποτό και, αφού το πίνουν, εγκαταλείπουν το χώρο. Η συμπεριφορά των χαρακτήρων έχει γραφτεί εξολοκλήρου στη γλώσσα SLaVE, καθώς κάθε χαρακτήρας εκτελεί ένα μοναδικό έργο που υλοποιείται ως συνδυασμός αρκετών μικρότερων. Ο κώδικας της συμπεριφοράς δεν είναι ξεχωριστός για κάθε πράκτορα, αλλά είναι κοινός σε πράκτορες που έχουν τον ίδιο ρόλο. Οι ρόλοι που εμφανίζονται στο συγκεκριμένο σενάριο είναι οι παρακάτω:

- *ανεργός*: πρόκειται για χαρακτήρες που δεν αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον, απλώς παραμένουν καθισμένοι σε κάποια τραπέζια και εκτελούν επαναλαμβανόμενες κινήσεις (μικρές κινήσεις του κεφαλιού και των χεριών) για μεγαλύτερη αληθοφάνεια.
- *πελάτης*: οι πράκτορες αυτοί συμπεριφέρονται ως πελάτες του μπαρ: κάθονται σε κάποιο τραπέζι και παραγγέλνουν ένα ποτό.

- *σερβιτόρος*: υπάρχει ένας μοναδικός τέτοιος πράκτορας, ο οποίος αναλαμβάνει να εξυπηρετήσει τους πελάτες.



Εικόνα 8.7: Σχημιάτσιο του σεναρίου, ο πελάτης βαδίζει προς την έξοδο του μπαρ

Τα επιμέρους έργα που εκτελεί ένας πελάτης είναι:

- *find\_free\_table*: Ο πράκτορας βαδίζει μια προκαθορισμένη διαδρομή μέσα στο μπαρ, με σκοπό να εντοπίσει ένα ελεύθερο τραπέζι, δηλαδή ένα τραπέζι στις καρέκλες του οποίου δεν κάθεται κάποιος άλλος πράκτορας. Κατά τη διάρκεια της κίνησης του αντιλαμβάνεται το χώρο γύρω του και ενημερώνει τις πεποιθήσεις του, μέχρι να επιτευχθεί ο στόχος. Ο κώδικας του έργου σε SLAVE είναι:

```
TASK find_free_table() {
    DO (
        PAR(
            // παράλληλα
            walk_path([*room]p1, [*room]p2, [*room]p3,
                    [*room]p4, [*room]p5))
            // βόδιση σε προκαθορισμένη διαδρομή που ορίζεται
            // από 5 θέσεις του δωματίου
            ,
            anim 'rotate_head'
            // ταυτόχρονα περιστρέφεται το κεφάλι
```



```

// για να αντιλαμβάνεται τον χώρο
)
) UNTIL exists(Table, eq([Table]class, 'Table'), free(Table));
// μέχρι να βρεθεί ελεύθερο τραπέζι
}

```

- *take\_a\_seat*: Ο πράκτορας βαδίζει προς το τραπέζι που βρέθηκε ελεύθερο, με σκοπό να καθίσει σε μια από τις καρέκλες του. Πηγαίνει στο πίσω μέρος της καρέκλας, την πιάνει και τη μετακινεί μακριά από το τραπέζι σε αρκετή απόσταση, ώστε να καθίσει. Στη συνέχεια πηγαίνει μπροστά από την καρέκλα και εκτελεί προκαθορισμένη συνθετική κίνηση καθίσματος, μέχρι το σώμα του να συγκρουστεί με τη γεωμετρία της καρέκλας. Ο κώδικας του έργου σε SLAVE είναι:

```

TASK take_a_seat(ent Table, ent Chair) {

walk_pr p_ent_rlv(Chair, 'behind') [Chair]rot;
// βάδισμα ως το πίσω μέρος της καρέκλας με τελικό
// προσανατολισμό αυτόν της καρέκλας
PAR(
// παράλληλα
ik_p (*Abdomen, *L_Shoulder, *L_Elbow, *L_Wrist, *L_Grip)
[Chair]left_spot
// πιάσιμο με το αριστερό χέρι
,
ik_p (*R_Shoulder, *R_Elbow, *R_Wrist, *R_Grip) [Chair]right_spot;
add_child R_Grip Chair
// πιάσιμο με το δεξί χέρι και μετατροπή της καρέκλας σε
// υπο-αντίοτητα του χεριού
);
lock (*L_Shoulder, *L_Elbow, *R_Shoulder, *R_Elbow);
// κλειδώμα αριστερού και δεξιού χεριού για να μην
// κινούνται με το βάδισμα
DO( walk_d 'backwards' )
// βάδισμα προς τα πίσω
UNTIL grt( dist( Chair, Table ), 1.0 );
// μέχρι η απόσταση της καρέκλας από το τραπέζι να υπερβεί
// μια δοσμένη τιμή
rem_child R_Grip Chair;
// απελευθέρωση της καρέκλας
unlock (*L_Shoulder, *L_Elbow, *R_Shoulder, *R_Elbow);
// ξεκλειδώμα των χεριών
walk_pr p_ent_rlv(Chair, 'front') [Chair]rot;

```

```

// βάδισμα ως το μπροστινό μέρος της καρέκλας
DO( anim 'sitdown' )
// κάθισμα στην καρέκλα
UNTIL intersect( me, [Chair]seat );
// μέχρι να συγκρουστεί το σώμα με την θέση
DO( anim 'lieback' )
// τέντωμα της πλάτης
UNTIL intersect( me, [Chair]back );
// μέχρι την σύγκρουση του σώματος με την πλάτη της καρέκλας
}

```

- *call\_waiter*: Ο πράκτορας περιστρέφει το κεφάλι του εκτελώντας προκαθορισμένη συνθετική κίνηση, μέχρι να είναι ορατός ο πράκτορας με την ιδιότητα του σερβιτόρου. Στη συνέχεια υψώνει το χέρι του για να τον καλέσει. Ο κώδικας του έργου σε SLAVE είναι:

```

TASK call_waiter() {

DO( anim 'rotate_head' )
// περιστροφή του κεφαλιού
UNTIL exists(Person, eq([Person]class, 'Human'),
    eq([Person]role, 'Waiter'));
// μέχρι να υπάρχει οντότητα της τάξης 'Human' με ιδιότητα σερβιτόρος
anim 'raise_hand';
// ύψωση του χεριού
}

```

- *order\_drink*: Στο σημείο αυτό ο πράκτορας επικοινωνεί με τον σερβιτόρο μέσω μηνυμάτων. Αρχικά δέχεται το μήνυμα ORDER, οπότε ο σερβιτόρος τον προτρέπει να δώσει την παραγγελία του. Ο πράκτορας απαντάει με το όνομα του ποτού που θέλει να παραγγείλει και στην συνέχεια δέχεται απάντηση από το σερβιτόρο OK, αν υπάρχει, και NOT\_AVAILABLE, αν δεν υπάρχει. Στη δεύτερη περίπτωση ο πράκτορας εκτελεί απευθείας το έργο leave\_place που περιγράφεται στην συνέχεια. Ο κώδικας του έργου σε SLAVE είναι:

```

TASK order_drink(ent Waiter) {

str answer '';
// δήλωση τοπικής μεταβλητής για την αποθήκευση
// των εισερχόμενων μηνυμάτων
PAR( anim 'idle' , get_msg Waiter answer );
// αναμονή για μήνυμα από τον σερβιτόρο

```

```

send_msg Waiter fav_drink;
// αποστολή μηνύματος στον σερβιτόρο με το
// όνομα του αγαπημένου ποτού
PAR( anim 'idle' , get_msg Waiter answer );
// αναμονή για απάντηση από τον σερβιτόρο
IF eq(answer, 'NOT_AVAILABLE')
// αν δεν υπάρχει
THEN ( copy status 'UNHAPPY' )
// η κατάσταση του πράκτορα γίνεται 'UNHAPPY'
ELSE ();
}

