



Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Προηγμένα Συστήματα Πληροφορικής»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τίτλος Διατριβής	Σημσιολογικά Δίκτυα και Εφαρμογές
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	Άγγελος Ψυχογιός
Πατρώνυμο	Γεώργιος
Αριθμός Μητρώου	ΜΠΣΠ/ 10016
Επιβλέπων	Θεμιστοκλής Παναγιωτόπουλος, Καθηγητής

Ημερομηνία Παράδοσης **Νοέμβριος 2012**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

(υπογραφή)

(υπογραφή)

(υπογραφή)

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στην παρούσα επιστημονική εργασία που έγινε συντέλεσε και βοήθησε, ένα πλήθος ατόμων που θα ήθελα να ευχαριστήσω καθώς χωρίς την συμπαράστασή τους δεν θα μπορούσα να την ολοκληρώσω.

Αρχικά, θέλω να απευθύνω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Θέμη Παναγιωτόπουλο, ο οποίος πρώτα μου εμπιστεύθηκε το συγκεκριμένο επιστημονικό θέμα και στην συνέχεια βοήθησε όσο ήταν δυνατό περισσότερο προσφέροντας τεχνογνωσία και πόρους για να μπορέσω να ολοκληρώσω την έρευνά μου. Επίσης είναι άξιο για αυτόν να αναφέρω ότι πάντα ήταν στον πλάι μου κατά τη διάρκεια της εργασίας μου και πάντα προσπαθούσε να με βοηθήσει και να με καθοδηγήσει ώστε να προσπεράσω τυχόν εμπόδια που εμφανίστηκαν κατά τη διάρκεια του έργου μου. Νιώθω ιδιαίτερα ευχαριστημένος που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον επιστημονικά αντικείμενο.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου Γεώργιο και Μαρία, που με υπομονή και κουράγιο πρόσφεραν την απαραίτητη ηθική αλλά και οικονομική συμπαράσταση για την ολοκλήρωση των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο Παγκόσμιος Ιστός τα τελευταία χρόνια έχει αλλάξει κατά πολύ τον τρόπο που οι άνθρωποι επικοινωνούν μεταξύ τους αλλά και τον τρόπο με τον οποίο διευθύνονται οι επιχειρήσεις. Σαν επέκταση του παγκόσμιου ιστού εμφανίζεται ο Σημασιολογικός Ιστός. Ο Σημασιολογικός Ιστός είναι ειδικότερα, ένας Ιστός από πληροφορίες που είναι δυνατό να διαβαστούν από τις μηχανές και η έννοια των οποίων είναι σαφώς καθορισμένη από πρότυπα.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι η ανάλυση, η επέκταση και η εμβάθυνση σε θεμελιώδεις έννοιες του Σημασιολογικού Ιστού. Στα παρακάτω κεφάλαια προσεγγίζεται αναλυτικά η έννοια του Σημασιολογικού Ιστού, καθώς επίσης και οι βασικές γλώσσες σήμανσης που οι οποίες είναι:

1. Η γλώσσα σήμανσης XML, μια γλώσσα που επιτρέπει τη γραφή δομημένων εγγράφων ιστού με ένα καθορισμένο από το χρήστη λεξιλόγιο.
2. Το Resource Description Framework (RDF) που είναι ένα πλαίσιο για την αντιπροσώπευση των πληροφοριών στον Παγκόσμιο Ιστό, όπου αναλύονται οι βασικές έννοιες που χρησιμοποιεί όπως το γραφικό μοντέλο δεδομένων, λεξιλόγιο βασισμένο στο URI, τύποι δεδομένων κ.α.
3. Το λεξιλόγιο καθορισμού του RDF (RDF Schema), που καθορίζει τις κλάσεις και τις ιδιότητες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν κλάσεις, ιδιότητες και άλλες πηγές.

Σε επόμενο κεφάλαιο εισάγουμε στον αναγνώστη τον βασικούς όρους της οντολογίας που πηγάζουν άμεσα από την επιστήμη της τεχνητής Νοημοσύνης. Αναλύουμε το τι είναι οντολογία, τις κύριες λειτουργίες των οντολογιών και πως αυτές μπορούν να αναπαρασταθούν σε γλώσσες προγραμματισμού τεχνητής νοημοσύνης όπως είναι η Prolog και η Lisp. Επίσης γίνεται αναφορά στο Ontology Interchange Language OIL που είναι μια πρόταση για ένα, βασισμένο στον Ιστό, στρώμα αντιπροσώπευσης και συμπεράσματος των οντολογιών. Ακολούθως, αναλύουμε τον τρόπο με τον οποίο συντάσσεται μια οντολογία στη γλώσσα OIL. Ως συνέχεια του παραπάνω εμφανίζεται η DAML+OIL, που είναι μια σημασιολογική γλώσσα για τις πηγές του Ιστού. Στηρίζεται στα πρότυπα του W3C όπως το RDF και το RDF Schema, και επεκτείνει αυτές τις γλώσσες με ακόμα πιο πλούσιες αρχές διαμόρφωσης. Τέλος ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στην OWL η οποία είναι μια γλώσσα οντολογίας για τον Σημασιολογικό Ιστό, που αναπτύχθηκε από την ομάδα εργασίας οντολογιών Ιστού (Web Ontology Working Group) της Κοινότητας Παγκόσμιου Ιστού (W3C).

Abstract

The World Wide Web in recent years has changed significantly the way people communicate with each other and the way they run their businesses. The Semantic Web is an extension of the previous one (World Wide Web). The Semantic Web is particularly a web of information that can be read by machines and its concept is clearly defined by standards.

The aim of this thesis is to analyze the expansion and deepening in the fundamental concepts of the Semantic Web. The following sections approach in detail the concept of the Semantic Web, as well as the basic markup languages which are the follownig:

1. The markup language XML, a language that allows the writing of structured documents with a web user-defined vocabulary.
2. The Resource Description Framework (RDF) which is a framework for the representation of information on the World Wide Web. We analyze the basic concepts used as the graphic data model based on the vocabulary URI, data types, etc.
3. The glossary definition of RDF (RDF Schema), which defines the classes and properties that can be used to describe classes, properties and other sources.

To next chapter we introduce the basic terms of the ontology stemming directly from the Science of Artificial Intelligence. We analyze what is ontology, the main functions of ontologies and how they can be represented in artificial intelligence programming languages such as Prolog and Lisp. Also a report becomes to the Ontology Inference Layer. OIL is a proposal for a web based representation and inference layer for ontologies. Then, we analyze the way in which an ontology written in language OIL. As a continuation of the above appears DAML + OIL, which is a semantic language for Web sources. It is based on W3C standards such as RDF and RDF Schema, and extends these languages with even richer configuration files. Finally, special mention is made in OWL which is an ontology language for the Semantic Web, developed by the Web Ontology Working Group (Web Ontology Working Group) Community Web (W3C).

Πίνακας περιεχομένων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
Κεφάλαιο 1ο : Παράσταση Γνώσης	11
1.1.Μια Σύντομη Ματιά στην Τεχνητή Νοημοσύνη	11
1.2.Αναπαράσταση Γνώσης	13
1.3.Κατηγορικός Λογισμός	14
1.3.1.Κατηγορικός Λογισμός και Παράσταση της Γνώσης	15
1.3.2.Σημασιολογία Κατηγορικού Λογισμού	20
1.4. Υπολογιστικές Τεχνικές Παράστασης και Ελέγχου της Γνώσης	20
1.4.1. Δομημένη Παράσταση Γνώσης	22
1.4.2.Σημασιολογικά Δίκτυα	24
Κεφάλαιο 2ο Γλώσσες Τεχνητής Νοημοσύνης	31
2.1.Οι Γλώσσες LISP και PROLOG της Τεχνητής Νοημοσύνης	31
2.1.1.Γλώσσα LISP	31
2.1.2. Γλώσσα PROLOG	34
Κεφάλαιο 3ο Είδη Σημασιολογικών Δικτύων	38
3.1.Εννοιολογικά Δίκτυα	38
3.2.Υποστηρικτικά Δίκτυα	39
3.3.Επαγωγικά Δίκτυα	40
3.4.Εκτελέσιμα Δίκτυα	41
3.5.Μαθησιακά Δίκτυα	42
3.6.Υβριδικά Δίκτυα	43
Κεφάλαιο 4ο Σημασιολογικός Ιστός	44
4.1.Μετάβαση στον Σημασιολογικό Ιστό	44
4.1.1.Ανάγκη για επέκταση του σημερινού Ιστού	44
4.1.2.Στόχοι του Σημασιολογικού Ιστού	46
4.2.Οντολογίες	49
4.3.Αρχιτεκτονική Σημασιολογικού Ιστού	50
4.4.Οι Γλώσσες του Σημασιολογικού Ιστού	52
4.4.1.XML (Extensible Markup Language)	52
4.4.2.Resource Description Framework (RDF)	55
4.4.4.RDF Schema	60
4.4.5.XML-based Ontology Exchange Language (XOL)	61
4.4.6.Simple HTML Ontology Extension (SHOE)	65
4.4.7.Ontology Markup Language (OML)	68
4.4.8.Ontology Interchange Language (OIL)	69
4.4.9.DARPA Agent Markup Language+OIL (DAML+OIL)	72
4.5.Web Ontology Language (OWL)	73
4.5.1. Web Ontology Language (OWL)	75
4.5.2.Περιγραφικές Λογικές	75
4.5.3.Πρότυπο Πλαισίων	77
4.5.4.Σύνταξη RDF	78
4.5.5.Προκάτοχοι της OWL	78
4.5.6.Περιγραφή της OWL	80
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	85
Βιβλιογραφία	87
Παραπομπές	88

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Σημασιολογικός Ιστός (Semantic Web) είναι η εξέλιξη του παγκόσμιου ιστού ο οποίος είναι γνωστός με το ακρωνύμιο WWW (World Wide Web). Απώτερος σκοπός του είναι η βελτιωμένη αναζήτηση, η εκτέλεση σύνθετων διεργασιών και η εξατομίκευση της πληροφορίας ανάλογα με τις απαιτήσεις που έχει κάθε χρήστης. Εμπνευστής του σημασιολογικού ιστού είναι ο Tim Berners Lee που υπήρξε και ο εφευρέτης του σημερινού Web το 1989 και στη συνέχεια ιδρυτής της κοινοπραξίας W3C (World-Wide Web Consortium), με στόχο την ανάπτυξη των προδιαγραφών, των συνεργασιών και της τεχνολογίας του Web και του Σημασιολογικού Ιστού (ΣΙ). Ο ορισμός που δίνει είναι:

*The Semantic Web is an extension of the current Web in which information is given well-defined meaning, better enabling computers and people to work in cooperation.
... a web of data that can be processed directly and indirectly by machines.*

Προκειμένου να γίνει κατανοητός ο παραπάνω ορισμός, αρκεί να γίνει μια σύντομη αναφορά στις πιο συνηθισμένες χρήσεις του παγκόσμιου ιστού. Οι άνθρωποι κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούν το διαδίκτυο για να αναζητήσουν πληροφορίες για θέματα ενδιαφέροντος και για να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Η αναζήτηση (searching) γίνεται από τις μηχανές αναζήτησης (search engines) χρησιμοποιώντας λέξεις-κλειδιά (keyword matching). Παρά την χρησιμότητα τους, οι μηχανές αυτές δεν είναι πάντα αποτελεσματικές καθώς θεωρείται ότι είναι ευαίσθητες στην λέξη κλειδί που ο κάθε χρήστης θα εισάγει. Για παράδειγμα, υψηλή ανάκληση και χαμηλή ακρίβεια, σε ορισμένες περιπτώσεις χαμηλή ή καθόλου ανάκληση, επιστρεφόμενα αποτελέσματα ευαίσθητα ως προς το λεξιλόγιο που έχει χρησιμοποιηθεί στο query κ.ά. Όμως ακόμα και αν υποθεθεί ότι η αναζήτηση είναι επιτυχής, κάποια προβλήματα παραμένουν. Πιο συγκεκριμένα, η επεξεργασία και ερμηνεία των επιστρεφόμενων πληροφοριών πρέπει να γίνει χειρωνακτικά, καθώς η αυτόματη μηχανική υποστήριξη, μέχρι στιγμής, είναι περιορισμένη. Αυτό έχει ως επακόλουθα κόστος σε χρόνο και κόπο, δυσχρηστία και περιορισμό του εξεταζόμενου μεγέθους εισερχομένων πληροφοριών στα ανθρώπινα μέτρα.

Τα παραπάνω προβλήματα παρουσιάζονται, διότι ο υπολογιστής δεν έχει τη δυνατότητα να αντιλαμβάνεται τη σημασία των λέξεων που ανακτά. Αυτό κοινά σημαίνει ότι δεν μπορεί να ερμηνεύσει το περιεχόμενό τους. Εδώ βρίσκεται και η διαφορά του σημασιολογικού από τον παγκόσμιο ιστό. Στο Σημασιολογικό Ιστό, δεν είναι απαραίτητη η ανθρώπινη διαμεσολάβηση για λειτουργίες όπως αναζητήσεις, συγκρίσεις, διαμοιρασμό κλπ. Ο υπολογιστής έχει τη δυνατότητα να καταλάβει τη σημασία της πληροφορίας και να την επεξεργαστεί προσθέτοντας στον υπάρχον ιστό σημασιολογικά δεδομένα. Αυτό μπορεί να γίνει ως εξής: αρχικά, κατασκευάζουμε ένα λεξιλόγιο που να περιλαμβάνει όλες τις σημαντικές λέξεις (concepts, classes) για ένα πεδίο ενδιαφέροντος (domain). Στο λεξιλόγιο αυτό συμπεριλαμβάνεται και η σημασιολογία των λέξεων. Για να προσθέσουμε σημασιολογία σε κάθε ιστοσελίδα, τη μαρκάρουμε με ένα δείκτη (pointer) που δείχνει στα μεταδεδομένα της, δηλαδή στο κατάλληλο λεξιλόγιο. Στη συνέχεια, όταν ο crawler της μηχανής αναζήτησης επισκεφθεί τη σελίδα, ανακαλύπτει το σύνδεσμο προς τα μεταδεδομένα της και έτσι ανακτά το λεξιλόγιο.

Καθώς το λεξιλόγιο κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας δομημένα δεδομένα, ο crawler μπορεί να καταλάβει το λεξιλόγιο και κατά συνέπεια με τι ασχολείται η σελίδα. Ο Σημασιολογικός Ιστός είναι επέκταση του παρόντος ιστού και κατασκευάζεται συνδέοντας τις υπάρχουσες ιστοσελίδες με δομημένα δεδομένα, δηλαδή δεδομένα που μπορούν να προσπελαστούν και να διαβαστούν από τις μηχανές (machine readable), τα οποία περιέχουν τη σημασιολογία των μεταδεδομένων της σελίδας και άρα ολόκληρης της σελίδας. Έτσι, καθώς ο crawler μπορεί να αντιληφθεί τα δομημένα δεδομένα, μπορεί να εξάγει συμπεράσματα και να λάβει «έξυπνες» αποφάσεις.

Τα βασικά κίνητρα τα οποία θα αναπτυχθούν και εκτενέστερα στο κύριο σώμα της εργασίας αυτής για το Σημασιολογικό Ιστό είναι δύο:

- η ενοποίηση των δεδομένων (data integration) και
- η παροχή «ευφύεστηρης» υποστήριξης των εργασιών των χρηστών.

Σύμφωνα με το W3C του οποίου η έννοια θα αναπτυχθεί σε μεταγενέστερα κεφάλαια ο Σημασιολογικός Ιστός παρέχει μια διεθνώς προσβάσιμη πλατφόρμα που επιτρέπει σε αυτοματοποιημένα εργαλεία, αλλά και σε ανθρώπους να επεξεργάζονται και να μοιράζονται δεδομένα. Προκειμένου να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος απαραίτητα είναι τα μεταδεδομένα (metadata) ή αλλιώς, η μεταπληροφορία, δηλαδή δεδομένα που αναφέρονται σε άλλα δεδομένα (data about data). Τα μεταδεδομένα κάνουν σαφή την πληροφορία που είναι αόριστη και την εκθέτουν προς αναζήτηση, επεξεργασία και ενοποίηση (integration). Πιο συγκεκριμένα, περιέχουν μέρος της σημασίας των δεδομένων, γεγονός που δικαιολογεί τον όρο «σημασιολογικός» στο Σημασιολογικό Ιστό.

Κεφάλαιο 1ο : Παράσταση Γνώσης

1.1.Μια Σύντομη Ματιά στην Τεχνητή Νοημοσύνη

Ένα από τα ασφαλέστερα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας στην τεχνητή νοημοσύνη είναι ότι η ευφυΐα (νοημοσύνη) χρειάζεται γνώση. Σε αντιστάθμισμα του πλέον ισχυρού χαρακτηριστικού της, δηλαδή του γεγονότος ότι μας είναι τελείως απαραίτητη, η γνώση έχει και μερικές λιγότερο επιθυμητές ιδιότητες όπως: (i) είναι ογκώδης,(ii) είναι δύσκολο να χαρακτηριστεί επακριβώς και (iii) η γνώση συνέχεια μεταβάλλεται.

Συνεπώς κάθε τεχνική τεχνητής νοημοσύνης πρέπει να εκμεταλλεύεται τη γνώση και να την παριστάνει κατά τέτοιο τρόπο ώστε:

A) Να περιλαμβάνει γενικεύσεις. Δηλαδή δεν πρέπει να παριστά ξεχωριστά κάθε ειδική περίπτωση αλλά να ομαδοποιεί διάφορες περιπτώσεις που έχουν σημαντικές κοινές ιδιότητες.

B) Πρέπει να είναι κατανοητή σ' αυτούς που παρέχουν τη γνώση.

Γ) Να είναι ευέλικτη ώστε να μπορεί εύκολα να διαμορφώνεται ανάλογα με τις αλλαγές στον πραγματικό κόσμο ή τη θεώρησή μας για τον κόσμο και ακόμη για να διορθώνει πιθανά λάθη.

Δ) Να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πάρα πολλές περιπτώσεις ακόμα και αν δεν είναι τελείως ακριβής ή πλήρης.

Ε) Να μπορεί να συμβάλει στον περιορισμό του πλήθους των πιθανών περιπτώσεων που πρέπει συνήθως να θεωρηθούν, έτσι ώστε να αποφεύγεται η δυσκολία που οφείλεται στον όγκο της γνώσης.

Πολλές από τις τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης που έχουν αναπτυχθεί έχουν όλες ή μερικές από τις παραπάνω ιδιότητες, αν και όπως είναι φανερό είναι αναπόφευκτη κάποια ανεξαρτησία μεταξύ προβλημάτων και μεθόδων επίλυσής τους. Είναι δυνατό να λύσουμε προβλήματα TN χωρίς μεθόδους TN (οι οποίες βέβαια δεν είναι τόσο καλές) καθώς επίσης και να χρησιμοποιήσουμε μεθόδους TN σε προβλήματα που δεν ανήκουν στο πεδίο της TN, αν αυτά έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά.

Τρεις από τις πιο βασικές τεχνικές TN είναι οι ακόλουθες¹:

- i. Ανίχνευση (έρευνα) : Μας δίνει έναν τρόπο επίλυσης προβλημάτων για τα οποία δεν υπάρχει διαθέσιμη πιο άμεση μέθοδος και επίσης ένα πλαίσιο μέσα στο οποίο μπορούν να ενταχθούν τυχόν υπάρχουσες άμεσες τεχνικές.
- ii. Χρήση της Γνώσης: Μας παρέχει έναν τρόπο επίλυσης πολύπλοκων προβλημάτων ο οποίος εκμεταλλεύεται τις δομές των αντικειμένων που υπεισέρχονται στα προβλήματα αυτά.
- iii. Αφαίρεση: Μας δίνει έναν τρόπο διαχωρισμού και ανάδειξης σημαντικών χαρακτηριστικών από τα πολλά που πιθανά υπάρχουν και τα οποία διαφορετικά κατακλύζουν κάθε διαδικασία επίλυσης.

Προγράμματα που εκμεταλλεύονται τις παραπάνω τεχνικές για την επίλυση δύσκολων προβλημάτων έχουν πολλά πλεονεκτήματα απέναντι στα προγράμματα που δεν τις χρησιμοποιούν. Συγκεκριμένα δεν επηρεάζονται από κάποια μικρή διαταραχή στην είσοδό τους, είναι κατανοητό από τους ανθρώπους και μπορούν να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία σε μεγάλα προβλήματα για τα οποία οι πιο άμεσες μέθοδοι δε μπορούν.

Η Τεχνική της «ανίχνευσης» αποτελεί τον πυρήνα πολλών διαδικασιών TN, έχουν δε αναπτυχθεί δομές που διευκολύνουν την περιγραφή της. Τέτοιες δομές είναι γνωστές σαν συστήματα παραγωγής. Ο όρος παραγωγή εδώ δεν έχει την ίδια σημασία με εκείνη που χρησιμοποιείται στα βιομηχανικά συστήματα παραγωγής. Εδώ αναφέρεται στην παραγωγή

¹ Βλαχάβας, Π. Κεφαλάς, Ν. Βασιλειάδης, Φ. Κόκκορας, Η. Σακελλαρίου. Τεχνητή Νοημοσύνη – Γ' Έκδοση, Έκδοση Πανεπιστημίου Μακεδονίας, 2011

νέας γνώσης (γεγονότων, συμπερασμάτων, κλπ). Ένα σύστημα παραγωγής (TN) αποτελείται από²:

- i. Ένα σύνολο κανόνων της μορφής EAN (συνθήκη) – ΤΟΤΕ (ενέργεια δράση).
- ii. Μία ή περισσότερες βάσεις δεδομένων που περιέχουν την πληροφορία που είναι απαραίτητη σε κάθε περίπτωση. Μερικά τμήματα της βάσης δεδομένων μπορεί να είναι μόνιμα, ενώ άλλα αναφέρονται στο συγκεκριμένο υπό λύση πρόβλημα.
- iii. Μια στρατηγική ή δομή ελέγχου που καθορίζει την σειρά με την οποία πρέπει να συγκριθούν οι κανόνες με τη βάση δεδομένων και παρέχει έναν τρόπο αποφυγής της σύγχυσης που μπορεί να προκύψει όταν τύχει διάφοροι κανόνες να ενεργοποιούνται κάτω από τις ίδιες συνθήκες.

Εκτός από τη χρησιμότητα των συστημάτων παραγωγής TN στην περιγραφή της διαδικασίας της «ανίχνευσης», τα συστήματα αυτά έχουν και άλλα πλεονεκτήματα γιατί:

- a) Δίνουν έναν καλό τρόπο μοντελοποίησης της «οδηγούμενης-από-δεδομένα» φύσης της ευφυούς δράσης. Καθώς εισέρχονται στο σύστημα νέα δεδομένα η συμπεριφορά του συστήματος αλλάζει.
- b) Νέοι κανόνες μπορούν εύκολα να προστεθούν στο σύστημα για να ληφθούν υπ' όψη νέες συνθήκες, χωρίς να διαταραχθεί το υπόλοιπο μέρος του συστήματος. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο γιατί σχεδόν όλα τα προγράμματα TN επιδέχονται εμπλουτισμό και βελτίωση. Επίσης η σύγχυση που μπορεί να προκληθεί από την αλληλεπίδραση των κανόνων είναι λιγότερο επιζήμια από τις αντίστοιχες επιπλοκές της διαμόρφωσης ενός παραδοσιακού κώδικα.

Οι στρατηγικές ελέγχου πρέπει να έχουν τις εξής ιδιότητες:

- i. Να προκαλούν κίνηση, γιατί διαφορετικά δε μπορούν ποτέ να οδηγήσουν σε μία λύση,
- ii. Να είναι συστηματικές.

Για να λύσουμε αποδοτικά πολλά πρακτικά μαθηματικά προβλήματα είναι πολλές φορές αναγκαίο να συμβιβάσουμε τις απαιτήσεις κινητικότητας και συστηματικότητας και να κατασκευάσουμε μία δομή ελέγχου που δεν εγγυάται μεν ότι η λύση που θα βρεθεί είναι η καλύτερη, αλλά εγγυάται ότι σχεδόν πάντα θα βρεθεί μια καλή λύση.

Η ανάγκη αυτή οδήγησε στην ιδέα των ευρετικών μεθόδων. Ευρετική είναι μια μέθοδος που βελτιώνει την απόδοση της διαδικασίας της ανίχνευσης, θυσιάζοντας ίσως τις απαιτήσεις πληρότητας. Οι ευρετικές μέθοδοι μοιάζουν με τους ξεναγούς. Οι ξεναγοί είναι καλοί εφ' όσον οδηγούν σε ενδιαφέρουσες κατευθύνσεις και όχι καλοί όταν οδηγούν σε αδιέξοδα.

Ένα παράδειγμα μιας καλής ευρετικής μεθόδου «γενικής-χρήσης» που είναι χρήσιμη σε μία ποικιλία συνδυαστικών προβλημάτων είναι ο αλγόριθμος του πλησιέστερου γείτονα που στηρίζεται στον κανόνα της επιλογής σε κάθε βήμα της σχετικά καλύτερης εναλλακτικής λύσης.

Ας θεωρήσουμε το πρόβλημα του πλανόδιου έμπορου. Το πρόβλημα αυτό είναι το εξής.

Ένας έμπορος έχει έναν κατάλογο από N πόλεις, κάθε μία από τις οποίες πρέπει να επισκεφτεί μόνο μία φορά. Οι πόλεις συνδέονται μεταξύ τους ανά δύο. Το πρόβλημα είναι να βρεθεί η διαδρομή την οποία πρέπει να ακολουθήσει ο έμπορος έτσι ώστε, ξεκινώντας από οποιαδήποτε πόλη και επιστρέφοντας σε αυτή (αφού έχει περάσει μία φορά από όλες τις άλλες πόλεις) να έχει διανύσει τη μικρότερη δυνατή απόσταση.

Εάν εφαρμόσουμε τον αλγόριθμο του πλησιέστερου γείτονα στο πρόβλημα αυτό παίρνουμε την ακόλουθη διαδικασία:

Βήμα 1: Διάλεξε αυθαίρετα μία πόλη αναχώρησης.

Βήμα 2: Για να διαλέξεις την επόμενη πόλη, κοίταξε όλες τις πόλεις που δεν έχεις επισκεφθεί.

Διάλεξε και πήγαινε στην πόλη που είναι πιο κοντά στην πόλη που βρίσκεσαι.

² G.F. Luger και W.A. Stubblefield, Artificial Intelligence: structures and strategies for complex problem solving , τρίτη έκδοση, Addison–Wesley, 1998

Βήμα 3: Επανάλαβε το βήμα 2 μέχρι να επισκεφθείς όλες τις πόλεις μια φορά.

Ο χρόνος εκτέλεσης του αλγόριθμου είναι ανάλογος του N και όχι του $N!$ που θα είχαμε εάν εφαρμόζαμε εξαντλητικό ψάξιμο.

1.2.Αναπαράσταση Γνώσης

Τα δεδομένα αφορούν συγκεκριμένες καταστάσεις ή οντότητες, συγκεκριμένα γεγονότα, κλπ. Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε βάσεις δεδομένων, όπως για παράδειγμα μία σχεσιακή βάση δεδομένων, η οποία καταγράφει πραγματικά περιστατικά γρίπης. Συνήθως, οι βάσεις δεδομένων περιέχουν μεγάλο όγκο στοιχείων. Η χρησιμότητα ενός απομονωμένου δεδομένου είναι πολύ περιορισμένη. Το γεγονός ότι ο Γιάννης είχε ένα σοβαρό περιστατικό γρίπης τον Ιανουάριο του 1998 έχει άμεση σημασία μόνο για τον ίδιο. Όμως, η πληροφορία ότι τον Ιανουάριο του 1998 καταγράφηκαν τριπλάσια περιστατικά γρίπης από το Δεκέμβριο του 1997 έχει περισσότερη σημασία, μια και μπορεί να οδηγήσει στη διερεύνηση πιθανών παραγόντων για την ξαφνική αύξηση στον αριθμό των περιστατικών. Αυτή η πληροφορία δεν αποθηκεύεται απευθείας στη βάση δεδομένων, αλλά παράγεται από ένα σύνολο δεδομένων. Είναι ένα είδος περίληψης αυτών των δεδομένων. Επομένως, είναι σε υψηλότερο επίπεδο αφαιρετικότητας σε σχέση με τα δεδομένα. Τα δεδομένα είναι στατικά, ενώ η πληροφορία είναι δυναμική. Παράγεται με δυναμικό τρόπο από το τρέχον σύνολο δεδομένων. Όμως, η πληροφορία δεν παύει να είναι συγκεκριμένη, έστω και αν είναι σε πιο υψηλό επίπεδο αφαιρετικότητας από τα δεδομένα. Στο παράδειγμά μας, η εν λόγω πληροφορία αναφέρεται σε συγκεκριμένη περίοδο. Η πληροφορία απορρέει από ένα συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων, το οποίο αποτελεί την εμβέλεια της αλήθειας της³.

Και ερχόμαστε στη γνώση. Η εμβέλεια της αλήθειας της γνώσης πρέπει να είναι καθολική και όχι απλώς ένα συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων. Η γνώση αποτελείται από γενικεύσεις, που καλύπτουν τα υπάρχοντα σχετικά δεδομένα, καθώς επίσης και μελλοντικά δεδομένα. Επομένως, η γνώση βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο αφαιρετικότητας από την πληροφορία. Στο παράδειγμά μας, γνώση μπορεί να αποτελεί η πρόταση «Εάν υπάρχει απότομη πτώση της θερμοκρασίας, τότε υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να δημιουργηθούν οι προϋποθέσεις για μια επιδημία γρίπης». Εδώ εκφράζεται μία γενικής εμβέλειας παρατήρηση, η οποία καλύπτει όλα τα σχετικά συγκεκριμένα περιστατικά. Η γνώση είναι υπεράνω των δεδομένων, αφού η γνώση εξηγεί τα δεδομένα, δεν απορρέει από αυτά⁴.

Η γνώση, κυρίως η εμπειρική γνώση, είναι δυναμική όπως και η πληροφορία και έγκειται σε αναθεωρήσεις. Οι «καθολικές αλήθειες», που αποτελούν τη γνώση, δεν είναι στατικές, αλλά υπόκεινται σε μεταβολές, για να έλθουν πιο κοντά στην πραγματική αλήθεια. Ουσιαστικά το τι εννοούμε με τον όρο «γνώση» είναι «πεποιθήσεις σε γενικό επίπεδο». Οι πεποιθήσεις είναι μεταβαλλόμενες και επομένως έχουν πεπερασμένη χρονική υπόσταση, ενώ θεωρητικά η (πραγματική) γνώση είναι διαχρονική.

Από πρακτικής απόψεως, αν συγκρίνουμε βάσεις δεδομένων με βάσεις γνώσης συστημάτων ΤΝ θα παρατηρήσουμε ότι οι βάσεις δεδομένων είναι πολύ μεγαλύτερες σε μέγεθος (η σημερινή τεχνολογία επιτρέπει τη συλλογή και αποθήκευση μεγάλου όγκου στοιχείων) και αυτό είναι αυτονόητο, αφού η γνώση είναι σε πολύ υψηλότερο επίπεδο αφαιρετικότητας. Όμως οι βάσεις γνώσης είναι πολύ πλουσιότερες σε δομή. Συνήθως, οι διακρίσεις που χρειάζεται να γίνουν σε μία βάση δεδομένων είναι απλές σε σχέση με μία βάση γνώσης όπου υπάρχουν πολλές και περίπλοκες σημασιολογικές διακρίσεις.

³ Ι. Βλαχάβας, Π. Κεφαλάς, Ν. Βασιλειάδης, Φ. Κόκκορας, Η. Σακελλαρίου. Τεχνητή Νοημοσύνη – Γ' Έκδοση, Έκδοση Πανεπιστημίου Μακεδονίας, 2011

4 E. Rich και K. Knight, Artificial Intelligence , δεύτερη έκδοση, McGraw–Hill, 1991

Συνοψίζοντας, από τα δεδομένα απορρέουν πληροφορίες, από τις οποίες μπορεί να γεννηθεί γνώση. Πρόσφατα έχει αναπτυχθεί το πεδίο της εξόρυξης δεδομένων, στόχος του οποίου είναι η ανάλυση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων με σκοπό τον εντοπισμό προτύπων και σε τελική ανάλυση την ανακάλυψη γνώσης.