```

- *drink*: Ο πράκτορας περιμένει ως τη στιγμή που θα βρεθεί το ποτό στο τραπέζι. Σε τακτά χρονικά διαστήματα, το πιάνει με το χέρι του και το φέρνει προς το στόμα, χρησιμοποιώντας αντίστροφη κινηματική. Στη συνέχεια στέλνει ένα μήνυμα στον κόσμο για να ενημερώσει ότι πίνει το ποτό, δηλαδή DRINK <οντότητα>, και ο αντίστοιχος νόμος του κόσμου αφαιρεί ένα ποσοστό υγρού, που υπάρχει ως χαρακτηριστικό της οντότητας. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι το ποτό να φτάσει στο τέλος, δηλαδή να μηδενιστεί το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό. Ο κώδικας του έργου σε SLaVE είναι:

```

TASK drink() {

ent Drink *;
// δηλώνεται η τοπική μεταβλητή drink
DO( anim 'idle' )
UNTIL exists( Drink, eq([Drink]type, fav_drink), on(Drink, Table));
// αναμονή μέχρι να υπάρχει οντότητα με τύπο το αγαπημένο ποτό
// στο τραπέζι
DO(
PAR( wait 5000, anim 'idle');
// αναμονή για 5 δευτερόλεπτα
ik_p (*L_Shoulder, *L_Elbow, *L_Wrist, *L_Grip) [Drink]left_spot;
// πιπίσιμο του ποτού με το αριστερό χέρι
add_child *L_Grip Drink;
// μετατροπή του ποτού σε υπο-οντότητα του χεριού
ik_p (*L_Shoulder, *L_Elbow, *L_Wrist, *L_Grip, Drink)
[*Head]mouth_spot;
// μετακίνηση του ποτού σε καθορισμένη θέση στο στόμα
// του πράκτορα
send_msg env ('DRINK', Drink);
// αποστολή σχετικού μηνύματος στον κόσμο
ik_p (*L_Shoulder, *L_Elbow, *L_Wrist, *L_Grip, Drink)

```



```

    p_ent_rlv(Table, 'on');
    rem_child R_Grip Drink;
    // επιστροφή του ποτού στο τραπέζι και απελευθέρωσή του
) UNTIL lss([drink]portion, 0.01);
// μέχρι η ποσότητά του να βοϊσκεται κάτω από δοσμένο ποσοστό
}

```

- *leave\_place*: Ο πράκτορας σηκώνεται από την καρέκλα εκτελώντας προκαθορισμένη συνθετική κίνηση και βαδίζει προς την έξοδο. Ο κώδικας του έργου είναι:

```

TASK leave_place() {

    anim 'stand_up';
    // συνθετική κίνηση που σηκώνει τον πράκτορα από την καρέκλα
    walk_p [room]exit;
    // βόδισμα προς την έξοδο, που είναι σε προκαθορισμένο σημείο του χώρου
}

```

Τα έργα που εκτελεί ο σερβιτόρος είναι:

- *check\_for\_order*: Ο πράκτορας βαδίζει προκαθορισμένη διαδρομή, για να ελέγξει αν κάποιος πράκτορας έχει σηκωμένο το χέρι του, οπότε υποθέτει ότι τον καλεί για παραγγελία. Ο κώδικας του έργου σε SLAVE είναι:

```

TASK check_for_order() {
    DO
        PAR(
            // παράλληλα
            walk_path ([*room]p6, [*room]p7, [*room]p8,
                [*room]p9))
            // βόδισμα σε προκαθορισμένη διαδρομή που ορίζεται
            // από 3 θέσεις του δωματίου

            anim 'rotate_head'
            // ταυτόχρονα περιστρέφεται το κεφάλι
            // για να αντιλαμβάνεται τον χώρο
        )
    UNTIL exists(Client, eq([Client]class, 'Human'),
        or( above( [Human]R_Hand, [Human]Head),
            above( [Human]L_Hand, [Human]Head) )
        );
    // μέχρι να υπάρχει άνθρωπος του οποίου το δεξί ή αριστερό

```

```
// χέρι να είναι σηκωμένο (πιο ψηλά από το κεφάλι)
}
```

- *get\_order*: Ο σερβιτόρος επικοινωνεί με τον πελάτη μέσω μηνυμάτων, όπως περιγράφηκε και στο αντίστοιχο έργο *order\_drink*. Αποστέλλει μήνυμα *ORDER* και περιμένει μέχρι να λάβει μήνυμα με το όνομα του ποτού. Ελέγχει αν υπάρχει το ποτό αυτό στο μπαρ και αν ναι, επιστρέφει *OK*. Αλλιώς στέλνει μήνυμα *NOT\_AVAILABLE*. Ο κώδικας του έργου σε SLAVE είναι:

```
TASK get_order() {

    walk_p_p_ent_rlv(Client, 'left');
    // βάρδιση μέχρι την αριστερή μεριά του πελάτη
    send_msg Client 'ORDER';
    // αποστολή μηνύματος για παραγγελία
    PAR ( anim 'idle' , get_msg Client drink_type );
    // αναμονή για μήνυμα του πελάτη σχετικά με την παραγγελία του
    IF exists(drink, and( eq([drink]class, 'Drink'), in( drink, *cellar)),
        eq([drink]type, drink_type) )
    // αν υπάρχει ποτό αυτού του τύπου
    THEN ( send_msg Client 'OK'; task serve(drink) )
    // αποστολή μηνύματος 'OK'
    ELSE ( sent_msg Client 'NOT_AVAILABLE' );
    // αλλιώς: αποστολή μηνύματος 'NOT_AVAILABLE'
}
}
```

- *serve*: Ο πράκτορας πίνει το ποτό που ζητήθηκε, βαδίζει προς το τραπέζι στο οποίο κάθεται ο πελάτης που το παρήγγειλε, και το αφήνει πάνω στο τραπέζι. Ο αντίστοιχος κώδικας είναι:

```
TASK serve( ent Client, ent Drink ) {

    walk_p_p_ent_rlv(*cellar, 'front');
    // βάρδιση μέχρι την κάβα
    ik_p (*R_Shoulder, *R_Elbow, *R_Wrist, *R_Grip) (Drink]touch_spot;
    add_child R_Grip Drink;
    // πιόσιμο του ποτού
    lock (*R_Shoulder, *R_Elbow);
    // κλείδωμα του δεξιού χεριού
    walk_p_p_ent_rlv(Client, 'left');
    // βάρδιση προς τον πελάτη
    ik_p (*R_Shoulder, *R_Elbow, *R_Wrist, *R_Grip, Drink)
    p_ent_rlv(Table, 'on');
}
```

```
// τοποθέτηση του ποτού στο τραπέζι
rem_child R_Grip Drink;
// απελευθέρωση του ποτού
unlock (*R_Shoulder, *R_Elbow);
// ξεκλείδωμα του δεξιού χεριού
}
```

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



## 9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

---

### 9.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διατριβή έγινε εκτενής παρουσίαση του θέματος της εισαγωγής ευφυών πρακτόρων σε εικονικά περιβάλλοντα. Πιο συγκεκριμένα αναλύθηκαν τα παρακάτω θέματα:

- Αρχικά εξετάστηκε η σημερινή βιβλιογραφία στους χώρους των εικονικών περιβαλλόντων και των εικονικών πρακτόρων και παρουσιάστηκαν τα πιο σημαντικά ολοκληρωμένα συστήματα. Μέσα από τα κεφάλαια αυτά δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στα προβλήματα και στις ελλείψεις που παρουσιάζονται, με πιο σημαντικό την ανυπαρξία ολοκληρωμένων μεθοδολογιών και αρχιτεκτονικών για την ανάπτυξη εφαρμογών με εικονικούς πράκτορες, καθώς και στους περιορισμούς που εμφανίζονται στα υπάρχοντα εργαλεία ανάπτυξης τρισδιάστατων εφαρμογών.
- Στη συνέχεια παρουσιάστηκε ένα νέο μοντέλο για το σχεδιασμό και την υλοποίηση αυτόνομων εικονικών πρακτόρων με δυνατότητες συμπερασματολογίας σε

συμβολικό επίπεδο, το οποίο φαίνεται να αποτελεί μια προσέγγιση προς την ενοποίηση των φυσικών και γνωσιακών ικανοτήτων των πρακτόρων.