1.3.Κατηγορικός Λογισμός

Το κύριο μέλημα της τεχνητής νοημοσύνης είναι η ανάπτυξη προγραμμάτων που αναλαμβάνουν ενέργειες σκέψης οι οποίες χρειάζονται την ανθρώπινη ευφυΐα. Έτσι λ.χ. έχουν αναπτυχθεί προγράμματα που παίζουν σκάκι ή αναγνωρίζουν ελαττωματικά εξαρτήματα μηχανών, κόκ. Αν κοιτάξουμε βαθύτερα θα διαπιστώσουμε ότι οι ρίζες των έμπειρων συστημάτων και της τεχνητής νοημοσύνης βρίσκονται πολύ πιο πίσω σε μια από τις πρώτες ακαδημαϊκές πειθαρχίες, δηλαδή στη λογική.

Η λογική ασχολείται με την ισχύ των επιχειρημάτων δηλαδή με την ανάπτυξη μεθόδων που καθορίζουν κατά πόσο δεδομένα συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν από δεδομένα ή υποτιθέμενα γεγονότα. Η λογική σχετίζεται με τον προγραμματισμό γιατί στην πραγματικότητα ένα πρόγραμμα είναι ένα σύνολο λογικών εντολών οι οποίες υφίστανται κατάλληλη επεξεργασία για να δώσουν ένα συμπέρασμα.

Στη λογική ή έννοια μιας πρότασης που αληθεύει έχει μια ακριβή και καλά ορισμένη σημασία. Συγκεκριμένα ένα επιχείρημα θεωρείται ότι αληθεύει τότε και μόνο τότε εάν η αλήθεια (ισχύς) όλων των υποθέσεων του συνεπάγεται την αλήθεια όλων των συμπερασμάτων του.

Προκειμένου να αποφασίσουμε για την αποδοχή ενός συγκεκριμένου επιχειρήματος (κρίσης, πρότασης) είναι αναγκαίο να κάνουμε κάποιον έλεγχο (δοκιμή). Ειδικά, στη μεθοδολογία της λογικής συγκρίνουμε το υπό εξέταση κείμενο με μια σειρά γενικευμένων προτύπων του επιχειρήματος και βλέπουμε αν υπάρχει προσαρμογή.

Τα πρότυπα αυτά ονομάζονται «μορφές» και σχηματίζονται από αφηρημένες ακολουθίες γεγονότων και κανόνων που έχουν προηγούμενα αποδειχθεί ότι ισχύουν υπό αυστηρά μαθηματική έννοια⁵.

Ας θεωρήσουμε το ακόλουθο παράδειγμα. Έστω ότι μας δίνουν τον κανόνα:

«ΕΑΝ ο Πέτρος είναι μηχανικός υπολογιστών

ΤΟΤΕ ο Πέτρος είναι προγραμματιστής»

και ας υποθέσουμε ότι έχουμε το γεγονός:

«ο Πέτρος είναι μηχανικός υπολογιστών»

Τότε είναι φυσικό να συμπεράνουμε ότι:

«ο Πέτρος είναι προγραμματιστής»

Πιο τυπικά, εδώ εφαρμόσαμε το λογικό σχήμα:

«ΕΑΝ P ΤΟΤΕ Q, P ΑΡΑ Q»

όπου τα γράμματα P και Q στέκονται για τις προτάσεις «ο Πέτρος είναι μηχανικός υπολογιστών» και «ο Πέτρος είναι προγραμματιστής», αντίστοιχα. Εάν βρούμε μία προσαρμογή, τότε μπορούμε να αποφανθούμε ότι το επιχείρημα έχει μια αποδεκτή λογική δομή και συνεπώς να συμπεράνουμε ότι η πρόταση: «ο Πέτρος είναι προγραμματιστής» είναι αληθής.

Η πρόταση στην πλήρη της μορφή είναι

«ΕΑΝ ο Πέτρος είναι μηχανικός υπολογιστών

⁵ T.J.K. Bench-Capon, Knowledge Representation: An Approach to Artificial Intelligence, Academic Press, 1990

TOTE ο Πέτρος είναι προγραμματιστής.

Ο Πέτρος είναι μηχανικός υπολογιστών

APA ο Πέτρος είναι προγραμματιστής.»

Οι προτάσεις που αντικαθιστούν τα γράμματα P και Q μέσα στη «μορφή» του επιχειρήματος (ορίσματος) ονομάζονται «περιεχόμενο» του επιχειρήματος. Επιπλέον δεν παίζει κανένα ρόλο για την αλήθεια της «μορφής» το κατά πόσο το περιεχόμενο έχει έννοια στον πραγματικό κόσμο ή όχι. Για παράδειγμα, το ακόλουθο επιχείρημα αληθεύει παρά το γεγονός ότι η αρχική υπόθεση είναι αμφισβητούμενη:

«ΕΑΝ ο Πέτρος είναι μηχανικός υπολογιστών

TOTE ο Πέτρος είναι νεκρός.

Ο Πέτρος είναι μηχανικός υπολογιστών

APA ο Πέτρος είναι νεκρός.»

Η απλή «μορφή» λογικής κρίσης που χρησιμοποιήθηκε στα πιο πάνω παραδείγματα είναι μία από τις πιο θεμελιακές μορφές στη λογική και έχει το Λατινικό όνομα “modus ponendo ponens” ή συντόμως “modus ponens” («τρόπος του θέτειν»). Η ικανότητα της λογικής να παράγει νέα πληροφορία από παλιά πληροφορία έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και μας επιτρέπει να θεωρήσουμε τον προγραμματισμό σαν ελεγχόμενη παραγωγή συμπερασμάτων. Επιπλέον, η λογική, λόγω της δια μέσου των ετών ανάπτυξής της, μας παρέχει έναν καλά ορισμένο και πολύ κατανοητό τρόπο παράστασης γεγονότων και κανόνων με τους οποίους μπορούμε να επξεργαζόμαστε τα γεγονότα.

1.3.1. Κατηγορικός Λογισμός και Παράσταση της Γνώσης

Στην τεχνητή νοημοσύνη και ειδικότερα στα έμπειρα συστήματα ασχολούμαστε με δυο διαφορετικές οντότητες :

- **Γεγονότα:** Αλήθειες σε κάποιο σχετικό κόσμο. Τα γεγονότα είναι οι οντότητες που θέλουμε να παραστήσουμε.
- **Παραστάσεις γεγονότων σε κάποιο επιλεγέντα φορμαλισμό:** Αυτές είναι οι οντότητες που πρακτικά θέλουμε να χειριστούμε (ή να επξεργαστούμε).

Για να είναι χρήσιμες οι παραστάσεις, θα πρέπει να υπάρχουν συναρτήσεις που μετασχηματίζουν γεγονότα σε παραστάσεις και αντίστροφα παραστάσεις σε γεγονότα.

Η πιο γνώριμη παράσταση γεγονότων γίνεται με τις προτάσεις της φυσικής γλώσσας. Ανεξάρτητα δε από την παράσταση γεγονότων που χρησιμοποιούμε σε ένα πρόγραμμα, χρειαζόμαστε και την παράσταση των γεγονότων αυτών με τη φυσική γλώσσα για να διευκολυνόμαστε στην εισαγωγή πληροφορίας στο σύστημα και την εξαγωγή πληροφορίας από αυτό. Στην περίπτωση αυτή, πρέπει να διαθέτουμε συναρτήσεις μετασχηματισμού από φυσικές προτάσεις στην παράσταση που χρησιμοποιούμε και αντίστροφα.

Οι συναρτήσεις μετασχηματισμού της εσωτερικής παράστασης του συστήματος σε παράσταση φυσικής γλώσσας και αντίστροφα αποτελούν την συνιστώσα ερμηνείας και διασύνδεσης με τον άνθρωπο. Επίσης είναι χρήσιμο να έχουμε υπόψη μας ότι συνήθως οι συναρτήσεις μετασχηματισμού δεν είναι αμφιμονοσήμαντες και μάλιστα ότι σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι καν συναρτήσεις αλλά μάλλον σχέσεις πολλών οντοτήτων με άλλες οντότητες. Για παράδειγμα, οι δυο φυσικές προτάσεις: «Όλοι οι σκύλοι έχουν ουρές» και «κάθε σκύλος έχει ουρά», θα μπορούσαν να παραστήσουν το ίδιο γεγονός. Εξάλλου η πρώτη πρόταση θα μπορούσε να παραστήσει το γεγονός ότι κάθε σκύλος έχει τουλάχιστον μια ουρά ή το γεγονός ότι κάθε σκύλος έχει διάφορες ουρές. Γι' αυτό, όταν προσπαθούμε να μετατρέψουμε φυσικές προτάσεις σε κάποια άλλη παράσταση, π.χ. στην παράσταση των λογικών προτάσεων,

θα πρέπει πρώτα να αποφασίζουμε ποια ακριβώς γεγονότα παριστούν οι προτάσεις και μετά να μετατρέπουμε τα γεγονότα αυτά στην παράσταση που θέλουμε⁶.

Ας δώσουμε ένα απλό παράδειγμα παράστασης με τη λογική. Έστω η φυσική πρόταση:

«Ο Τζακ είναι σκύλος»

που παριστάνεται στη λογική με

σκύλος (Τζακ)

Έστω επίσης ότι έχουμε μία παράσταση του γεγονότος ότι: «όλοι οι σκύλοι έχουν ουρές». Τότε με βάση τον παραγωγικό μηχανισμό της λογικής παίρνουμε την παράσταση του νέου γεγονότος:

έχει-ουρά (Τζακ)

από την οποία, με βάση μία κατάλληλη συνάρτηση μετασχηματισμού, μπορούμε να παραγάγουμε τη φυσική πρόταση:

«ο τζακ έχει ουρά»

Εναλλακτικά θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε την παράσταση «έχει-ουρά (τζακ)» του νέου γεγονότος για να κάνουμε κάποια κατάλληλη ενέργεια.

Ο φορμαλισμός της λογικής είναι πολύ χρήσιμος γιατί μας δίνει άμεσα έναν ισχυρό τρόπο παραγωγής νέας γνώσης από παλιά (μαθηματική επαγωγή). Στη λογική μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ένα γεγονός είναι αληθές αποδεικνύοντας ότι προκύπτει από γεγονότα που είναι ήδη γνωστό ότι αληθεύουν. Έτσι η ιδέα της «απόδειξης», όπως αυτή αναπτύχθηκε στα μαθηματικά σαν ένας αυστηρός τρόπος επαλήθευσης της αλήθειας μιας πρότασης, μπορεί να επεκταθεί έτσι ώστε να περιλάβει και την «παραγωγή συμπεράσματος» σαν ένα τρόπο παραγωγής απαντήσεων σε ερωτήσεις και λύσεων σε προβλήματα.

Στη λογική των προτάσεων τα πραγματικά γεγονότα παριστάνονται σαν λογικές προτάσεις γραμμένες υπό τη μορφή καλά σχηματισμένων τύπων, όπως φαίνεται παρακάτω:

Ο καιρός είναι βροχερός

καιρός-βροχερός

Έχει λιακάδα

έχει-λιακάδα

Έχει αέρα

έχει-αέρα

ΕΑΝ ο καιρός είναι βροχερός ΤΟΤΕ δεν έχει λιακάδα

καιρός-βροχερός → ~έχει-λιακάδα

Πολύ γρήγορα όμως μπορεί να αντιμετωπίσουμε τους περιορισμούς της λογικής των προτάσεων. Έστω ότι θέλουμε να παραστήσουμε το προφανές γεγονός που εκφράζεται με την πρόταση:

«ο Σωκράτης είναι άνθρωπος»

Θα μπορούσαμε να γράψουμε:

σωκράτης-άνθρωπος

Αλλά εάν θέλαμε επίσης να παραστήσουμε την πρόταση:

«ο Πλάτωνας είναι άνθρωπος»

Θα έπρεπε να γράψουμε κάτι όπως το:

πλάτωνας-άνθρωπος

που έχει τελείως διαφορετική έκφραση και έτσι δε θα μπορούσαμε να βγάλουμε κανένα συμπέρασμα για τις ομοιότητες μεταξύ του Σωκράτη και του Πλάτωνα.

⁶ J. Giarratano και G. Riley, Expert Systems: Principles and Programming ,δεύτερη έκδοση, International Thomson Publishing, 1994

Έτσι βλέπουμε ότι είναι πολύ προσφορότερο να παραστήσουμε τα γεγονότα αυτά ως
άνθρωπος (σωκράτης)
άνθρωπος (πλάτωνας)

γιατί τώρα η δομή της παράστασης αντικατοπτρίζει από μόνη της τη δομή της γνώσης. Θα είχαμε ακόμη μεγαλύτερη δυσκολία, εάν επιχειρούσαμε στη λογική των προτάσεων να παραστήσουμε την πρόταση

«όλοι οι άνθρωποι είναι θνητοί»,

Γιατί τώρα χρειάζεται να εισάγουμε ποσοτικοποίηση, εκτός εάν είμαστε πρόθυμοι να γράψουμε ξεχωριστές προτάσεις για τη θνησιμότητα κάθε γνωστού ανθρώπου.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι είμαστε υποχρεωμένοι να καταφύγουμε στην κατηγορική λογική σαν έναν τρόπο παράστασης της γνώσης, γιατί επιτρέπει την παράσταση πραγμάτων (οντοτήτων) που δε μπορούν να παρασταθούν ικανοποιητικά στη λογική των προτάσεων. Στην κατηγορική λογική, μπορούμε να παραστήσουμε πραγματικά γεγονότα σαν προτάσεις γραμμένες υπό τη μορφή Καλά Σχηματισμένων Τύπων (ΚΣΤ). Η κατηγορική Λογική μας παρέχει έναν τρόπο παραγωγής νέων γεγονότων από παλιά γεγονότα, αλλά όμως δε μας παρέχει κάποια διαδικασία απόφασης, έστω εκθετική, όπως κάνει η λογική των προτάσεων. Όμως παρά το μειονέκτημα αυτό, δηλαδή την έλλειψη θεωρητικής διαδικασίας απόφασης, ο κατηγορικός λογισμός είναι ένας πολύ χρήσιμος και αποδοτικός τρόπος παράστασης και χειρισμού του είδους της γνώσης που συναντάμε στην τεχνητή νοημοσύνη και τα έμπειρα συστήματα.

Ας ορίσουμε τα απλά γεγονότα:

αναφέρει-στον (γιάννης, δημήτρης)

διοικεί (δημήτρης, γιάννης)

που σημαίνουν ότι «ο Γιάννης αναφέρει στο Δημήτρη» και «ο Δημήτρης διοικεί τον Γιάννη», αντίστοιχα.

Τέτοια απλά γεγονότα αποτελούνται από μια απλή σχέση, που δίνεται στο αριστερό μέρος των παρενθέσεων, και από ορισμένα αντικείμενα (οντότητες) τα οποία η σχέση αυτή συνδέει. Δομές της μορφής αυτής αποτελούν τις βασικές προτάσεις του κατηγορικού λογισμού και αντικαθιστούν τα P και Q.

Στον κατηγορικό λογισμό τα ονόματα των σχέσεων ονομάζονται κατηγορήματα και τα αντικείμενα μέσα στις παρενθέσεις ονομάζονται ορίσματα. Όλες οι δομές του κατηγορικού λογισμού ονομάζονται στη λογική προτάσεις και μπορούν να έχουν την τιμή ΑΛΗΘΗΣ ή ΑΝΑΛΗΘΗΣ. Συνήθως το κατηγορήμα είναι το ρήμα της πρότασης και ορίσματα το υποκείμενο και το αντικείμενο του ρήματος. Σχεδόν πάντα υπάρχουν πολλοί τρόποι να παραστήσουμε μια πρόταση.

Έτσι οι προτάσεις που δόθηκαν παραπάνω, στην κατηγορική λογική γράφονται ως:

είναι (πέτρος, μηχανικός-υπολογιστών)

είναι (πέτρος, προγραμματιστής)

είναι (πέτρος, νεκρός)

Δυο σημεία σχετικά με τα κατηγορήματα που πρέπει να σημειωθούν ιδιαίτερα είναι τα εξής. Πρώτον, η τάξη των ορισμάτων («πέτρος» και «μηχανικός-υπολογιστών» στο προηγούμενο παράδειγμα) πρέπει πάντα να ορίζεται με βάση μια δεδομένη σημασία του κατηγορήματος, μέσα στα πλαίσια της θεωρούμενης κάθε φορά περιοχής προβλημάτων. Ο προγραμματιστής επομένως πρέπει να αποφασίσει ποια θα είναι η έννοια μιας συγκεκριμένης τάξης των ορισμάτων και να την κρατήσει καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας του. Δεύτερον, ένα κατηγορήμα μπορεί να έχει οποιοδήποτε πλήθος ορισμάτων. Μέχρι τώρα τα κατηγορήματα που είχαμε ήταν δυαδικά δηλαδή είχαν δυο ορίσματα. Η πρόταση όμως

«ο Πέτρος εργάζεται στην IBM ως μηχανικός υπολογιστών»

μπορεί να παρασταθεί σαν ένα κατηγορήμα με τρία ορίσματα

εργάζεται (μηχανικός-υπολογιστών, IBM, πέτρος)

Από την άλλη μεριά η πρόταση «Η μηχανή χάλασε» παριστάνεται με ένα κατηγορημα «ενός ορίσματος», όπως: χάλασε (μηχανή)

Ένα «αντικείμενο» μπορεί να εκφρασθεί είτε σαν μια «σταθερά» που δείχνει μία συγκεκριμένη οντότητα ή κατηγορία οντοτήτων, είτε σαν μια «μεταβλητή» που δείχνει ότι η οντότητα ή η κατηγορία της παραμένει απροσδιόριστη. Λόγου χάρη η πρόταση

είναι (X, μηχανικός-υπολογιστών)

θα μπορούσε να αποδοθεί σαν

«Υπάρχει κάποιο αντικείμενο X που είναι μηχανικός υπολογιστών»

Όταν μια μεταβλητή αντικατασταθεί με το όνομα ενός συγκεκριμένου αντικειμένου, τότε λέμε ότι η μεταβλητή αυτή συγκεκριμενοποιείται. Οι σταθερές οντότητες θα συμβολίζονται με ονόματα ή σύμβολα που αρχίζουν με μικρό γράμμα⁷.

Οι προτάσεις μπορούν να εκφραστούν χρησιμοποιώντας σαν ορίσματα μεταβλητές που συγκεκριμενοποιούνται με το όνομα κάποιου αντικειμένου ή κατηγορίας αντικειμένων. Για το χειρισμό μεταβλητών στον κατηγορικό λογισμό χρησιμοποιούμε ποσοτικά σύμβολα («ποσοδείκτες») που δείχνουν πόσες από τις μεταβλητές που είναι συγκεκριμενοποιημένες πρέπει να είναι «αληθείς» για να είναι «αληθής» ολόκληρη η πρόταση. Έχουμε δύο τύπους ποσοδεικτών:

α) Τον δείκτη καθολικότητας: \forall (Όλα, Κάθε)

β) Τον

Όταν έχουμε την κρίση $\forall(X)$ όλες οι συγκεκριμενοποιήσεις της μεταβλητής X πρέπει να είναι «αληθείς», ενώ όταν έχουμε $\exists(X)$ μόνο μερικές συγκεκριμενοποιήσεις χρειάζονται να είναι «αληθείς».

Με βάση τα παραπάνω η πρόταση

«Όλοι οι μηχανικοί υπολογιστών είναι προγραμματιστές»

μπορεί να εκφρασθεί ως

$\forall(X)$ (μηχανικός-υπολογιστών(X) \rightarrow προγραμματιστής(X))

Η πρόταση

«Μερικοί μηχανικοί υπολογιστών είναι μηχανικοί ελέγχου»

εκφράζεται ως

$\exists(X)$ (μηχανικός-υπολογιστών(X) \rightarrow μηχανικός-ελέγχου(X))

Οι δείκτες καθολικότητας (\forall) και ύπαρξης (\exists) μπορούν να αναμιχθούν στην ίδια έκφραση, αλλά τότε η σειρά εμφάνισής τους μπορεί να επηρεάζει την σημασία της πρότασης. Για παράδειγμα, η έκφραση

$\forall(X) \exists(Y)$ (υπάλληλος (X) \rightarrow διευθυντής (Y,X))

μπορεί να διαβαστεί ως

«Κάθε υπάλληλος έχει κάποιο διευθυντή»

ενώ αν αντιστρέψουμε την σειρά των ποσοδεικτών

$\exists(Y) \forall(X)$ (υπάλληλος (X) \rightarrow διευθυντής (Y,X))

τότε έχουμε τη διαφορετική πρόταση

«Υπάρχει κάποιος που διευθύνει κάθε υπάλληλο».

Οι απλές προτάσεις (ονομαζόμενες «ατομικές») κάθε μία από τις οποίες αποτελείται από ένα κατηγορημα και τα αντίστοιχα ορίσματα, μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους έτσι ώστε να αποτελέσουν σύνθετες προτάσεις. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια των «λογικών συνδετικών»,

⁷ N.J. Nilsson, Principles of Artificial Intelligence, Tioga Publishing Co, 1980

Τα λογικά συνδετικά είναι “and” (και, &), “or” (ή, ∨), “not” (όχι, ~) και “implies” (συνεπάγεται, →).

Το συνδετικό της συνεπαγωγής (→) είναι πολύ χρήσιμο στην περίπτωση μας γιατί χρησιμοποιείται στον σχηματισμό των κανόνων και μπορεί να έχει την εναλλακτική έκφραση φυσικής γλώσσας:

“IF...THEN...” (ΕΑΝ...ΤΟΤΕ...)

Μερικά παραδείγματα σύνθετων κρίσεων που σχηματίζονται με τη χρήση των τεσσάρων λογικών συνδετικών είναι:

α) είναι (πέτρος, μηχανικός-υπολογιστών)

& διαβάζει (πέτρος, περιοδικά-υπολογιστών)

δηλαδή

«ο Πέτρος είναι μηχανικός υπολογιστών και διαβάζει περιοδικά υπολογιστών».

β) αναφέρει-στον (πέτρος, γιώργος) → διοικεί (γιώργος, πέτρος)

δηλαδή

«Εάν ο Πέτρος αναφέρει στον Γιώργο τότε ο Γιώργος διοικεί τον Πέτρο».

γ) έγραψε (πέτρος, πρόγραμμα) & ~δουλεύει (πρόγραμμα) → διορθώνει(πρόγραμμα, βράδυ) ∨ δίνει (πρόγραμμα, προγραμματιστή, επόμενο-πρωί)

δηλαδή

«εάν ο Πέτρος έγραψε το πρόγραμμα και δε δουλεύει τότε είτε θα το διορθώσει το βράδυ ή θα το δώσει σε έναν προγραμματιστή το επόμενο πρωί».

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω δομές μπορούμε με τον ίδιο τρόπο να εκφράσουμε πολλά από τα γεγονότα που απαντώνται σε μια συνήθη υπαλληλική βάση δεδομένων, όπως:

α) «ο Πέτρος είναι ένας μηχανικός υπολογιστών που δουλεύει στην IBM σαν διευθυντής»

β) «ο Γιάννης και ο Γιώργος είναι προγραμματιστές που διευθύνονται από τον Πέτρο και ο Γιάννης έχει την πρόσθετη υπευθυνότητα ενός τεχνικού συντάκτη».

Στην κατηγορική λογική γράφουμε:

είναι (πέτρος, μηχανικός-υπολογιστών)

δουλεύει (πέτρος, IBM, διευθυντής)

προγραμματιστής (γιάννης) & τεχνικός συντάκτης (γιάννης)

προγραμματιστής (γιώργος)

διοικεί (πέτρος, Γιάννης) & διοικεί (πέτρος, γιώργος)

Με τον μηχανισμό παράστασης της γνώσης που μας παρέχει ο κατηγορικός λογισμός μπορούμε να εκφράσουμε σε μία τυπική μορφή πολλές πολύπλοκες προτάσεις φυσικής γλώσσας. Επιπλέον, εκτός του ότι κάνουμε την σημασία τέτοιων προτάσεων σαφή και όχι διφορούμενη, με τον κατηγορικό λογισμό μπορούμε να τις μετασχηματίσουμε κατά διάφορους τρόπους (διατηρώντας την σημασία τους) έτσι ώστε να τις κάνουμε καταλληλότερες για επεξεργασία με τον υπολογιστή. Ο μετασχηματισμός αυτός εξασφαλίζεται από το γεγονός ότι όλα τα λογικά συνδετικά μπορούν να εκφραστούν με ισοδύναμους συνδυασμούς άλλων συνδετικών. Για παράδειγμα, η σύνθετη πρόταση: ~(~μηχανικός-υπολογιστών (πέτρος) ∨ ~διευθυντής (πέτρος)) μπορεί να εκφραστεί ως

μηχανικός-υπολογιστών (πέτρος) & διευθυντής (πέτρος)

που είναι σε πολλούς πιο κατανοητή από την αρχική μορφή.

Επίσης ο κανόνας

αναφέρει-στον (γιώργος, πέτρος) → διοικεί (πέτρος, γιώργος)

μπορεί να παρασταθεί ως

~αναφέρει-στον (γιώργος, πέτρος) ∨ διοικεί (πέτρος, γιώργος)

Η δεύτερη παράσταση είναι δυσκολότερα κατανοητή, αλλά είναι πολύ χρήσιμη για την αυτοματοποίηση του κατηγορικού λογισμού που υλοποιείται π.χ. με τη γλώσσα PROLOG.

1.3.2. Σημασιολογία Κατηγορικού Λογισμού

Οι σταθερές αντιπροσωπεύουν αντικείμενα ή οντότητες. Οι μεταβλητές αντιπροσωπεύουν πεδία σταθερών. Οι συναρτήσεις αντιπροσωπεύουν αντιστοιχίες ανάμεσα σε δύο πεδία σταθερών, π.χ. η συνάρτηση ηλικία_σε_έτη η οποία αντιστοιχεί ανθρώπους με ηλικίες (οι οποίες απεικονίζονται ως φυσικοί αριθμοί). Επομένως, οι συναρτήσεις επιστρέφουν σταθερές, π.χ. ηλικία_σε_έτη(ΓΙΑΝΝΗ) επιστρέφει 20.

Κατηγορήματα τα οποία δεν έχουν ορίσματα είναι απλές λογικές προτάσεις, οι οποίες είναι είτε αληθείς ή αναληθείς, π.χ. ΣΗΜΕΡΑ_ΕΙΝΑΙ_ΤΡΙΤΗ (για σήμερα, που είναι Τετάρτη, αυτή η πρόταση είναι αναληθής). Κατηγορήματα που έχουν τουλάχιστον ένα όρισμα αντιπροσωπεύουν σχέσεις, π.χ. το κατηγορήμα ΕΙΝΑΙ_ΚΟΚΚΙΝΟ, το οποίο έχει ένα όρισμα και αντιπροσωπεύει το σύνολο των κόκκινων αντικειμένων, για παράδειγμα ΕΙΝΑΙ_ΚΟΚΚΙΝΟ(ΝΤΟΜΑΤΑ). Επομένως, τα κατηγορήματα αντιπροσωπεύουν σχέσεις ανάμεσα σε αντικείμενα, ενώ οι συναρτήσεις επιστρέφουν αντικείμενα. Υπάρχει μία σχέση ανάμεσα στα ορίσματα μίας συνάρτησης και το αντικείμενο που επιστρέφεται, π.χ. άθροισμα(2,3) = 5, μπορεί να αναπαρασταθεί ως ΑΘΡΟΙΣΜΑ(2,3,5)⁸.

Όμως το αντίστροφο, ότι δηλαδή για κάθε σχέση υπάρχει κάποια συνάρτηση, δεν ευσταθεί. Για παράδειγμα, κατηγορήματα που δεν έχουν ορίσματα ή έχουν ένα όρισμα δε μπορούν να αντικατασταθούν από συναρτήσεις. Επίσης σχέσεις του τύπου ένα–προς–πολλά, όπως για παράδειγμα «Είναι αδελφός του», δε μπορούν να αναπαρασταθούν ως συναρτήσεις. Μόνο σχέσεις του τύπου ένα–προς–ένα ή πολλά–προς–ένα μπορούν να αναπαρασταθούν ως συναρτήσεις.

Επομένως, κάθε συνάρτηση με n ορίσματα μπορεί να μετατραπεί σε κατηγορήμα με $n+1$ ορίσματα, αλλά όχι αντιστρόφως. Η χρήση συναρτήσεων αποφεύγει την απαρίθμηση. Το ίδιο όμως συμβαίνει με τα υπολογίσιμα κατηγορήματα. Αυτά είναι κατηγορήματα, αλλά παρασκηνακά υλοποιούνται ως συναρτήσεις. Προφανώς δεν θα απαριθμηθούν όλοι οι πρώτοι αριθμοί, αλλά το κατηγορήμα ΠΡΩΤΟΣ_ΑΡΙΘΜΟΣ θα υλοποιηθεί ως συνάρτηση, η οποία επιστρέφει λογική τιμή.

1.4. Υπολογιστικές Τεχνικές Παράστασης και Ελέγχου της Γνώσης

Η μεθοδολογία επεξεργασίας της πληροφορίας που εφαρμόζεται στα έμπειρα συστήματα διαφέρει από εκείνη που ακολουθείται στη λογική κατά το ότι χρησιμοποιεί τεχνικές ελέγχου της εξαγωγής συμπερασμάτων που είναι κατάλληλες για μία συγκεκριμένη περιοχή της γνώσης κάθε φορά. Αυτό μπορεί να γίνει κατανοητό με τη βοήθεια της διάκρισης ανάμεσα στους γενικούς κανόνες συλλογισμού και τους ειδικούς κανόνες κάθε μιας περιοχής προβλημάτων. Οι δυο αυτές κατηγορίες διαδικαστικής γνώσης κρατήθηκαν ξεχωριστές στον κατηγορικό λογισμό για να διατηρηθεί η γενικότητα. Σε κάθε όμως περιοχή προβλημάτων μπορούν να αντικατασταθούν από ειδικούς κανόνες με διάφορους βαθμούς γενικότητας, έτσι ώστε ο έλεγχος της γνώσης που ασκούν να είναι κατάλληλος για αυτήν την συγκεκριμένη περιοχή. Έτσι τα συστήματα που προκύπτουν με αυτόν τον τρόπο είναι απόλυτα κατάλληλα μόνο για την περιοχή προβλημάτων για την οποία σχεδιάστηκαν. Η ανάγκη για μια «βασισμένη-στη-γνώση» μεθοδολογία επεξεργασίας της πληροφορίας έχει αναγνωρισθεί για πρώτη φορά στα πλαίσια της ΤΝ σε σχέση κυρίως με την συμβολική επίλυση προβλημάτων. Πολλές από τις θεμελιώδεις έννοιες και τεχνικές της ΤΝ αναπτύχθηκαν μέσα από την εργασία που έγινε για το αυτόματο παίξιμο παιχνιδιών και την κατανόηση της φυσικής γλώσσας. Και στις δυο αυτές περιοχές βρέθηκε ότι για να προσεγγισθεί η ανθρώπινη συμπεριφορά ήταν απαραίτητη η κωδικοποίηση μεγάλου μέρους της ειδικής γνώσης σε κατάλληλα συστήματα. Η άποψη αυτή επαληθεύθηκε από πραγματικές μελέτες του τρόπου με τον οποίο ο άνθρωπος επεξεργάζεται τη γνώση στις περιοχές αυτές. Έτσι π.χ. οι σκακιστές οφείλουν την επιτυχία τους στην απομνημόνευση

⁸ M.Minsky, «A Framework for Representing Knowledge», in The Psychology of Computer Vision, P.H.Winston (ed.), McGraw–Hill, 1975

πολλών συνδυασμών και των επιπτώσεών τους, παρά στην καλύτερη ικανότητά τους να εφαρμόζουν ένα μικρό αριθμό από ισχυρές παραγωγικές διαδικασίες σκέψης.

Η μετατόπιση της έμφασης από τα προβλήματα κατασκευής ισχυρών «μηχανών εξαγωγής συμπερασμάτων» γενικής χρήσης στα προβλήματα αυτοματοποίησης της ανθρώπινης γνώσης οδήγησε αναπόφευκτα σε ένα νέο σύνολο ενδιαφερόντων. Το πρώτο από αυτά αφορά στην ανάπτυξη μεθόδων παράστασης «δηλωτικής» και «διαδικαστικής» γνώσης κατά τρόπο που να κάνει φανερά τα στοιχεία εκείνα κάθε προβλήματος που είναι κρίσιμα γι' αυτό. Έτσι π.χ. στην περιοχή κατανόησης φυσικής γλώσσας, για να μπορεί ένα πρόγραμμα να ξεκαθαρίζει πολλές από τις ασάφειες που υπάρχουν σε ένα γραπτό κείμενο, είναι απαραίτητη η δυνατότητα του συστήματος να παριστάνει την αλληλουχία των γεγονότων που κανονικά υπεισέρχονται στην υπό μελέτη περίπτωση. Σαν παράδειγμα ας θεωρήσουμε της εξής φυσική πρόταση:

«Χθες ο Πέτρος πήγε στο εστιατόριο. Παρήγγειλε ψάρι. Όταν το πλήρωσε, είδε ότι δεν είχε άλλα χρήματα. Γύρισε βιαστικά στο σπίτι του γιατί άρχισε να βρέχει.»