- Ακολούθησε η παρουσίαση της *πλατφόρμας ανάπτυξης εφαρμογών με εικονικούς πράκτορες SimHuman* που σχεδιάστηκε με βάση το προτεινόμενο μοντέλο. Το SimHuman αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για την απεικόνιση, κίνηση και συμπεριφορά συνθετικών χαρακτήρων, που προσπαθεί να εξισορροπήσει μεταξύ της εμφάνισης, ακρίβειας και αληθοφάνειας.
- Η *γλώσσα SLAVE* που βοηθάει στον καθορισμό της αντίληψης και του τρόπου εκτέλεσης έργων ενός συνθετικού χαρακτήρα της πλατφόρμας SimHuman αποτέλεσε το θέμα ξεχωριστού κεφαλαίου, καθώς είναι μια σημαντική προσέγγιση προς τη διασύνδεση της υψηλού επιπέδου απόφασης με τη χαμηλού επιπέδου κίνηση και αλληλεπίδραση των πρακτόρων.
- Στη συνέχεια εξετάστηκε ξεχωριστά το θέμα των *Ευφυών Εικονικών Πρακτόρων στον Παγκόσμιο Ιστό*, μια περιοχή που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, κυρίως λόγω των πολλών εφαρμογών που υπάρχουν ήδη στο χώρο αυτό.
- Τέλος παρουσιάστηκαν τέσσερα *παραδείγματα χρήσης* των προτεινόμενων θεωριών και εργαλείων, τα οποία αναδεικνύουν την πληθώρα των εφαρμογών στις οποίες φαίνεται να έχουν ουσιαστικό λόγο ύπαρξης οι εικονικοί πράκτορες.

Αυτό που προκύπτει από τα παραπάνω είναι ότι οι θεωρίες και αρχιτεκτονικές των ευφυών πρακτόρων μπορούν να εφαρμοστούν με επιτυχία στα εικονικά περιβάλλοντα, αρκεί να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στα προβλήματα και τους περιορισμούς που παρουσιάζονται. Αυτά εντοπίζονται κυρίως στο διαφορετικό επίπεδο αφάιρησης που συναντάται στην αναπαράσταση του κόσμου σε φυσικό και νοητικό επίπεδο, αλλά και στις δυσκολίες που εμφανίζονται σε δυναμικά περιβάλλοντα, ιδιαίτερα όταν οι αλλαγές στην κατάσταση του κόσμου γίνονται με μεγάλη συχνότητα. Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε στο προτεινόμενο μοντέλο και υλοποιήθηκε μέσω της γλώσσας SLAVE, δηλαδή η διατήρηση δύο ταυτόχρονων αναπαραστάσεων σε διαφορετικά επίπεδα και η χρήση κανόνων αντίληψης και έργων για την επικοινωνία μεταξύ των δύο επιπέδων, φαίνεται να αποτελεί μια πρώτη λύση

στα προβλήματα αυτά και να επιτρέπει σε παραδοσιακούς αλγορίθμους συμβολικής συμπερασματολογίας να συνδεθούν με εικονικούς πράκτορες.

## 9.2 Συνεισφορά της Διατριβής

Η συνεισφορά της παρούσας διατριβής στο χώρο των εικονικών πρακτόρων και των εικονικών περιβαλλόντων γενικότερα συνοψίζεται στα παρακάτω σημεία:

- Το προτεινόμενο μοντέλο ευφών εικονικών πρακτόρων αποτελεί μια πρωτότυπη προσέγγιση προς ένα γενικό μοντέλο εικονικών περιβαλλόντων με πράκτορες που λειτουργούν τόσο σε γνωσιακό όσο και σε φυσικό επίπεδο.
- Η πλατφόρμα SimHuman καλύπτει ένα μεγάλο κενό στα υπάρχοντα εργαλεία ανάπτυξης περιβαλλόντων με εικονικούς πράκτορες, καθώς συνδυάζει στοιχεία από το χώρο των γραφικών και της συνθετικής κίνησης αλλά και από αυτόν των αυτόνομων πρακτόρων, επιτρέποντας έτσι τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη εικονικών πρακτόρων με αληθοφανή χαρακτηριστικά στην κίνηση και τη συμπεριφορά τους.
- Η γλώσσα SLaVE παρέχει τη δυνατότητα ορισμού έργων ως συνδυασμού ενεργειών με σειριακή, παράλληλη ή και υπό συνθήκη εκτέλεσή τους. Αυτό που τη διαφοροποιεί από τις υπάρχουσες γλώσσες περιγραφής πολύπλοκων ενεργειών είναι η ικανότητα λήψης αποφάσεων σε υψηλό επίπεδο με τη χρήση των ενσωματωμένων συναρτήσεών της, που της επιτρέπει να λειτουργεί αποτελεσματικά τόσο σε στατικά όσο και σε δυναμικά περιβάλλοντα.
- Σε ό,τι αφορά τους κανόνες αντίληψης, η γλώσσα SLaVE επιτρέπει στον χρήστη να ορίσει ο ίδιος τον τρόπο, με τον οποίο θα γεννιούνται οι πεποιθήσεις του πράκτορα από την τρέχουσα κατάσταση του κόσμου, και αποτελεί κατά συνέπεια μια λύση του προβλήματος της μετάφρασης στον ειδικό χώρο των ευφών εικονικών πρακτόρων.
- Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική ευφών πρακτόρων στο Web αποτελεί επίσης μια πρωτότυπη προσέγγιση για την εισαγωγή συνθετικών χαρακτήρων σε υπάρχοντα τρισδιάστατα περιβάλλοντα του διαδικτύου.



### 9.3 Αξιοποίηση των Ερευνητικών Αποτελεσμάτων

Σε ό,τι αφορά την χρησιμότητα των εργαλείων που αναπτύχθηκαν κατά την έρευνα της παρούσας διατριβής, φαίνεται να υπάρχουν πολλά δυνατά πεδία εφαρμογής που προκύπτουν τόσο από τα παραδείγματα που παρουσιάστηκαν, όσο και από τα γενικά πεδία εφαρμογής εικονικών πρακτόρων που εμφανίζονται στη βιβλιογραφία και παρουσιάστηκαν στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο. Κατά συνέπεια:

- Συνθετικοί χαρακτήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη *διεπαφή με το χρήστη*, όπως στα παραδείγματα «Εικονικό Πανεπιστήμιο» και «Εικονικός Παρουσιαστής», και να συνδεθούν με επιτυχία με εφαρμογές πολυμέσων, παρουσιάσεων ή και εκπαίδευσης, όπως συνέβη και στην περίπτωση του εκπαιδευτικού προγράμματος ISM.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε *εφαρμογές ψυχαγωγίας*, όπως εικονικές αφηγήσεις ιστοριών, στις οποίες ο χρήστης μπορεί να στήσει το σκηνικό και να παρέμβει στην εξέλιξη της ιστορίας.
- Μπορούν να συνεισφέρουν στην *οπτικοποίηση* και κατά συνέπεια στην καλύτερη κατανόηση και αποσφαλμάτωση *αλγορίθμων και μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης και τεχνητής ζωής*, όπως φάνηκε και στο παράδειγμα του σχεδιασμού ενεργειών με εικονικούς πράκτορες.
- Σε γενικές γραμμές οι εικονικοί πράκτορες είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας ενίσχυσης της *αληθοφάνειας και αυτονομίας των εικονικών περιβαλλόντων*.

Πέρα όμως από τις πρακτικές εφαρμογές που μπορούν να προκύψουν με τη χρήση της πλατφόρμας SimHuman και της γλώσσας SLaVE, τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής μπορούν να αξιοποιηθούν και σε θεωρητικό επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα:

- Η προτεινόμενη θεωρία μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη *γενικών μεθοδολογιών και αρχιτεκτονικών* για την κατασκευή εικονικών πρακτόρων, οι οποίες ενδεχομένως να οδηγήσουν στο μέλλον σε πρότυπα και τυποποιήσεις που έχει ιδιαίτερη ανάγκη ο χώρος.