Εάν ερωτηθούμε «Ο πέτρος έφυγε χθες?» η απάντηση είναι ασφαλώς «Ναι» έστω και αν δεν αναφέρεται ρητά στην παραπάνω πρόταση.

Την ίδια απάντηση θα δώσει και ένας υπολογιστής εάν εφοδιαστεί με το «σενάριο» ενός εστιατορίου (δηλαδή με την αλληλουχία των γεγονότων που λαβαίνουν χώρα από την είσοδο στο εστιατόριο μέχρι την έξοδο ενός πελάτη από αυτό.) Αυτό γιατί στο σενάριο το γεγονός «πληρώνω» ακολουθεί χρονικά (και λογικά) το γεγονός τρώω, η δε πρόταση αναφέρει ότι ο Πέτρος πλήρωσε και μετά έφυγε.

Η παράσταση της γνώσης είναι ένα από τα βασικά στοιχεία του προγραμματισμού της γνώσης. Ένα δεύτερο στοιχείο που έχουμε ήδη γνωρίσει στα προηγούμενα είναι ο έλεγχος της εφαρμογής της γνώσης. Αν και η σχεδίαση μιας δομής ελέγχου εξαρτάται μερικώς από τον τρόπο παράστασης της γνώσης που επιλέχθηκε, πρέπει επίσης να αντικατοπτρίζει και άλλους παράγοντες, ο βασικότερος από τους οποίους είναι οι πιθανοί τρόποι «διάσπασης» του προβλήματος σε επί μέρους υποπροβλήματα⁹.

Η ευκολία με την οποία ένα πρόβλημα μπορεί να λυθεί σχετίζεται σημαντικά με το κατά πόσο το πρόβλημα μπορεί να διασπαστεί σε υποπροβλήματα που είναι πιο εύκολο να λυθούν. Βεβαίως η φύση της σχέσης που έχουν τα διάφορα υποπροβλήματα μεταξύ τους επιδρά αποφασιστικά στη γενική πολιτική ελέγχου που είναι εφαρμόσιμη στο πρόβλημα. Για την κατανόηση των παραπάνω θεωρούμε έναν ορειβάτη που προσπαθεί να ανέβει στην κορυφή ενός βουνού. Υποθέτουμε ότι ξαφνικά βρέθηκε μέσα σε πυκνή ομίχλη και ότι έχει στη διάθεσή του μόνο μια πυξίδα.

Μια απλή στρατηγική που μπορεί να ακολουθήσει ο ορειβάτης είναι να κάνει ένα βήμα προς τη διεύθυνση καθ' ενός από τα τέσσερα σημεία του οριζοντα (B, N, Δ, A) και να κινηθεί τελικά προς την κατεύθυνση που αισθάνεται ότι τον οδηγεί υψηλότερα (κανόνας βέλτιστου βήματος).

Είναι φανερό ότι η επιτυχία της στρατηγικής αυτής εξαρτάται αποφασιστικά από το περιβάλλον μέσα στο οποίο εφαρμόζεται. Εάν στον γύρω χώρο υπάρχουν πολλοί λοφίσκοι, ο ορειβάτης μπορεί να βρεθεί στην κορυφή ενός από αυτών και όχι στην κορυφή του κυρίως βουνού. Εάν βρεθεί στην κατάσταση αυτή, ο ορειβάτης χρειάζεται κάποιον πρόσθετο μηχανισμό ελέγχου για να μπορέσει να προχωρήσει.

Δυο δυνατότητες είναι οι εξής. Η πρώτη είναι να επιστρέψει στο σημείο από το οποίο ξεκίνησε το ανέβασμα του λοφίσκου, να κάνει ένα δοκιμαστικό βήμα προς μια άλλη κατεύθυνση και να συνεχίσει να εφαρμόζει τον κανόνα «βέλτιστου βήματος». Μια άλλη δυνατότητα μπορεί να προκύψει αν προς στιγμή καθαρίσει η ομίχλη και ο ορειβάτης δει την κορυφή του βουνού οπότε προχωράει προς την κατεύθυνσή της, έστω και αν προσωρινά διαπιστώσει ότι χάνει ύψος. Με άλλα λόγια η επιπλέον πληροφορία που είχε ο ορειβάτης από το ότι διέκρινε στιγμιαία

⁹ P.H.Winston, Artificial Intelligence, τρίτη έκδοση, Addison Wesley, 1992

την κορυφή του βουνού του έδωσε την σιγουριά να προχωρήσει προς την κατεύθυνση που έχανε παροδικά ύψος έτσι ώστε να βρεθεί αργότερα σε μια πολύ καλύτερη θέση.

Από το παραπάνω παράδειγμα φαίνεται ότι η δομή ελέγχου που χρησιμοποιείται για να συσχετίσει την ειδική γνώση που έχουμε για το προς λύση πρόβλημα πρέπει να λαβαίνει υπόψη της τη δομή αυτής της γνώσης. Στην περίπτωσή μας μια δομή ελέγχου «ορειβασίας» που είναι κατάλληλη για ένα περιβάλλον χωρίς λοφίσκους μπορεί να μη δουλέψει επιτυχώς σε ένα περιβάλλον με λοφίσκους. Εδώ χρειάστηκε η εφαρμογή μιας πιο πολύπλοκης διαδικασίας ελέγχου, όπως είναι η επιστροφή στη θέση της προηγούμενης απόφασης ή το κοίταγμα μπροστά.

Σκοπός αυτής της υποενότητας είναι να μελετήσουμε εν συντομία τις βασικές μορφές παράστασης της γνώσης και τις δομές ελέγχου της γνώσης που χρησιμοποιούνται, ή μπορούν να χρησιμοποιηθούν, στα έμπειρα συστήματα. Σημειώνουμε ότι αυτό που ονομάζουμε εδώ δομές ελέγχου είναι αυτό που συνήθως λένε στην τεχνητή νοημοσύνη μέθοδοι λύσης προβλημάτων.

1.4.1.Δομημένη Παράσταση Γνώσης

Η παράσταση της γνώσης με τον κατηγορικό λογισμό έχει το πλεονέκτημα ότι οδηγεί σε μία πολύ ισχυρή μεθοδολογία εξαγωγής συμπερασμάτων (αρχή της απόφασης με αντίκρουση της αντίφασης) που είναι εφαρμόσιμη γενικά. Έχει όμως και το μειονέκτημα ότι τα αντικείμενα σ' αυτήν την παράσταση είναι τόσο απλά που δε μπορούν εύκολα να παραστήσουν την πολύπλοκη δομή των πραγματικών προβλημάτων του κόσμου. Ο κόσμος περιέχει αντικείμενα που έχουν ιδιότητες και περικλείουν σχέσεις με άλλα αντικείμενα, κόκ. Πολλές φορές είναι χρήσιμο να μαζεύουμε αυτές τις ιδιότητες έτσι ώστε να αποτελούν μία ενιαία περιγραφή ενός πολύπλοκου αντικειμένου. Έτσι μπορεί το σύστημα επεξεργασίας της γνώσης να στρέφει την προσοχή του σε ολόκληρα αντικείμενα και όχι στις επί μέρους ιδιότητες ή συνιστώσες τους. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο στην πρακτική υλοποίηση με υπολογιστές γιατί διαφορετικά οδηγούμαστε σε συνδυαστική έκρηξη¹⁰.

Οι ιδιότητες που πρέπει να έχει οποιοδήποτε σύστημα δομημένης παράστασης της γνώσης ενός πεδίου είναι:

Επάρκεια παράστασης: Ικανότητα παράστασης όλων των μορφών της γνώσης του θεωρούμενου πεδίου.

Επάρκεια συλλογισμού: Ικανότητα χειρισμού των δομών που παριστάνει έτσι ώστε να παράγονται νέες δομές οι οποίες αντιστοιχούν σε νέα γνώση που προκύπτει από την παλιά.

Αποδοτικότητα συλλογισμού: Ικανότητα προσθήκης πληροφορίας στη δομή της γνώσης η οποία να κάνει τους μηχανισμούς συλλογισμού να δίνουν μεγαλύτερη προσοχή προς τις πιο κατάλληλες κατευθύνσεις.

Αποδοτικότητα λήψης πληροφορίας: Ικανότητα εύκολης αποδοχής νέας πληροφορίας (είτε από τον άνθρωπο είτε αυτόματα).

Οι τεχνικές δομημένης παράστασης που έχουν αναπτυχθεί χωρίζονται σε δηλωτικές και διαδικαστικές. Κάθε μία από αυτές είναι κατάλληλη για ορισμένο ή ορισμένα πεδία προβλημάτων. Πολλές από τις τεχνικές αυτές παράστασης της γνώσης χρησιμοποιούν δομές της γνώσης που περιέχουν μικρότερες δομές. Έτσι πολλές φορές ο όρος δομή γνώσης χρησιμοποιείται για μία πλήρη βάση δεδομένων ενός συγκεκριμένου γνωστικού πεδίου και μπορεί να αναφέρεται σε επί μέρους δομές μέσα στην συνολική δομή.

Γενικά ερωτήματα τα οποία γεννιούνται σε σχέση με τις τεχνικές παράστασης της γνώσης είναι τα εξής:

- a) Υπάρχουν ιδιότητες ή χαρακτηριστικά που είναι τόσο βασικά ώστε να εμφανίζονται σε κάθε πεδίο προβλημάτων; Εάν ναι ποια είναι αυτά; Μπορούν να αναπαρασταθούν κατάλληλα με τη δομή παράστασης που διαλέγουμε;

¹⁰ P. Jackson, Introduction to Expert Systems, τρίτη έκδοση, Addison–Wesley, 1999

- b) Ποιο επίπεδο λεπτομέρειας πρέπει να διαλέξουμε για την παράσταση; Υπάρχει ένα καλό σύνολο πρωτόγονων στοιχείων στα οποία μπορούμε να αναλύσουμε τη γνώση;
- c) Ποια είναι η καταλληλότερη δομή παράστασης που πρέπει να χρησιμοποιήσουμε;

Η απάντηση στο ερώτημα α είναι θετική. Μερικά παραδείγματα τέτοιων ιδιοτήτων είναι οι σχέσεις που εκφράζονται με τα:

“is-a (είναι), is-part (είναι μέρος), has (έχει), instance-of (ειδική περίπτωση του), greater-than (μεγαλύτερος από)”.

Για να απαντήσουμε στο δεύτερο ερώτημα πρέπει να αποφασίσουμε ποια είναι τα πρωτόγονα στοιχεία που πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε.

Πρέπει να είναι ένας μικρός αριθμός πρωτόγονων στοιχείων χαμηλού επιπέδου ή ένας μεγαλύτερος αριθμός από στοιχεία που ανήκουν σε διάφορα επίπεδα περιγραφικής λεπτομέρειας; Έτσι λ.χ. το γεγονός «Peter spotted Ann» (Ο Πέτρος διέκρινε προς στιγμήν την Άννα) μπορεί να παρασταθεί σαν

spotted (agent (peter), object (ann))

όπου, όπως θα δούμε, τα ορίσματα agent και object ονομάζονται θήκες.

Με αυτήν την παράσταση μπορούμε προφανώς να απαντήσουμε στο ερώτημα “Who spotted Ann?” αλλά όχι στο ερώτημα «Είδε ο Πέτρος την Άννα;», παρά το γεγονός ότι η απάντηση είναι προφανώς θετική. Για να μπορέσει να απαντηθεί το ερώτημα αυτό από ένα υπολογιστικό σύστημα χρειάζεται είτε η προσθήκη του κανόνα

spotted (X, Y) → saw (X, Y)

είτε η ανάλυση του “spotted” σε δύο πρωτόγονα στοιχεία χαμηλότερου επιπέδου, δηλαδή:

saw (agent (peter), object (ann), time-span (briefly))

Το κύριο πλεονέκτημα της παράστασης όλων των γεγονότων με βάση ένα μικρό σύνολο πρωτόγονων στοιχείων είναι ότι οι κανόνες του συστήματος χρειάζεται να γραφτούν χρησιμοποιώντας μόνο τα στοιχεία αυτά και όχι ακολουθώντας τις ποικίλες μορφές με τις οποίες έχει δοθεί η αρχική γνώση κάθε προβλήματος¹¹.

Τέλος η απάντηση στο τρίτο ερώτημα χρειάζεται αρκετή εμπειρία από αυτόν που πρόκειται να σχεδιάσει το σύστημα επεξεργασίας της γνώσης. Μεγάλη προσοχή χρειάζεται στις περιπτώσεις που κάποιες λέξεις έχουν περισσότερες από μία σημασίες, όπως λ.χ. η Αγγλική λέξη “fly”. Αυτό φαίνεται στις ακόλουθες προτάσεις:

Peter flew to London

Peter flew a kite

Peter flew down to the street

Τα βήματα της επιλογής της κατάλληλης δομής παράστασης της γνώσης σε κάθε περίπτωση είναι:

1. Κάνε μια αρχική επιλογή της δομής.
2. Συμπλήρωσε σ' αυτήν κατάλληλες λεπτομέρειες από την παρούσα κατάσταση.
3. Εξέτασε εάν η δομή που εκλέχθηκε καλύπτει όλες τις περιπτώσεις που μπορεί να εμφανισθούν.
4. Εάν όχι τότε διαμόρφωσε την εκλεγείσα δομή.
5. Εάν και μετά την εκτέλεση του βήματος 4 η δομή δε φαίνεται να είναι κατάλληλη τότε διάλεξε κάποια άλλη δομή από τις διαθέσιμες.

Οι κυριότερες δηλωτικές μορφές παράστασης της γνώσης είναι οι εξής:

- a) **Σημασιολογικά (Σημαντικά) Δίκτυα** (δομές που περιγράφουν τόσο γεγονότα όσο και αντικείμενα)

¹¹ A.J. Gonzalez και D.D. Dankel, The Engineering of Knowledge-Based Systems: Theory and Practice, Prentice-Hall, 1993

- b) **Πλαίσια** (δομές που περιγράφουν σύνθετα αντικείμενα, συχνά από διάφορες οπτικές γωνίες)
- c) **Σενάρια** (πιο ειδικές δομές που περιγράφουν ακολουθίες γεγονότων)
- d) **Εννοιολογικές εξαρτήσεις** (πιο ειδικές δομές που περιγράφουν τις σχέσεις μεταξύ αντικειμένων ή συνιστωσών που βρίσκονται σε δράση)¹²

1.4.2. Σημασιολογικά Δίκτυα

Η παράσταση της γνώσης με τα σημαντικά ή σημασιολογικά ή εννοιολογικά δίκτυα (semantic networks) στηρίζεται στην παλιά και πολύ απλή ιδέα ότι η μνήμη απαρτίζεται από συσχετίσεις (συνδέσεις) μεταξύ εννοιών. Η ανάπτυξη της έννοιας της «συσχετιζουσας (συναφούς) μνήμης» πάει πολύ πίσω μέχρι τον Αριστοτέλη και εισάχθηκε στην επιστήμη των υπολογιστών μέσω της εργασίας που έγινε πάνω στη χρήση των συσχετισμών για την παράσταση της έννοιας των λέξεων των βάσεων δεδομένων. Είναι γνωστό ότι μια συναφής μνήμη λειτουργεί όχι με διευθύνσεις αλλά κατά περιεχόμενο.

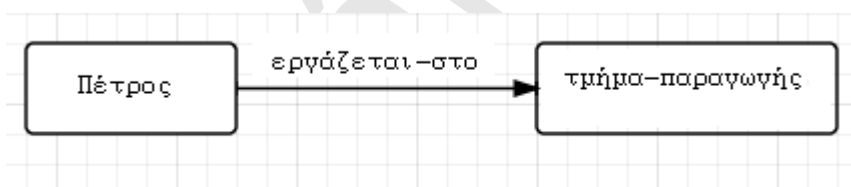
Τα σημασιολογικά δίκτυα έχουν, μέχρι σήμερα, χρησιμοποιηθεί για την παράσταση πολλών κατηγοριών πληροφορίας σε διάφορα πεδία προβλημάτων. Μερικά παραδείγματα τέτοιων πεδίων είναι οι χωρικές σχέσεις σε απλούς φυσικούς κόσμους, οι αιτιοκρατικές και συναρτησιακές σχέσεις μέσα σε μηχανικές συσκευές και οι σχέσεις μεταξύ συμπτωμάτων και ασθενειών.

Η βασική συναρτησιακή μονάδα ενός σημασιολογικού δικτύου είναι μια δομή που αποτελείται από δύο σημεία, που λέγονται «κόμβοι», που συνδέονται με ένα «τόξο». Κάθε κόμβος παριστάνει κάποια έννοια ενώ το τόξο παριστάνει την σχέση μεταξύ των δύο εννοιών. Τέτοια ζεύγη σχετιζόμενων εννοιών μπορούν να θεωρηθούν ότι παριστούν ένα απλό γεγονός¹³.

Έτσι το γεγονός ότι

«ο Πέτρος εργάζεται στο τμήμα παραγωγής»

Παριστάνεται όπως δείχνει το σχήμα 1.



Σχήμα 1: Βασική Συναρτησιακή μονάδα ενός σημασιολογικού δικτύου

Σημειώνεται ότι το τόξο είναι προσανατολισμένο για να διατηρεί την σχέση «υποκείμενο/αντικείμενο» μεταξύ των εννοιών του γεγονότος.

Κάθε κόμβος μπορεί να συνδεθεί με οποιοδήποτε αριθμό άλλων κόμβων σχηματίζοντας έτσι ένα δίκτυο γεγονότων.

Το παραπάνω βασικό σημασιολογικό δίκτυο είναι ισοδύναμο με ένα κατηγορηματικό δίκτυο δύο ορισμάτων. Τα ορίσματα παριστάνονται από τους δύο κόμβους και το κατηγορηματικό δίκτυο από το προσανατολισμένο τόξο που τα συνδέει. Έτσι το σημασιολογικό δίκτυο του παραπάνω σχήματος είναι ισοδύναμο με:

εργάζεται-στο (πέτρος, τμήμα-παραγωγής).

¹² N.J. Nilsson, Principles of Artificial Intelligence, Tioga Publishing Co, 1980

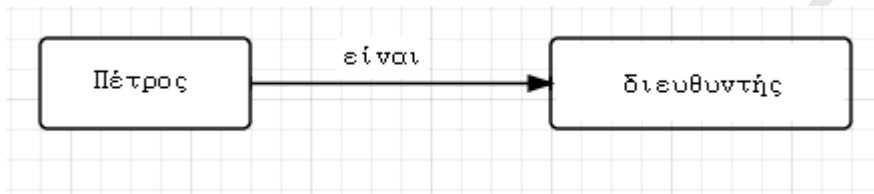
¹³ N.V. Findler (συντάκτης), Associative Networks – Representation and Use of Knowledge by Computers, Academic Press, 1979

Με κατάλληλη επιλογή βασικών δομικών σχέσεων μπορούμε να εκφράσουμε πολύ σύνθετους συνδυασμούς γεγονότων. Μία πολύ χρήσιμη δομική σχέση για την ανάπτυξη των σημασιολογικών δικτύων είναι η σχέση “is-a” (είναι) που χρησιμοποιείται για να δηλώσει ότι ένα αντικείμενο είναι μέλος κάποιας κατηγορίας αντικειμένων. Έτσι λ.χ. το σημασιολογικό δίκτυο του σχήματος 2 εκφράζει ότι:

«ο Πέτρος είναι ένα μέλος της τάξης των διευθυντών»

ή πιο σύντομα

«ο Πέτρος είναι διευθυντής»



Σχήμα 2 : Σημασιολογικό Δίκτυο της σχέσης «είναι»

Άλλα συνδεδετικά σημασιολογικών δικτύων που είναι χρήσιμα για την περιγραφή εννοιών (συνήθως αυτών που περιέχουν ουσιαστικά και ονόματα) είναι τα εξής:

has (έχει), is-part (είναι μέρος), is (είναι)

Το τελευταίο συνδεδετικό χρησιμοποιείται για να δείξει ότι το ένα αντικείμενο είναι χαρακτηριστικό γνώρισμα του άλλου.

Έτσι λ.χ. το σημασιολογικό δίκτυο που παριστάνει τα γεγονότα

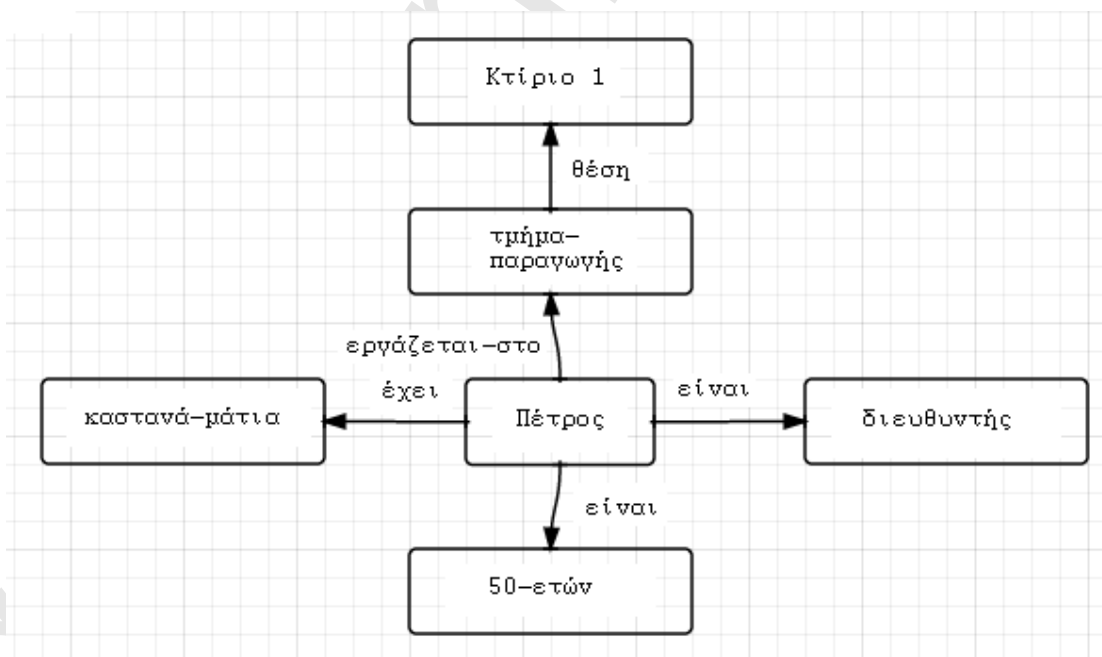
«ο Πέτρος είναι διευθυντής»

«ο Πέτρος εργάζεται στο τμήμα παραγωγής που βρίσκεται στο κτίριο 1»

«ο Πέτρος είναι 50 ετών»

«ο Πέτρος έχει καστανά μάτια»

έχει τη μορφή του Σχήματος 3.



Σχήμα 3: Γεγονότα που αναφέρονται στον «Πέτρο»

Στη γλώσσα LISP κάθε κόμβος παριστάνει ένα άτομο, το τόξο που ξεκινάει από αυτόν παριστάνει την ιδιότητα και ο κόμβος στον οποίο καταλήγει παριστάνει την τιμή. Η πληροφορία λαμβάνεται όταν καθορίσουμε το αντικείμενο και την ιδιότητα, οπότε επιστρέφεται η τιμή.

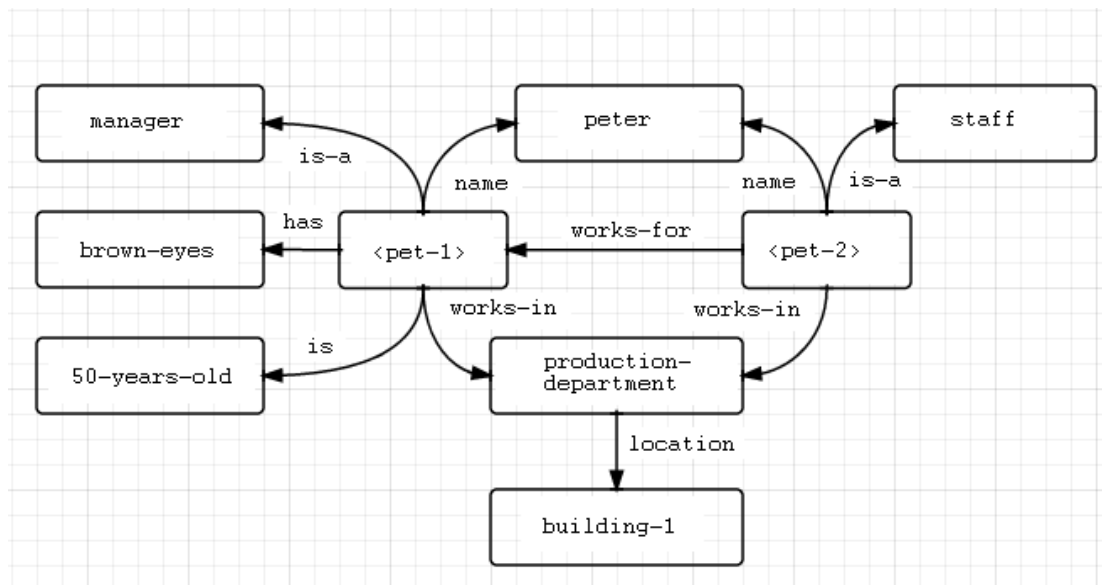
Γενικά όλες οι γλώσσες προγραμματισμού που δουλεύουν με κάποια μορφή συναφούς μνήμης στην οποία τα γεγονότα αποθηκεύονται υπό τη μορφή τριάδας:

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ-ΓΝΩΡΙΣΜΑ-ΤΙΜΗ

Είναι κατάλληλες για την υλοποίηση στον υπολογιστή των σημασιολογικών δικτύων και των άλλων δηλωτικών δομών παράστασης της γνώσης (πλαίσια, σενάρια και εννοιολογικές εξαρτήσεις).

Η δομή του Σχήματος 1 παριστάνεται στη γλώσσα LISP με το «πέτρος» σαν άτομο το «εργάζεται-στο» σαν την ιδιότητα και το «τμήμα-παραγωγής» σαν την τιμή της ιδιότητας αυτής. Η τιμή «τμήμα-παραγωγής» είναι ένα άλλο άτομο και συνεπώς μπορεί να έχει μια δική του χαρακτηριστική ιδιότητα. Έτσι μπορούμε να θεωρήσουμε τη θέση του «τμήμα-παραγωγής» σαν την ιδιότητά του και τιμή της ιδιότητας το «Κτίριο 1».

Πολλές φορές ένας αριθμός ξεχωριστών αντικειμένων είναι περιπτώσεις της ίδιας γενικής έννοιας. Για παράδειγμα, μπορεί να είναι απαραίτητο να καταγράψουμε ότι μια εταιρεία έχει δυο διαφορετικούς υπαλλήλους με το όνομα «Πέτρος» και είναι σε χαμηλότερη ιεραρχική βαθμίδα. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούμε δύο κόμβους με τα ονόματα <pet-1> και <pet-2> για να ξεχωρίσουμε τους δυο ανθρώπους που έχουν το ίδιο όνομα «Πέτρος», όπως δείχνει το Σχήμα 4.



Σχήμα 4: Γεγονότα που αναφέρονται στους “pet-1” και “pet-2”

Οι ειδικές περιπτώσεις (δείγματα) ενός γενικού αντικειμένου κλείνονται μέσα στις γωνιακές αγκύλες < > για να διακρίνονται από τα γενικά αντικείμενα. Έτσι εδώ χρησιμοποιούμε τα <pet-1> και <pet-2> ενώ το “peter” δεν έχει κανένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό σύμβολο. Οι κόμβοι < > λέγονται «δειγματικοί κόμβοι» ενώ οι γενικοί κόμβοι όπως ο “peter” λέγονται «τύποι».

Η μεγάλη διάδοση των σημασιολογικών δικτύων προέκυψε αρχικά από τη μεγάλη ισχύ επεξεργασίας που έδωσε ο σύνδεσμος “is-a” για το κτίσιμο πολύπλοκων ιεραρχικών εννοιών όπως φαίνεται και από το σημασιολογικό δίκτυο του Σχήματος 4 που είναι μια επαυξημένη μορφή εκείνου του Σχήματος 3. Τώρα, με βάση την ιεραρχική δομή ενός τέτοιου δικτύου μπορούμε να διανείμουμε γενικά χαρακτηριστικά ατόμων όχι σε κάθε ένα άτομο ξεχωριστά αλλά στις αντίστοιχες γενικές έννοιες. Παραδείγματα τέτοιων περιπτώσεων είναι ότι οι «εργαζόμενοι»

έχουν άδειες παρκαρίσματος των αυτοκινήτων τους ή ότι οι διευθυντές έχουν κλειδί της πόρτας του γραφείου¹⁴.

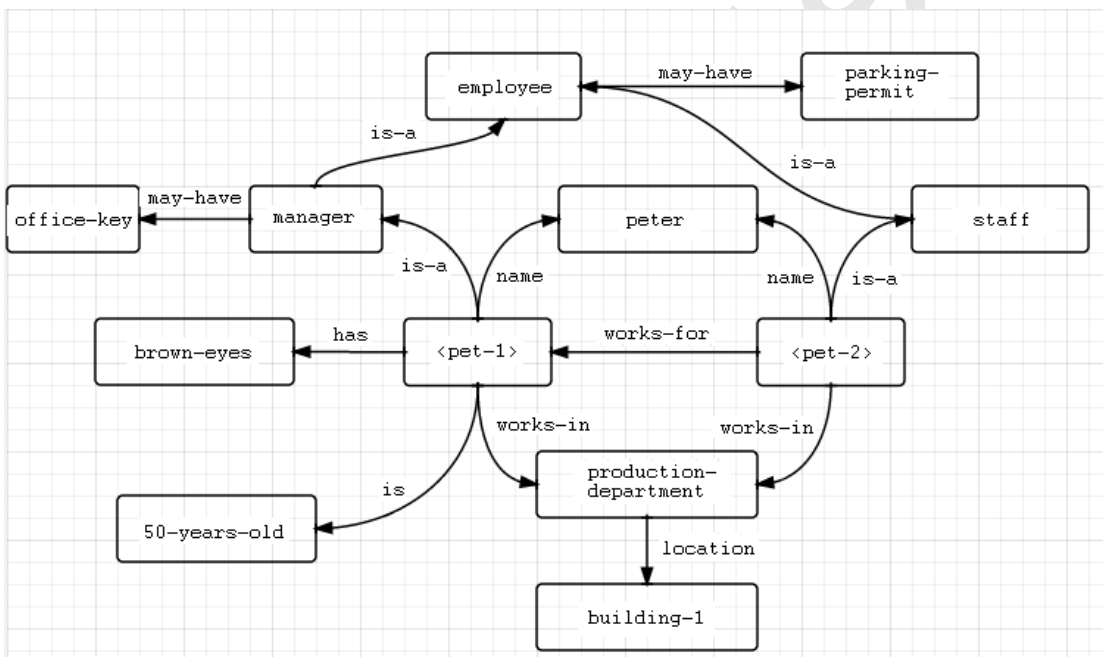
Έτσι το σημασιολογικό δίκτυο του Σχήματος 4 εμπλουτίζεται ακόμα περισσότερο όπως δείχνει το Σχήμα 5.

Για να παραστήσουμε κατηγορήματα με περισσότερα από δυο ορίσματα επεκτείνουμε τα σημασιολογικά δίκτυα με παραστάσεις γύρω από ρήματα πέρα από τις παραστάσεις γύρω από ουσιαστικά ή ονόματα. Έτσι το σύνθετο γεγονός

“Peter-2 worked for Peter-1 from April 1982 To May 1983”

μπορεί να παρασταθεί με το κατηγορήμα “work-for” και τέσσερα ορίσματα “Peter-1”, “Peter-2”, “from April 1982” και “to May 1983”.

Παριστάνοντας το ειδικό γεγονός εργασίας για κάποιον με “wk-1” που είναι ειδική περίπτωση του πρωτότυπου γεγονότος “work” παίρνουμε, με βάση τον συμβολισμό του Σχήματος 4, το σημασιολογικό δίκτυο του Σχήματος 6 του παραπάνω σύνθετου γεγονότος¹⁵.