- Επιπλέον, μπορεί να αποτελέσει έναν πολύτιμο οδηγό στον ερευνητή τόσο από την περιοχή των γραφικών, όσο και από αυτή της τεχνητής νοημοσύνης, για τους τρόπους υλοποίησης των διαφόρων υποσυστημάτων ενός εικονικού πράκτορα και τις δυνατότητες διασύνδεσής τους.
- Η γλώσσα SLaVE μπορεί να μεταφερθεί σε άλλες πλατφόρμες με τις απαραίτητες μετατροπές στον τρόπο ανάγνωσης της μνήμης και εκτέλεσης ενεργειών και να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για τον προγραμματισμό της αντίληψης και των έργων των πρακτόρων και τη διασύνδεσή τους με τμήματα κώδικα που βασίζονται σε συμβολική αναπαράσταση του κόσμου.
- Τέλος, το προτεινόμενο μοντέλο εικονικών πρακτόρων στον Παγκόσμιο Ιστό μπορεί να αξιοποιηθεί σε υπάρχοντα περιβάλλοντα σε VRML και να τα ενισχύσει με την παρουσία αυτόνομων εικονικών πρακτόρων, που θα βελτιώσουν τις δυνατότητες αλληλεπίδρασης με τον χρήστη.

#### 9.4 Ανοιχτά Ερευνητικά Πεδία

Τα ερευνητικά αποτελέσματα της παρούσας διατριβής αποτελούν μόνο ένα πρώτο βήμα προς τον καινούριο αυτό χώρο των ευφυών εικονικών περιβαλλόντων. Υπάρχουν πολλά ανοιχτά ερευνητικά θέματα που πρέπει να επιλυθούν, και μερικά βασικά τέτοια θέματα είναι:

- Ο καθορισμός ενός ενιαίου μοντέλου για εικονικά περιβάλλοντα και για την αλληλεπίδραση του χρήστη με αυτά, ώστε να είναι δυνατή η προσθήκη εικονικών πρακτόρων αλλά και η υποστήριξη εξειδικευμένου υλικού.
- Η δημιουργία κοινών μοντέλων σώματος και σκελετού για εικονικούς πράκτορες, ώστε να αξιοποιούνται οι αλγόριθμοι συνθετικής κίνησης και αντίστροφης κινηματικής σε όλους τους χαρακτήρες.
- Ο σαφής καθορισμός των διαφορετικών πεδίων εφαρμογής των εικονικών πρακτόρων και η ανάλυση των απαιτήσεων για κάθε ένα από αυτά, ώστε να αναπτυχθούν σχετικές μεθοδολογίες ανάπτυξης και υλοποίησης.

- Η κατασκευή εργαλείων για το σχεδιασμό και τη μοντελοποίηση σώματος ή και για την αυτόματη δημιουργία πρακτόρων από φωτογραφίες ανθρώπων, που να μπορούν να αξιοποιηθούν σε εικονικά περιβάλλοντα
- Η κατασκευή μοντέλων επικοινωνίας, συνεργασίας και μάθησης εικονικών πρακτόρων για την ενίσχυση των γνωσιακών ικανοτήτων τους

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- ADAM, J.A., 1993. Virtual reality is for real. *IEEE Spectrum*, vol. 30(10), pp. 30-33.
- ALLBECK, J. and BADLER, N., 2002. Toward Representing Agent Behaviors Modified by Personality and Emotion. *Proceedings of Workshop on Embodied Conversational at AAMAS 2002*, Bologna, Italy.
- ARTHUR, K.W., BOOTH, K.S. and WARE, C., 1993. Evaluating 3D task performance for fish tank virtual worlds. *ACM Transactions on Information Systems*, vol. 11(3), pp. 239-265.
- ASTHEIMER, P., DAI, F., GABEL, M., KRUSE, R., MOLLER, S. and ZACHMANN, G., 1994. Realism in Virtual Reality. In N.M. Thalmann and D. Thalmann (eds.): *Artificial Life and Virtual Reality*.
- AUBEL, A., BOULIC, R. and THALMANN, D., 2000. Real-time Display of Virtual Humans: Levels of Detail and Impostors. *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, Special Issue on 3D Video Technology.
- AYLETT, R. and CAVAZZA, M., 2001. Intelligent Virtual Environments – A State-of-the-art Report. *Proceedings of Eurographics 2001*, pp. 87-109.
- AYLETT, R. and LUCK, M., 2000. Applying Artificial Intelligence to Virtual Reality: Intelligent Virtual Environments. *Applied Artificial Intelligence*, vol. 14, pp. 3-32.
- AYLETT, R., HORROBIN, A., O'HARRE, J.J., OSMAN, A. and POLSHAW, M., 1999. Virtual Teletubbies: Reapplying a Robot Architecture to Virtual Agents. *Proceedings of the 3rd International Conference on Autonomous Agents*, ACM press, pp. 338.
- BADLER, N. and WEBBER, B., 1995. Planning and Parallel Transition Networks: Animation's new Frontiers. In S. Y. Shin and T. L. Kunii (eds.): *Computer Graphics and Applications: Proceedings of Pacific Graphics '95*, World Scientific Publishing., pp. 101-117.

- BADLER, N., 1997. Virtual humans for animation, ergonomics, and simulation. *Proceedings of IEEE Workshop on Non-Rigid and Articulated Motion*, Puerto Rico.
- BADLER, N., ALLBECK, J., ZHAO, L. and BYUN, M., 2002. Representing and Parameterizing Agent Behaviors. *Proceedings of Computer Animation 2002*, IEEE Computer Society, Geneva, Switzerland, pp. 133-143.
- BADLER, N., BINDIGANAVALA, R., BOURNE, J., ALLBECK, J., SHI, J. and PALMER, M., 1999. Proc. Real time virtual humans. International Conference on Digital Media Futures, Bradford, UK.
- BADLER, N., BINDIGANAVALA, R., BOURNE, J., PALMER, M., SHI, J. and SCHULER, W., 2000. A Parameterized Action Representation for Virtual Human Agents. In J. Cassell, J. Sullivan, S. Prevost, and E. Churchill (eds.): *Embodied Conversational Agents*, MIT Press, pp. 256-284.
- BADLER, N., HOLLICK, M. and GRANIERI, J., 1993a. Real-Time Control of a Virtual Human Using Minimal Sensors. *Presence*, vol. 2(1), pp. 82-86.
- BADLER, N., PHILLIPS, C., and WEBBER, B., 1993b. *Simulating Humans: Computer Graphics Animation and Control*. Oxford University Press.
- BADLER, N., REICH, B. and WEBBER, B., 1997. Towards personalities for animated agents with reactive and planning behaviors. In Trappl, R. and Petta, P. (eds.): *Creating Personalities for Synthetic Actors*, pp. 43-57.
- BADLER, N., WEBBER, B., GEIB, W.B.C., MOORE, M., PELACHAUD, C., REICH, B. and STONE, M., 1996. Planning for Animation. In N. M-Thalman and D. Thalman (eds.): *Interactive Computer Animation*, Prentice-Hall.
- BALL, G., LING, D., KURLANDER, D., MILLER, J., PUGH, D., SKELLY, T., STANKOSKY, A., THIEL, D., VAN DANTZICH, M. and WAX, T., 1997. Life-like computer characters: the persona project at microsoft research. In Bradshaw, J. M. (ed.): *Software Agents*, AAAI Press, pp.191-222