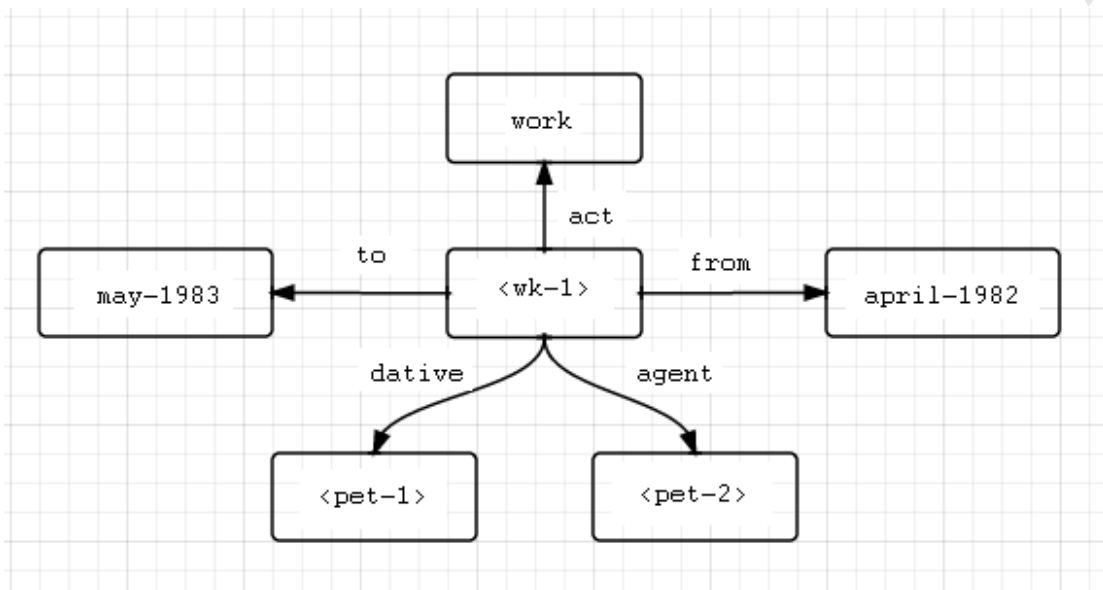
Σχήμα 5: Γεγονότα που αναφέρονται στους εργαζόμενους “pet-1” και “pet-2”

Γενικά συνεπή και περιεκτικά σύνολα ρηματικών σχέσεων έχουν αναπτυχθεί για συγκεκριμένα συστήματα στα πλαίσια της ειδικής γραμματικής του Fillmore (Case Grammar). Τα κλειστά αυτά σύνολα ρηματικών σχέσεων ονομάζονται «θήκες». Ένα δείγμα τέτοιων σχέσεων είναι:

- AGENT: αυτός από τον οποίο ξεκινάει η δράση που δείχνει το ρήμα
- OBJECT: το ουσιαστικό που επηρεάζεται από τη δράση που δείχνει το ρήμα
- LOCATION: η θέση της δράσης ή της κατάστασης που προσδιορίζει το ρήμα
- DATIVE: το πρόσωπο που επηρεάζεται από την κατάσταση ή τη δράση που προσδιορίζει το ρήμα

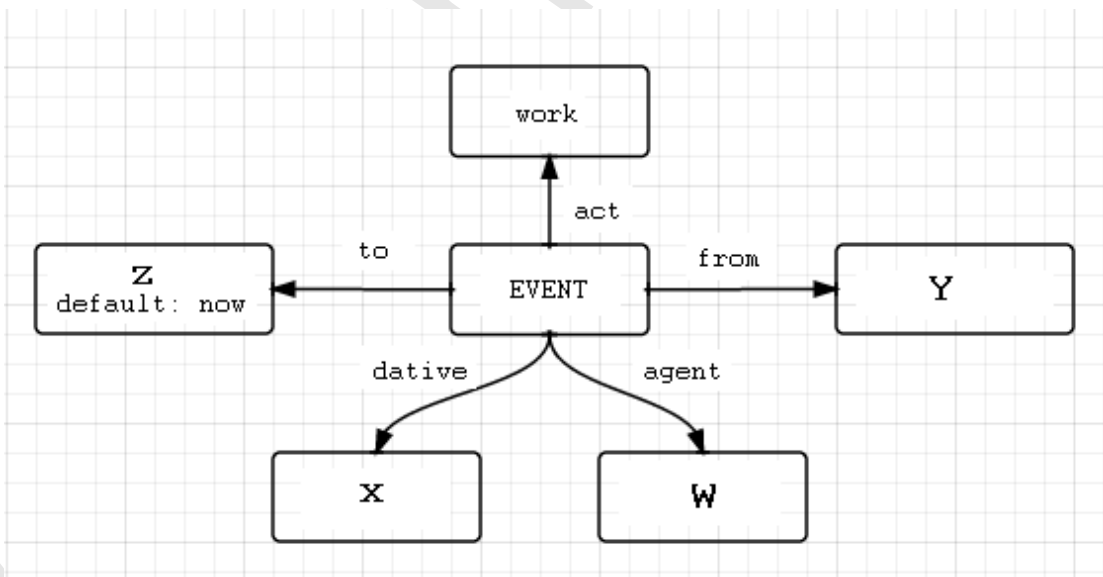
¹⁴ Cornelius T. Leondes (2002). Expert systems: the technology of knowledge management and decision making for the 21st century

¹⁵ Walker, Adrian et al. (1990). Knowledge Systems and Prolog. Addison-Wesley



Σχήμα 6: Παράσταση γεγονότων οργανωμένων γύρω από ένα ρήμα

Εδώ τα ονόματα των θηκών που είναι πάνω στα τόξα κατευθύνονται προς μεταβλητές, οι οποίες για ένα πραγματικό γεγονός παίρνουν την τιμή του πραγματικού ουσιαστικού ή ονόματος (ή φράσης ουσιαστικού) που συμμετέχει στο γεγονός αυτό. Στο Σχήμα 6 τα ονόματα αυτά είναι “pet-1”, “pet-2”, “april-1982” και “may-1983”. Οι πρωτότυπες δομές είναι παραπλήσιες με τα «πλαίσια». Τα «ονόματα-θήκες» χρησιμεύουν στον καθορισμό των αντικειμένων που πρέπει να περιοριστούν από μεταβλητές οπότε δίνοντας στις μεταβλητές αυτές, «τιμές» τις οποίες πρέπει αναγκαστικά να πάρουν όταν το σύστημα δεν παρέχει κάποιες άλλες τιμές γι’ αυτές τις μεταβλητές, η επεξεργασία του συστήματος μπορεί να προχωρήσει έστω και αν δεν υπάρχουν συγκεκριμένες εισοδοί σ’ αυτό. Οι τιμές αυτές είναι γνωστές σαν “default values”. Έτσι στο Σχήμα 7 η σχέση “to” έχει πάρει την τιμή “default:now”, η οποία πρέπει να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση απουσίας συγκεκριμένης πληροφορίας για το μέχρι πότε εργάστηκε στην εταιρεία ο εργαζόμενος.



Σχήμα 7: Σημασιολογικό Δίκτυο γύρω από το πρωτότυπο γεγονός “EVENT”

Μία από τις δυσκολίες που παρουσιάζονται κατά τη χρήση των σημασιολογικών δικτύων είναι η παράσταση της ποσοτικοποίησης. Ένας τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος αυτού είναι

να διαμερίσουμε το σημασιολογικό δίκτυο σε ένα ιεραρχικό σύνολο χώρων καθένας από τους οποίους αντιστοιχεί στο πεδίο δράσης μιας ή περισσότερων μεταβλητών.

Για να κατανοήσουμε τον τρόπο αυτό ας θεωρήσουμε το σημασιολογικό δίκτυο του Σχήματος 8 που παριστάνει την πρόταση

“The dog bit the milkman”

(Ο σκύλος δάγκωσε τον γαλατά)

Οι γενικοί κόμβοι (τύποι) “dog”, “bite” και “milkman” παριστάνουν τις κατηγορίες των «σκύλων», «δαγκωμάτων» και «γαλατάδων», αντίστοιχα, ενώ οι κόμβοι <D>, και <M> παριστάνουν έναν συγκεκριμένο σκύλο, ένα συγκεκριμένο δάγκωμα και έναν συγκεκριμένο γαλατά. Το γεγονός που εκφράζει η πρόταση αυτή παριστάνεται με ένα συνηθισμένο δίκτυο χωρίς διαμερισμό.

Τώρα ας θεωρήσουμε την ποσοτικοποιημένη πρόταση

$\forall(X)\text{dog}(X) \rightarrow \{\exists(Y)\text{milkman}(Y) \& \text{bite}(X, Y)\}$

Για να την παραστήσουμε με σημασιολογικό δίκτυο πρέπει να κωδικοποιήσουμε το πεδίο δράσης της καθολικά ποσοτικοποιημένης μεταβλητής X. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας διαμερισμό του δικτύου όπως δείχνει το Σχήμα 8β.

Ο κόμβος <G> είναι μια ειδική περίπτωση της κατηγορίας των γενικών προτάσεων (γ.π.) σχετικά με τον κόσμο και έχει δύο χαρακτηριστικές ιδιότητες, τη μορφή που δηλώνει την ειδική σχέση που διατυπώνεται, και μία σύνδεση \forall για κάθε μία καθολικά ποσοτικοποιημένη μεταβλητή. Εδώ έχουμε μόνο μία τέτοια μεταβλητή την <D> που παριστάνει κάθε στοιχείο της κατηγορίας “dogs”. Οι άλλες δυο μεταβλητές μέσα στη “form” δηλαδή οι και <M> θεωρούνται πάντα σαν ποσοτικοποιημένες με το σύμβολο ύπαρξης \exists . Έτσι το δίκτυο του σχήματος 8β εκφράζει ότι, για κάθε σκύλο <D>, υπάρχει ένα συμβάν δαγκώματος και ένας γαλατάς <M>, έτσι ώστε κατά το γεγονός , <D> είναι ο επιτιθέμενος και <M> είναι το θύμα.

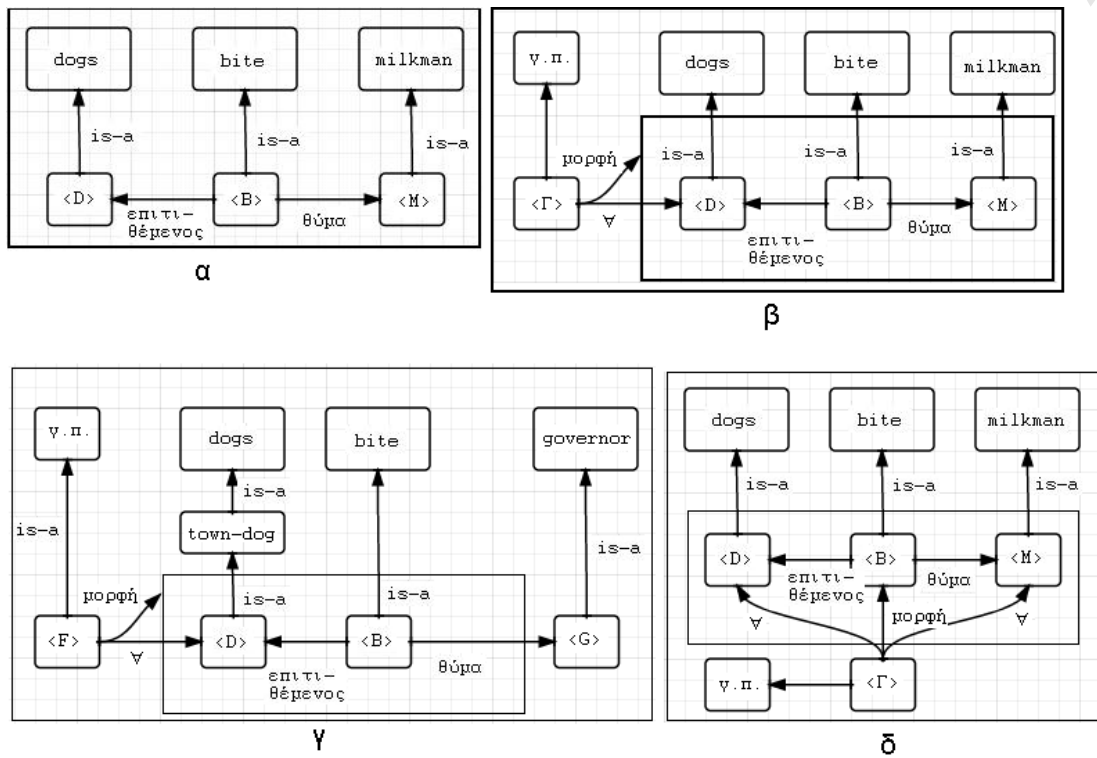
Δύο άλλα παραδείγματα καθολικής ποσοτικοποίησης δίνονται στα σχήματα 8γ και 8δ που παριστάνουν τα γεγονότα

“Every dog in town has bitten the Governor”

“Every dog has bitten every milkman”

Στην πρώτη ο δειγματικός κόμβος <G> βρίσκεται έξω από τον χώρο Σ1 και δε θεωρείται ποσοτικοποιημένος με το \exists γιατί το <G> είναι μία μεταβλητή της οποίας η τιμή δεν εξαρτάται από την τιμή της <D>.

Αντίθετα στη δεύτερη, τόσο η μεταβλητή <D> όσο και η <M> πρέπει να ποσοτικοποιηθούν με το σύμβολο \forall όπως δείχνει το σχήμα 8δ.



Σχήμα 8: Χρήση του διαμερισμού στα Σημασιολογικά Δίκτυα

Κεφάλαιο 2ο Γλώσσες Τεχνητής Νοημοσύνης

2.1.Οι Γλώσσες LISP και PROLOG της Τεχνητής Νοημοσύνης

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζουμε σε συντομία τις δυο παραδοσιακές γλώσσες της τεχνητής νοημοσύνης και των έμπειρων συστημάτων, δηλαδή την Αμερικάνικη γλώσσα LISP(List Processing) και την Ευρωπαϊκή γλώσσα PROLOG (Programming in Logic). Η γλώσσα LISP αναπτύχθηκε από τον McCarthy στις αρχές της δεκαετίας του 1960, σε μια εποχή όπου ήταν διαθέσιμες πολύ λίγες γλώσσες υψηλού επιπέδου και μάλιστα σε νηπιακή μορφή. Τότε είχε αρχίσει να εξαπλώνεται η γλώσσα FORTRAN II, η ALGOL 60 ήταν στη διαδικασία του ορισμού της και η BASIC δεν υπήρχε. Από την εποχή αυτή έλαβαν χώρα σημαντικές εξελίξεις σε όλες αυτές τις γλώσσες, η LISP όμως παρέμεινε ουσιαστικά αμετάβλητη, όπως χαρακτηριστικά ανέφερε πρόσφατα ο McCarthy. Η γλώσσα PROLOG αναπτύχθηκε στην Ευρώπη από τους Kowalski (1974), Roussel (1975) και Perreira (1978). Αρχικά η PROLOG υιοθετήθηκε στην Ιαπωνία ως η βάση του καλούμενου προγράμματος πέμπτης γενιάς ("Fifth Generation Project") του οποίου ο κύριος στόχος ήταν θεμελιώδης εργασία στο υλικό και λογισμικό για προχωρημένες βάσεις δεδομένων. Το πρώτο προϊόν του προγράμματος αυτού δόθηκε το 1984 και ήταν ένας σταθμός εργασίας βασισμένος στην PROLOG και μια παράλληλη μηχανή βασισμένη στην PROLOG¹⁶.

2.1.1.Γλώσσα LISP

Η γλώσσα LISP είναι διαθέσιμη σε όλους σχεδόν τους υπολογιστές μεγάλους, μίνι και προσωπικούς. Πενήντα χρόνια μετά την ανάπτυξή της παραμένει μια από τις ισχυρότερες γλώσσες για προβλήματα και εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης.

Ο πυρήνας της LISP αποτελείται από το άτομο και τη λίστα. Ένα άτομο αναπαρίσταται με μια αλυσίδα χαρακτήρων όπως:

FOUR, WHITE, GEORGE, C6H5OH

ή ακόμα

ACETYL-SALCYLIC-ACID

Το άτομο παρέχει ένα βασικό αδιαίρετο τμήμα πληροφορίας, γεγονός στο οποίο οφείλεται το όνομά του. Ομάδες τμημάτων πληροφορίας ή πιο σύνθετη πληροφορία ορίζονται ως λίστες.