- BELESSIOTIS, V.S, ALEXANDRIS, N. and PANAYIOTOPOULOS, T., 2001. ISM and Learning Process. *Proceedings of WSES International Conference AITA '01, Automation and Information: Theory and Applications*, Skiathos Island, Greece.
- BENFORD, S., GREENHALGH, C., BOWERS, J., SNOWDON, D. and FAHLIN, L.E., 1995. User embodiment in collaborative virtual environments. *Proceedings of CHI '95 conference: Human Factors in Computing Systems*, ACM press, pp. 242-249.
- BERGAMASCO, M., 1994. Manipulation and exploration of virtual objects. In N.M. Thalmann and D. Thalmann (eds.): *Artificial Life and Virtual Reality*.
- BLISS, J.P., TIDWELL, P.D. and GUEST, M.A., 1997. The effectiveness of virtual reality for administering spatial navigation training to fire-fighters. *Presence: teleoperators and virtual environments*, vol. 6(1), pp. 73-86.
- BOLTER, J., HODGES, L.F., MEYER, T. and NICHOLS, A., 1995. Integrating perceptual and symbolic information in VR. *IEEE Computer Graphics & Applications*, vol. 15(4), pp. 8-11.
- BOLZONI, M.L.G., 1994. Eliciting a context for rules of interaction: a taxonomy of metaphors for human-objects communication in virtual and synthetic environments. *Proceedings of 2nd UK Virtual Reality-Special Interest Group Conference*, Theale, Reading, pp. 78-87.
- BORDEGONI, M., 1993. Gesture interaction in a 3D user interface. European Research Consortium for Informatics and Mathematics. *Technical report*, number ERCIM-93- RO19.
- BORDEUX, C., BOULIC, R. and THALMANN, D., 1999. An Efficient Perception Pipeline for Autonomous Agents. *Proceedings of Eurographics'99*, Milano, Italy, pp.23-30.
- BOULIC, R., HUANG, Z., SHEN, J., MOLET, T., CAPIN, T., LINTERMANN, B., SAAR, K., THALMANN, D., MAGNETAT-THALMANN, N., SCHMITT, A., MOCCOZET, L., KALRA, P., and PANDZIC, I., 1995. A system for the



- parallel integrated motion of multiple deformable human characters with collision detection. *Computer Graphics Forum*, vol. 14(3), pp.337-348.
- BRELSTAFF, G., 1995. Visual displays for virtual environments - a review. *Proceedings of FIVE '95: Framework for Immersive Virtual Environments*, London, pp. 27-37.
- BROOKS, R., 1986. Robust Layered Control System for a Mobile Robot, *IEEE Journal of Robotics and Automation*, pp. 14-23.
- BROOKS, R., 1991. Intelligence Without Representation. *Artificial Intelligence*, vol.47, pp.139-159.
- BROWN, M.L., NEWSOME, S.L. and GLINERT, E.P., 1989. An experiment into the use of auditory cues to reduce visual workload. *Proceedings of CHI '89 conference: Human Factors in Computing Systems*, Austin, Texas, ACM press, pp. 339-346.
- BUCK, M., GREBNER, K. and KATTERFELDT, H., 1996. Modelling and interaction tools for virtual environments. *Proceedings of Virtual Reality World '96 conference*, Stuttgart, Germany.
- BULLINGER, H.J., MULLER-SPAHN, F. and RELER, A., 1996. Encouraging creativity - support for mental processes by virtual experiences. *Proceedings of Virtual Reality World '96 conference*, Stuttgart, Germany.
- CAICEDO, A. and THALMANN, D., 2000. Virtual Humanoids: Let Them Be Autonomous without Losing Control. *Proceedings of 3IA 2000*, Limoges, France.
- CAPIN, T.K., PANDZIC, I.S., THALMANN, N.M. and THALMANN, D., 1995. Virtual humans for representing participants in immersive virtual environments. *Proceedings of FIVE '95: Framework for Immersive Virtual Environments*, London, pp. 135-149.
- CASTELFRANCHI, C., 1995. Guarantees for autonomy in cognitive agent architecture. In Wooldridge, M. and Jennings, N. R. (eds.): *Intelligent Agents:*

- Theories, Architectures, and Languages*, LNAI 890, Springer-Verlag, pp. 56-70.
- CAVAZZA, M., CHARLES, F. and MEAD, S.J., 2001. Agents' Interaction in Virtual Storytelling. In A. de Antonio, R. Aylett, D. Ballin (eds.): *Lecture Notes in AI*, (LNAI 2190), Springer-Verlag, pp. 156-170.
- CAVAZZA, M., PALMER, I. and PARNELL, S., 1998. Real-Time Requirements for the Implementation of Speech-Controlled Artificial Actors. *Proceedings of CAPTECH 1998*, pp. 187-198.
- CRUZ-NEIRA, C., 1996. Integrating high performance computing and communications with virtual reality for interactive molecular modelling: the VIBE system. *Proceedings of Virtual Reality World '96 conference*, Stuttgart, Germany.
- DAI, F., FELGER, W., FROHAUF, T., GABEL, M., REINERS, D. and ZACHMANN, G., 1996. Virtual prototyping examples for automotive industries. *Proceedings of Virtual Reality World '96 conference*, Stuttgart, Germany.
- DAMER, B., 1998. *Avatars: Exploring and Building Virtual Worlds on the Internet*. Peachpit Press.
- DEDE, C., SALZMAN, M., CALHOUN, C., LOFTIN, R.B., HOBLIT, J. and REGIAN, J.W., 1994. The design of artificial realities to improve learning Newtonian mechanics. *Proceedings of East-West International Conference on Multimedia, Hypermedia and Virtual Reality*, Moscow.
- DEERING, M., 1995. HoloSketch: a virtual reality sketching / animation tool. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, vol. 2(3). pp. 220-238.
- DOCIMO, S.G., MOORE, R.G. and KAVOUSSI, L.R., 1997. Telerobotic surgery is clinical reality: current experience with telemonitoring in adults and children. *Presence: teleoperators and virtual environments*, vol. 6(2). pp. 173-178.

- DRUCKER, S.M. and ZELTZER, D., 1994. Intelligent camera control in a virtual environment. *Proceedings of Graphics Interface '94 conference*, Banff, Alberta, pp. 190-199.
- DYER, S., MARTIN, J. and ZULAUF, J., 1995. *Motion Capture White Paper*, available online: [http://reality.sgi.com/jam\\_sb/mocap/MoCapWP\\_v2.0.html](http://reality.sgi.com/jam_sb/mocap/MoCapWP_v2.0.html)
- ELLIS, S.R., 1993. Prologue. In S.R. Ellis, M. Kaiser and A.J. Grunwald (eds.): *Pictorial Communication in virtual and real environments*, Taylor and Francis.
- EMERING, L., BOULIC, R., BALCISOY, S. and THALMANN, D., 1997. Real-time interactions with virtual agents driven by human action identification. In Johnson, W. L. and Hayes-Roth, B. (eds.): *Proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents*, ACM Press, pp.476-477.
- EYLES, D.E., 1993. A computer graphics system for visualising spacecraft in orbit. In S.R. Ellis, M. Kaiser and A.J. Grunwald (eds.): *Pictorial Communication in virtual and real environments*, Taylor and Francis.
- FALOUTSOS, P., PANNE, M. and TERZOPOULOS, D., 2001. The virtual stuntman: dynamic characters with a repertoire of autonomous motor skills. *Computers & Graphics*, vol. 25, pp. 933-953.
- FISHER, R.B., FITZGIBBON, A., GIONIS, A., WRIGHT, M. and EGGERT, D., 1996. A hand-held optical surface scanner for environmental modelling and virtual reality. *Proceedings of Virtual Reality World '96 conference*, Stuttgart, Germany.
- FISHER, S.S., 1990. Virtual interface environments. In B. Laurel (ed.): *The Art of Human-Computer Interface Design*.
- FRANKLIN, S. and GRAESSER, A., 1996. Is it an agent, or just a program?: A taxonomy for autonomous agents. In Muller, J. P., Wooldridge, M. J., and Jennings, N. R. (eds.): *Intelligent Agents III — Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures, and*



- Languages(ATAL-96)*, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 1193. Springer-Verlag.
- FUNGE, J., TU, X. and TERZOPOULOS, D., 1999. Cognitive Modeling: Knowledge, Reasoning and Planning for Intelligent Characters. *Proceedings of SIGGRAPH 99*, Los Angeles, CA
- GIBET, S., LEBOURQUE, T. and MARTEAU, P.F., 2001. High-level Specification and Animation of Communicative Gestures. *Journal of Visual Languages and Computing*, vol. 12, pp. 657-687.
- GIGANTE, M.A., 1993. Virtual Reality: definitions, history and applications. In R.A. Earnshaw, M.A. Gigante, H. Jones (eds.): *Virtual Reality Systems*.
- GILKEY, R.H. and WEISENBERGER, J.M., 1995. The sense of presence for the suddenly deafened adult: implications for virtual environments. *Presence: teleoperators and virtual environments*, vol. 4(4), pp. 357-363.
- GOLDBERG, A., 1997. Improv: A system for real-time animation of behavior-based interactive synthetic actors. In Trappl, R. and Petta, P. (eds.): *Creating Personalities for Synthetic Actors*, Springer-Verlag, pp.58-73.
- GONCALVES, L. and SILVA, F., 2001. Control mechanisms and local perception to support autonomous behavior in virtual animated agents. *Computers & Graphics*, vol. 25, pp. 965-982.
- GRATCH, J., RICKEL, J., ANDRE, E., BADLER, N., CASSEL, J. and PETAJAN, E., 2002. Creating Interactive Virtual Humans: Some Assembly Required. *Proceedings of IEEE Intelligent Systems 2002*.
- H-ANIM: Humanoid Animation Working Group. available onlile: <http://www.hanim.org>
- HAUPTMANN, A.G. and MACAVINNEY, P., 1993. Gestures with speech for graphic manipulation. *International journal of man-machine studies*, vol. 38, pp. 231-249.

- HERNDON, K.P., VAN DAM, A. and GLEICHER, M., 1994. The challenges of 3D interaction: a CHI'94 workshop. *Special Interest Group on Computer-Human Interaction (SIGCHI) Bulletin*, vol. 26(4), pp. 36-43.
- HIROSE, M., 1996. The synthesis of realistic sensations. *Proceedings of Virtual Reality World '96 conference*, Stuttgart, Germany.
- HODGES, L.F., KOOPER, R., MEYER, C., ROTHBAUM, B.O., OPDYKE, D., DE GRAAFF, J.J., WILLIFORD, J.S. and NORTH, M.M., 1995. Virtual environments for treating the fear of heights. *IEEE Computer*, vol. 28(7), pp. 27-33.
- HODGINS, J. and WOOTEN, L. 1998. Animating Human Athletes. In Y. Shirai and S. Hirose (eds): *Robotics Research: The Eighth International Symposium*. Springer-Verlag: Berlin, pp. 356-367.
- HODGINS, J., 1996. Three-Dimensional Human Running. *Proceedings of the IEEE Conference on Robotics and Automation*.
- JOHNSGARD, T., 1994. Fitt's law with a virtual reality glove and a mouse: effects of gain. *Proceedings of Graphics Interface '94 conference*, Banff, Alberta, 1994, pp. 8-15.
- JOHNSON, A.D., and CUTT, P.S., 1992. The tactile sense: an untapped channel in man-machine interfaces. In T. Middleton (ed.): *Virtual worlds: real challenges, papers from SRI's 1991 conference on virtual reality*.
- KALAWSKY, R. S., 1993. Science and engineering issues of virtual environment systems. *Proceedings of 10th Anniversary Eurographics UK Conference*. Abingdon, UK, pp. 137-146.
- KALLMANN, M. and THALMANN, D., 1999. A Behavioral Interface to Simulate Agent-Object Interactions in Real-Time, *Proceedings of Computer Animation 99*, Geneva, IEEE Computer Society Press, pp. 138-146.

- KALLMANN, M. and THALMANN, D., 2002 Modeling Behaviors of Interactive Objects for Real-Time Virtual Environments. *Journal of Visual Languages and Computing*, vol.13, pp. 177-195.
- KALLMANN, M., MONZANI, J.S., CAICEDO, A. and THALMANN, D., 2000. ACE: A Platform for Real Time Simulation of Virtual Human Agents. *Proceedings of EGAS'2000, 11th Eurographics Workshop on Animation and Simulation*, Interlaken, Switzerland.
- KALRA, P, MAGNETAT-THALMANN, N., MOCCOZET, L., SANNIER, G., AUBEL, A. and THALMANN, D., 1998. Real-time Animation of Realistic Virtual Humans, *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol.18(5), pp. 42-55.
- KIM, W.S., TENDICK, F. and STARK, L., 1993. Visual enhancements in pick-and-place tasks: human operators controlling a simulated cylindrical manipulator. In S.R. Ellis, M. Kaiser and A.J. Grunwald (eds.): *Pictorial Communication in virtual and real environments*.
- KRUGER, W., BOHN, C.A, FROHLICH, B., SCHUTH, H., STRAUSS, W. and WESCHE, G., 1995. The responsive workbench: a virtual work environment. *IEEE Computer*, vol. 28(7), pp. 42-48.
- LANDER, J., 1999. Devil in the Blue Faceted Dress: Real-time cloth animation, *Game Developer*, May 1999, pp. 17-21.
- LEVISON, L. and BADLER, N., 1994. How Animated Agents Perform Tasks: Connecting Planning and Manipulation Through Object-Specific Reasoning. *Proceedings of AAAI Spring Symposium: Toward Physical Interaction and Manipulation*.
- LOEFFLER, C.E. and ANDERSON, T., 1994. *The Virtual Reality Casebook*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- LUCK, M. and D'INVERNO, M., 1995. A formal framework for agency and autonomy. *Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS-95)*, AAAIPress / MIT Press, pp.254-260.



- MAGNETAT THALMANN, N. and THALMANN, D., 1998. The virtual humans story. *IEEE Annals of the History of Computing*, vol. 20(2), pp.50-51.
- MAGNETAT-THALMANN, N., CARION, S., COURCHESNE, M., VOLINO, P., WU Y., 1996. Virtual Clothes, Hair and Skin for Beautiful Top Models. *Proceedings of Computer Graphics International '96*, Pohang, Korea, pp.132-141.
- MAPES, D.P. and MOSHELL, J.M., 1995. A two-handed interface for object manipulation in virtual environments. *Presence: teleoperators and virtual environments*, vol. 4(4), pp. 403-416.
- MARTINHO, C., PAIVA, A. and GNOMES, M., 2000. Emotions for a Motion: Rapid Development of believable Panthematic Agents in Intelligent Virtual Environments. *Applied Artificial Intelligence*, vol. 14, pp.33-68.
- MCCONATHY, D.A. and DOYLE, M., 1993. Interactive displays in medical art. In S.R. Ellis, M. Kaiser and A.J. Grunwald (eds.): *Pictorial Communication in virtual and real environments*.
- MCGLASHAN, S. and AXLING, T., 1996. Talking agents in virtual worlds. *Proceedings of 3rd UK Virtual Reality-Special Interest Group Conference*, Leicester, pp. 145-162.
- MCGOVERN, D.E., 1993. Experience and results in teleoperation of land vehicles. In S.R. Ellis, M. Kaiser and A.J. Grunwald (eds.): *Pictorial Communication in virtual and real environments*.
- MERCURIO, P.J. and ERICKSON, T.D., 1990. Interactive scientific visualisation: an assessment of a virtual reality system. In D. Diaper, D. Gilmore, G. Cockton and B. Shackel (eds.): *Human-Computer Interaction: Proceedings of Interact '90*.
- MICHEL, O., 1998. Webots: Synthesis between virtual and real mobile robots. In Heudin, J.-C., editor, *Virtual Worlds*, Springer-Verlag, pp.245-263.

- MIRANDA, F.R., KOEGLER, J.E., HERNANDES, E. and NETTO, M.L., 2001. An artificial life approach for the animation of cognitive characters. *Computers & Graphics*, vol. 25, pp. 955-964.
- MOFFAT, D. and FRIJDA, N. H., 1995. Where there's a will there's an agent. In Wooldridge, M. and Jennings, N. R. (eds.): *Intelligent Agents: Theories, Architectures, and Languages*, LNAI 890, pp. 245-260.
- MOFFAT, D., FRIJDA, N. H., and PHAF, R. H., 1993. Analysis of a model of emotions. *Proceedings of AISB93: Prospects for Artificial Intelligence*, pp.219-228.
- MOHAGEG, M., MYERS, R., MARRIN, C., KENT, J., MOTT, D. and ISAACS, P., 1996. A user interface for accessing 3D content on the world wide web. *Proceedings of CHI '96 conference: Human Factors in Computing Systems*, Vancouver, ACM press, pp. 466-472.
- MUSSE, S. R. and THALMANN, D., 1997. A model of human crowd behavior. *Proceedings of Computer Animation and Simulation '97, Eurographics workshop*, Wien. Springer Verlag.
- NAREYEK, A., 2000. Intelligent Agents for Computer Games. *Proceedings of the Second International Conference on Computers and Games*.
- NOSER, H., RENAULT, O. and THALMANN, D., 1995. Navigation for Digital Actors based on Synthetic Vision, Memory and Learning. *Computers and Graphics*, vol.19(1), pp.7-19.
- OSBORN, J.R. and AGOGINO, A.M., 1992. An interface for interactive spatial reasoning and visualisation. *Proceedings of CHI '92 conference*, Monterey, California, ACM press, pp. 75-82.
- PERLIN, K. and GOLDBERG, A., 1996. Improv: A System for Scripting Interactive Actors in Virtual Worlds. *Proceedings of SIGGRAPH '96*.

- PETTA, P. and TRAPPL, R., 1997. Why to create personalities for synthetic actors. In Trappl, R. and Petta, P. (eds.): *Creating Personalities for Synthetic Actors*, Springer-Verlag, pp.1-8.
- PICARD, R. 1997. *Affective Computing*. MIT Press.
- PIMENTEL, K. and TEIXEIRA, K., 1993. *Virtual Reality: Through the new looking glass*. McGraw-Hill, USA.
- PRATT, D.R., PRATT, S.M., BARHAM, P.T., BARKER, R.E., WALDROP, M.S., EHLERT, J.F. and CHRISLIP, C.A., 1997. Humans in large-scale, networked virtual environments. *Presence: teleoperators and virtual environments*, vol. 6(5), pp. 547-564.
- PRESSING, J., 1997. Some perspectives on performed sound and music in virtual environments, *Presence: teleoperators and virtual environments*, vol. 6(4), pp. 482-503.
- PROFFITT, D.R. and KAISER, M.K., 1993. Perceiving environmental properties from motion information: minimal conditions. In S.R. Ellis, M. Kaiser and A.J. Grunwald (eds.): *Pictorial Communication in virtual and real environments*.
- PROKOPENKO, M. and JAURÉQUI, V., 1997. Reasoning About Actions in Virtual Reality. *Proceedings of IJCAI-97 Workshop on Nonmonotonic Reasoning, Action and Change*.
- PROPHET, J., 1996. Technosphere. *Interpretation*, vol. 2(1).
- RAYNOLDS, C., 1987. Flocks, Herds and Schools: A distributed behavioural model. *Proceedings of SIGGRAPH 87, Computer Graphics*, vol. 21(4), pp.25-34.
- REGAN, J.W. and SHEBILSKE, W.L., 1992. Virtual reality: an instructional medium for visual-spatial tasks. *Journal of Communication*, vol 42(4), pp. 136-149.
- RICHARD, P., BIREBENT, G., COIFFET, P., BURDEA, G., GOMEZ, D. and LANGRANA, N., 1996. Effect of frame rate and force feedback on virtual



- object manipulation. *Presence: teleoperators and virtual environments*, vol 5(1), pp. 95-108.
- RICKEL, J. and JOHNSON, L., 1999. Animated Agents for Procedural Training in Virtual Reality: Perception, Cognition, and Motor Control. *Applied Artificial Intelligence*, vol. 13, pp. 343-382.
- ROBERTSON, G.G., CARD, S.K. and MACKINLAY, J.D., 1993. Three views of virtual reality: Non-immersive virtual reality. *Computer*, vol. 26(2), pp. 81-83.
- RUSHTON, S. and WANN, J., 1993. Problems in perception and action in virtual worlds. *Proceedings of Virtual Reality International '93: third annual conference*, London, pp. 43-55.
- RUSSELL, G. and MILES, R., 1993. Volumetric visualisation of 3D data. In S.R. Ellis, M. Kaiser and A.J. Grunwald (eds.): *Pictorial Communication in virtual and real environments*.
- SHAWVER, D., 1997. Virtual actors and avatars in a flexible, user-determined-scenario environment. *Proceedings of Virtual Reality Annual International Symposium*, Albuquerque, pp.1-5.
- SILVA, D., SIEBRA, C., VALADARES, J., ALMEIDA, A., FRERY, A. and RAMALHO, G., 1999. Personality-Centered Agents for Virtual Computer Games. *Proceedings of Virtual Agents 99*, Salford, UK.
- SIMS, K., 1995. Evolving 3D morphology and behaviour by completion. *Artificial Life*, vol. 1, pp.353-372.
- SLATER, M. and USOH, M., 1994. Body centred interaction in immersive virtual environments. In N.M. Thalmann and D. Thalmann (eds.): *Artificial Life and Virtual Reality*.
- SLATER, M. and USOH, M., 1995. Modelling in immersive virtual environments: a case for the science of VR. In R.A. Earnshaw, J.A. Vince and H. Jones (eds.): *Virtual Reality Applications*.

- SLATER, M., USOH, M. and STEED, A., 1995. Taking steps: the influence of a walking technique on presence in virtual reality. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, vol. 2(3), pp. 201-219.
- SLOMAN, A. and CROUCHER, M., 1981. Why robots will have emotions. *Proceedings of the Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 197-202.
- SLOMAN, A., 1987. Motives, mechanisms, and emotions. *Cognition and Emotion*, vol. 1(3), pp.217-233.
- SLOMAN, A., 1997. What sort of control system is able to have a personality? In Trappl, R. and Petta, P. (eds.): *Creating Personalities for Synthetic Actors*, pp.166-208.
- STOPER, A.E. and COHEN, M.M., 1993. Optical, gravitational and kinaesthetic determinants of judged eye level. In S.R. Ellis, M. Kaiser and A.J. Grunwald (eds.): *Pictorial Communication in virtual and real environments*.
- STROMMEN, E., 1994. Children's use of mouse-based interfaces to control virtual travel. *Proceedings of CHI '94 conference*, Boston, ACM press, pp. 405-410.
- STYTZ, M.R., AMBURN, P., LAWLIS, P.K. and SHOMPER, K., 1995. Virtual Environment research in the Air Force Institute of Technology Virtual Environments, 3-D Medical Imaging, and Computer Graphics Laboratory. *Presence: teleoperators and virtual environments*, vol. 4(4), pp. 417-430.
- TERZOPOULOS, D., RABIE, T., and GRZESZCZUK, R., 1996. Perception and learning in artificial animals. *Artificial Life V: Proceedings of the Fifth International Conference on the Synthesis and Simulation of Living Systems*.
- TERZOPOULOS, D., TU, X. and GRZESZCZUK, R., 1994. Artificial fishes: Autonomous Locomotion, Perception, Behaviour and Learning in a simulated physical world. *Artificial Life*, vol. 1(4), pp.327-351.
- THALMANN, D., 1994. Automatic control and behaviour of virtual actors. In L. MacDonald and J. Vince (eds.): *Interacting with virtual environments*.

- THALMANN, D., NOSER, H., and HUANG, Z., 1997. Autonomous virtual actors based on virtual sensors. In Trappl, R. and Petta, P. (eds.): *Creating Personalities for Synthetic Actors*, Springer-Verlag, pages 25-42.
- TRAVIS, D., WATSON, T. and ATYEO, M., 1994. Human psychology in virtual environments. In L. MacDonald and J. Vince (eds.): *Interacting with virtual environments*.
- VINCE, J., 1995. *Virtual Reality Systems*. Addison Wesley Press.
- VOLBRACHT, S., DOMIK, G., SHAHRBABAKI, K. and FELS, G., 1997. How effective are 3D display modes? *Proceedings of CHI '97 conference*, Atlanta, ACM press, pp. 540-541.
- VORSTEHER, A., 1996. Berlin 2010: creating the center - a virtual window into the future of Berlin. *Proceedings of Virtual Reality World '96 conference*, Stuttgart, Germany.
- WANGER, L.R., FERWERDA, J.A. and GREENBERG, D.P., 1992. Perceiving spatial relationships in computer-generated images. *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 12(3), pp. 44-58.
- WANN, J. and MON-WILLIAMS, M., 1996. Design issues in virtual environment displays: a formal appraisal from the perspective of human perception. Paper presented at The Institution of Electrical Engineers Virtual Reality - User Issues Colloquium, Cheltenham, March 1996.
- WATERS, R.C., ANDERSON, D.B., BARRUS, J.W., BROGAN, D.C., CASEY, M.A., MCKEOWN, S.G., NITTA, T., STERNS, I.B. and YERAZUNIS, W.S., 1997. Diamond Park and Spline: social virtual reality with 3D animation, spoken interaction, and runtime extensibility. *Presence: teleoperators and virtual environments*, vol. 6(4), pp. 461-481.
- WATSON, B., WALKER, N. and HODGES, L., 1995. A user study evaluating level of detail degradation in the periphery of head-mounted displays. *Proceedings of FIVE '95: Framework for Immersive Virtual Environments*, pp. 203-212.



- WATT, A. and WATT, M. 1992. *Advanced Animation and Rendering Techniques: Theory and Practice*. Addison Wesley Press.
- WAVISH, P. and CONNAH, D., 1997. Virtual actors that can perform scripts and improvise roles. In Johnson, W. L. and Hayes-Roth, B. (eds.): *Proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents*, ACM Press, pp.317-322
- WEST, A. and HUBBOLD, R., 1998. Research challenges for systems supporting collaborative virtual environments. *Proceedings of Collaborative Virtual Environments 98*, Manchester, pp.11.
- WEXELBLAT, A., 1995. An approach to natural gesture in virtual environments. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, vol. 2(3), pp. 179-200.
- WLOKA, D.W., 1996. CAVE: personal or small group non-HMD-based head tracked wrap-around virtual environment - the system of the future for virtual reality applications? *Proceedings of Virtual Reality World '96 conference*, Stuttgart, Germany.
- WOOLDRIDGE, M. and JENNINGS, N.R., 1995. Intelligent Agents: Theory and Practice. *Knowledge Engineering Review*, vol. 10 (2).
- WU, Y., KALRA, P. and MAGNETAT-THALMANN, N., 1997. Physically-based Wrinkle Simulation & Skin Rendering. *Proceedings of EGAS97*, Budapest, Hungary.
- YAMAASHI, K., COOPERSTOCK, J.R., NARINE, T. and BUXTON, W., 1996. Beating the limitations of camera-monitor mediated telepresence with extra eyes. *Proceedings of CHI '96 conference*, Vancouver, pp. 50-57.
- ZELTZER, D., 1992. Autonomy, Interaction and Presence. *Presence*, vol. 1(1), pp. 127-132.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### Λεξικό όρων

#### Ελληνική απόδοση

αισθητήρας  
 αλληλεπίδραση  
 αλληλεπιδραστική αφήγηση ιστορίας  
 ανάδραση  
 αντίληψη  
 αντίστροφη αιτιότητα  
 αντίστροφη κινηματική  
 αποστολή ακτίνων  
 αποσφαλμάτωση  
 άρθρωση  
 αρχιτεκτονική αντίδρασης  
 αρχιτεκτονική πελάτη-διακομιστή  
 αυτόνομες εφαρμογές  
 αυτονομία  
 γάντια δεδομένων  
 γνώση  
 γνωσιακός  
 γνωσιακός πράκτορας  
 διαδικαστική συνθετική κίνηση  
 δυναμικό μοντέλο  
 εικονική αφήγηση ιστορίας  
 εικονική πραγματικότητα  
 εικονικό περιβάλλον  
 εικονικό περιβάλλον εμβύθισης  
 εικονικό περιβάλλον οθόνης  
 εικονικό περιβάλλον προβολής  
 εικονικός άνθρωπος  
 εικονικός ηθοποιός

#### Αγγλικός όρος

sensor  
 interaction  
 interactive storytelling  
 feedback  
 perception  
 inverse causality  
 inverse kinematics  
 ray-casting, raycasting  
 debugging  
 joint  
 reactive architecture  
 client-server architecture  
 standalone applications  
 autonomy  
 data gloves  
 cognition  
 cognitive  
 cognitive agent  
 procedural animation  
 dynamic model  
 virtual storytelling  
 virtual reality  
 virtual environment  
 immersive virtual environment  
 desktop virtual environment  
 projected virtual environment  
 virtual human  
 virtual actor

εικονικός κόσμος	virtual world
εικονικός πράκτορας	virtual agent
ένθετος	nested
ενισχυμένο εικονικό περιβάλλον	augmented virtual environment
ενσάρκωση	avatar
έξυπνο αντικείμενο	smart object
επιδραστής	effector
εργαλείο σχεδιασμού σκηνικού	scene editor
έργο	task
ευθεία κινηματική	forward kinematics
ευφυή εικονικά περιβάλλοντα	intelligent virtual environments
ευφυής εικονικός πράκτορας	intelligent virtual agent
ευφυής πράκτορας	intelligent agent
θεληματική αρχιτεκτονική	deliberative architecture
θέση-κλειδί	key-frame, keyframe
κινηματικό μοντέλο	kinematic model
κίνηση με θέσεις-κλειδιά	key-framing, keyframing
μηχανή κατάστασης	state machine
οθόνη προσαρμοσμένη στο κεφάλι	head-mounted display
οπτικοποίηση	visualization
παγκόσμιος ιστός	world wide web
παρουσία	presence
περιβάλλον εμπύθισης	immersive environment
περιβάλλον οθόνης	desktop environment
περιβάλλον προβολής	projected environment
περιβάλλον όγκος	bounding box
πλέγμα	mesh
πολυχρηστικός	multi-user
πράκτορας	agent
πράκτορας διεπαφής	interface agent
πρόβλημα της μετάφρασης	transduction problem
προβολή ακμών	wireframe
πρόγραμμα πλοήγησης	browser
προγραμματισμός με περιορισμούς	constraint programming



## Παράρτημα

σταθερός όρος	literal
σταθμός επεξεργασίας γραφικών	graphic workstation
στοιχειώδεις ενέργειες	primitive actions
στρώμα	layer
σύλληψη κίνησης	motion capture
συμβάν	event
συμπερασματολογία	reasoning
συμπερασματολογία απλής λογικής	common sense reasoning
συνάρτηση επανάκλησης	callback function
συνθετική κίνηση	animation
συνθετική κίνηση απόδοσης	performance animation
συνθετική κίνηση συμπεριφοράς	behavioural animation
συσκευή εντοπισμού θέσης	position tracker
σύστημα βασισμένο σε γνώση	knowledge-based system
σύστημα διασωληνώσεων	pipeline
συστήματα εικονικών περιβαλλόντων	virtual environment systems
σφαίρα πλοήγησης	spaceball
σχεδιασμός ενεργειών	planning
σχεδιαστής ενεργειών	planner
τελικό στοιχείο δράσης	end-effector
τηλεπαρουσία	telepresence
τηλεχειρισμός	teleoperation
τμήμα του σώματος	body segment
τροπιστικός πράκτορας	tropicist agent
υφή	texture
φυσικός πράκτορας	physical agent
χαρακτηριστικό	attribute
χειριστήριο	joystick
χρονικό πλαίσιο	timeframe