Λίστα είναι κάθε αντικείμενο (παράσταση) της LISP το οποίο αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Μια παρένθεση ανοίγματος
- Ένα ή περισσότερα αντικείμενα τα οποία διαχωρίζονται με ένα ή περισσότερα διαστήματα
- Μια παρένθεση κλεισίματος

Για παράδειγμα:

(WHITE)

(1 PLUS 3 = 4)

Τα αντικείμενα που περιέχονται σε μια λίστα ονομάζονται όροι της λίστας και μπορεί να είναι άτομα ή λίστες. Για παράδειγμα:

((A SPHERE) (IS (A SPHERE)) (IS(A SPHERE)))

ή

¹⁶ Γ. Μητακίδης (σε συνεργασία με Α. Συναχοπούλου-Σβάρνα), Από τη Λογική στο Λογικό Προγραμματισμό και την Prolog, Εκδόσεις Καρδαμίτσα, 1992

(3 (FIRST ODD NUMBER (NOT PERFECT)))
 (ENGLISH(THREE))
 (PLUS 1 2)

Η πρώτη λίστα περιέχει τρεις όρους, από τους οποίους ο πρώτος είναι η λίστα (A SPHERE) και ο καθένας από τους άλλους δύο όρους είναι η λίστα (IS (A SPHERE)).

Η κενή λίστα δεν περιέχει κανένα όρο (ούτε και τον εαυτό της) και συμβολίζεται με (). Η λίστα (()) είναι μη κενή λίστα γιατί περιέχει τον όρο () δηλαδή τον όρο κενή λίστα. Ο πίνακας περιεχομένων ενός βιβλίου είναι μια λίστα που περιέχει ως όρους τα κεφάλαια. Κάθε κεφάλαιο είναι επίσης μια λίστα που περιέχει ως όρους τις παραγράφους, κόκ¹⁷.

Για να χειριστούμε τα αντικείμενα (άτομα ή λίστες) της LISP εισάγουμε τις ακόλουθες βασικές (απλές, πρωτόγονες) συναρτήσεις: First, Rest, Insert, Atom, Null, Eq.

Για να ορίσουμε τις συναρτήσεις αυτές (δηλαδή τι κάνουν και πού εφαρμόζονται) χρησιμοποιούμε τον όρο 'Sexpression' που είναι συντομογραφία του 'Symbolic Expression' ο οποίος μπορεί να είναι ένα άτομο ή μια λίστα. Έτσι, έχουμε τη γενική εντολή:

SEXP = LIST ∪ ATOM

όπου LIST είναι μια συλλογή από λίστες, ATOM είναι μια συλλογή από άτομα και αντίστοιχα SEXP είναι μια συλλογή από παραστάσεις της LISP. Προφανώς, LIST-{()} είναι μια συλλογή από λίστες εκτός από την κενή λίστα, δηλαδή μια συλλογή από μη κενές λίστες.

Η γλώσσα LISP βασίζεται σε τρεις δομικούς ορισμούς:

1. Τα προγράμματα της LISP παριστάνονται με λίστες
2. Οι λογικές τιμές tt (αληθής) και ff (ψευδής) παριστάνονται με τα άτομα T και NIL, αντίστοιχα
3. Η κενή λίστα () μπορεί να αναγνωριστεί ως το άτομο NIL

Με βάση τους ορισμούς 2 και 3, το σύμβολο NIL μπορεί να θεωρηθεί ταυτόχρονα ως:

- Κάποιο άτομο ονομαζόμενο NIL
- Η κενή λίστα
- Η λογική τιμή «ψευδής»

Με βάση τον ορισμό 1 έχουμε τα ακόλουθα:

- Η συνάρτηση $f(x)$ γράφεται στη LISP ως η λίστα (f, x).
- Η $g(x, y)$ γράφεται στη LISP ως (g x y).
- Η $g(x, h(y))$ γράφεται στη LISP ως (f(g x (h y))).

Στη LISP γράφουμε:

- Αντί του $x+y$ το (+x y)
- Αντί του $3x+1$ (+(*3 x) 1)
- Αντί του $\sin(3x + \pi/3)$ το (SIN(+(*3 x)/(PI 3)))

Όπου το άτομο + παριστά την πρόσθεση και το άτομο SIN παριστά την τριγωνομετρική συνάρτηση του ημιτόνου.

Αφού σύμφωνα με το δομικό ορισμό 1 κάθε πρόγραμμα παριστάνεται με μία λίστα, είναι φυσικό να κινδυνεύει κάθε λίστα να θεωρηθεί ως ένα πρόγραμμα, Έτσι, εάν θέλουμε να προσδιορίσουμε τον πρώτο όρο της λίστας

(INSERT' A'(WHITE))

γράφοντας

(FIRST (INSERT' A'(WHITE)))

¹⁷ J. Ferber, Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence, Addison-Wesley, 1995

θα πάρουμε το άτομο A και όχι το άτομο INSERT που θέλουμε. Αυτό αποφεύγεται αν κάθε αντικείμενο του οποίου προηγείται μια απόστροφος/ εισαγωγικό/ QUOTE (') θεωρηθεί ως έκφραση και όχι ως πρόγραμμα.

Με βάση την συμφωνία αυτή στο προηγούμενο παράδειγμα γράφουμε:

```
(FIRST'(INSERT' A'(ROSE)))
```

οπότε τώρα παίρνουμε το άτομο INSERT που θέλουμε.

Ομοίως, η τιμή του

```
(INSERT' ATOM (INSERT'T'( )))
```

είναι η λίστα (ATOM T) η οποία είναι ένα πρόγραμμα με τιμή το άτομο T. Σημειώνουμε ότι το 'έκφραση δεν είναι παρά μια τυπογραφική παραλλαγή του:

(ΑΠΟΣΤΡΟΦΟΣ έκφραση), όπου η έκφραση παριστά οποιοδήποτε αντικείμενο της LISP. Έτσι, το πρόγραμμα (QUOTE(WHITE)) επιστρέφει (δίνει έξοδο) τη λίστα (WHITE) και μπορεί επίσης να γραφτεί ως (WHITE). Ομοίως, η τιμή (έξοδος) του προγράμματος (QUOTE (ATOM 'A)) είναι (ATOM 'A) ή σε μη συνεκτική γραφή (ATOM (QUOTE A)). Η τιμή του προγράμματος (QUOTE QUOTE) είναι το άτομο QUOTE, το οποίο σε καμία περίπτωση δε μπορεί να γραφτεί ως μια απλή απόστροφος γιατί η απόστροφος γράφεται πάντοτε μπροστά από μια έκφραση και δεν χρησιμοποιείται ποτέ μόνη της. Η χρήση των συναρτήσεων CAR, CDR ΚΑΙ CONS αντί για τις FIRST, REST και INSERT αποσαφηνίζεται με τα εξής:

- Το πρόγραμμα (CAR'(ONE TWO THREE)) δίνει έξοδο ONE
- Το πρόγραμμα (CDR'(FOUR FIVE)) δίνει έξοδο (FIVE)
- Το πρόγραμμα (CONS'ONE'(1)) δίνει έξοδο (ONE1)

Επειδή τα ονόματα CAR και CDR διαφέρουν μόνο σε ένα γράμμα, κατά την συγγραφή προγραμμάτων LISP με μεγάλες ακολουθίες από CAR και CDR μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε συντομευμένες μορφές.

Ανεξάρτητα από τον υπολογιστή που χρησιμοποιείται όταν κληθεί η γλώσσα LISP που είναι φορτωμένη σ' αυτόν παίρνουμε ένα μήνυμα όπως:

```
LISP 1.5 IS USED AGAIN
```

```
?
```

Η πρώτη γραμμή δίνει τα στοιχεία της LISP που υπάρχει στον υπολογιστή και το ερωτηματικό στη δεύτερη γραμμή υποδηλώνει ότι από δω και στο εξής ο διερμηνέας της LISP είναι στη διάθεσή μας¹⁸. Εδώ θεωρούμε ότι οι εκφράσεις εισάγονται σε μια γραμμή του προγράμματος ξεκινώντας με ένα ερωτηματικό (?), ενώ οι απαντήσεις λαμβάνονται πηδώντας στην επόμενη γραμμή και ξεκινώντας στην τέταρτη στήλη. Έτσι έχουμε

```
?CAR'(A BOX)
```

```
  A
```

```
?
```

Η απάντηση (έξοδος) A λαμβάνεται αμέσως. Το ερωτηματικό που ακολουθεί δείχνει ότι η LISP είναι έτοιμη να δεχτεί ξανά μια νέα μορφή. Έτσι, έχουμε το ακόλουθο πρόγραμμα

```
?(CAR (CAR'((ONE)NIL)))
```

```
  ONE
```

```
?(CAAR (QUOTE(
```

```
? (ONE
```

```
? ) ( )
```

```
? ) )
```

```
? )
```

¹⁸ Walker, Adrian et al. (1990). Knowledge Systems and Prolog. Addison-Wesley

ONE

?

?ONE

ONE

Το πρόγραμμα αυτό δείχνει ότι οι εισαγόμενες εκφράσεις στη LISP μπορούν να γραφτούν σε ελεύθερη μορφή σε μια ή περισσότερες γραμμές. Τα πλεονάζοντα διαστήματα όπου υπάρχουν δεν παίζουν κανένα ρόλο. Οι παρενθέσεις κλεισίματος μπορούν να τεθούν σε όσες νέες γραμμές θέλουμε. Το παρακάτω πρόγραμμα δείχνει πως μπορούμε να κάνουμε αριθμητικές πράξεις.

?(+1 2)

3

?(+1 2 3 4 5)

15

?(*2 (/5 3)(-4 3))

2

? (*2 3.14159)

6.28318

2.1.2.Γλώσσα PROLOG

Οι τυπικές γλώσσες προγραμματισμού αρχίζουν συνήθως με μεγάλες συλλογές «ιδιοτήτων (ή ικανοτήτων)». Η γλώσσα LISP ξεκίνησε με απλές μορφές και έχει αναπτυχθεί σε σημείο στο οποίο μοιάζει με τυπική φυσική γλώσσα. Η δύναμη της γλώσσας Prolog δεν οφείλεται σε μια μεγάλη λίστα ιδιοτήτων αλλά στη δομή της η οποία βασίζεται στη λογική. Σήμερα στη γλώσσα Prolog έχουν προστεθεί και ιδιότητες μέσω του λειτουργικού συστήματος, αλλά ο λογικός πυρήνας είναι αρκετός για καθολική εφαρμογή της. Η Prolog έχει διαδικαστικά και μη διαδικαστικά χαρακτηριστικά. Αντί να γράψουμε μια διαδικασία με κάποια ρητή ακολουθία βημάτων, γράφουμε ένα δηλωτικό σύνολο γεγονότων, κανόνων και καταστατικών σχέσεων¹⁹. Έτσι, λόγω της δηλωτικής μορφής της δε μπορούμε να εφαρμόσουμε συνήθεις τεχνικές γραφής του κώδικα και των διαγραμμάτων ροής του προγράμματος. Οι κανόνες της Prolog εκτελούνται από μια ενδογενή συλλογιστική μηχανή που δεν επιβάλλει μια σειρά εκτέλεσης. Σε αντίθεση με τη γραμμική ροή μέσω συνήθων διαδικασιών, οι κανόνες της Prolog εκτελούνται με ανίχνευση επιστροφής προς τα πίσω. Το σύνολο των χαρακτηριστικών που έχει η Prolog είναι το ακόλουθο²⁰:

- Κατηγορήματα που εκφράζουν σχέσεις μεταξύ οντοτήτων
- Μια μέθοδο ορισμού των κατηγορημάτων μέσω διατύπωσης γεγονότων και κανόνων
- Μια μέθοδο διατύπωσης ερωτήσεων ή έναρξης υπολογισμών μέσω καθορισμού στόχων
- Δομές δεδομένων που μπορούν να προσομοιώσουν εγγραφήματα τύπου Pascal ή λίστες τύπου LISP
- Έναν προσαρμοστή προτύπων ο οποίος κτίζει και αναλύει τις δομές δεδομένων
- Ένα σύνολο από ενσωματωμένα κατηγορήματα για αριθμητικούς υπολογισμούς και υπηρεσίες εισόδου/εξόδου

Τα χαρακτηριστικά αυτά δίνουν μία γλώσσα που είναι καθολική υπό την έννοια ότι μπορεί να προσομοιώσει τη μηχανή Turing που είναι η πιο γενική μηχανή υπολογισμού που υπάρχει. Θεμελιακά, η γλώσσα Prolog μπορεί να υπολογίσει οτιδήποτε μπορεί να υπολογιστεί από

¹⁹ Σπύρος Γ. Τζαφέστας, Έμπειρα Συστήματα και Εφαρμογές, ΑΘΗΝΑ 2005

²⁰ Walker, Adrian et al. (1990). Knowledge Systems and Prolog. Addison-Wesley

οποιαδήποτε άλλη γλώσσα προγραμματισμού αλλά με τελείως διαφορετικό τρόπο. Για πολύπλοκα προβλήματα συλλογισμού η Prolog είναι τυπικά η πιο κατάλληλη γλώσσα²¹.

Η γλώσσα Prolog στηρίζεται στην κατηγορική λογική και συνεπώς τα γεγονότα εκφράζονται με τη βοήθεια κατηγορημάτων και ορισμάτων όπως σε αυτή, πχ:

odd(5): Το 5 είναι περιττός αριθμός

married (george, ann): ο Γιώργος είναι συζευγμένος με την Άννα

φιλόσοφος (σωκράτης) : ο Σωκράτης είναι φιλόσοφος

Ορίσματα και γενικά λέξεις που αρχίζουν με κεφαλαίο γράμμα παριστούν μεταβλητές, ενώ λέξεις που αρχίζουν με μικρό (πεζό) γράμμα παριστούν σταθερές. Μια ακολουθία από χαρακτήρες που ξεκινάει με κεφαλαίο γράμμα ή περιέχει κενά ή σημεία στίξης μπορεί να θεωρηθεί ως μια σταθερά αλυσίδας περικλείοντάς την μέσα σε εισαγωγικά, πχ, η “June 15, 1986” είναι μια σταθερά αλυσίδας. Εάν ένα άτομο ξεκινάει με γράμμα και δεν περιέχει κανένα κενό ή ειδικό χαρακτήρα τότε δε χρειάζονται τα εισαγωγικά. Εκτός από τις μεταβλητές που ξεκινάνε με κεφαλαίο γράμμα, η Prolog υποστηρίζει και ανώνυμες μεταβλητές που παριστάνονται με έναν αστερίσκο *. Ο αστερίσκος είναι αληθινά μια μεταβλητή γιατί κάθε φορά που εμφανίζεται μπορεί να έχει διαφορετική τιμή. Τα κατηγορήματα μπορούν να οριστούν με δύο τρόπους²²:

a) Με μια πλήρη λίστα όλων των γεγονότων στα οποία λαβαίνουν χώρα

b) Με γενικούς κανόνες που καθορίζουν πότε ισχύουν ή όχι (την αλήθειά τους).

Έτσι τα κατηγορήματα child, male και female, ορίζονται ως

child (oidipous, iokaste) male (laios)

child (oidipous, laios) male (eteokles)

child (antigone, iokaste) male (oidipous)

child (antigone, oidipous) male (polyneikes)

child (eteokles, iokaste)

child (eteokles, oidipous) female (iokaste)

child (polyneikes, iokaste) female (antigone)

child (polyneikes, oidipous)

Το κατηγορήμα married είναι συμμετρικό, δηλαδή, εάν ο X είναι παντρεμένος με την Y, τότε η Y είναι παντρεμένη με τον X. Συνεπώς για κάθε γάμο πρέπει να γράψουμε δύο γεγονότα, ένα για κάθε σειρά των ορισμάτων. Έτσι έχουμε

married (laios, iokaste)

married (iokaste, laios)

married (oidipous, iokaste)

married (iokaste, oidipous)

Έχοντας ορίσει τα τέσσερα αυτά κατηγορήματα με λίστες γεγονότων, όλες οι άλλες οικογενειακές σχέσεις μπορούν να οριστούν με κανόνες. Έτσι, λ.χ., έχουμε

parent (P, C):-child (C, P)

όπου το σύμβολο “:-” συμβολίζει το EAN και πολλές φορές γράφεται με το αντίστροφο βέλος “←”.

²¹ Ι. Βλαχάβας, Π. Κεφαλάς, Ν. Βασιλειάδης, Φ. Κόκκορας, Η. Σακελλαρίου. Τεχνητή Νοημοσύνη – Γ΄ Έκδοση, Έκδοση Πανεπιστημίου Μακεδονίας, 2011

²² A.J. Gonzalez και D.D. Dankel, The Engineering of Knowledge-Based Systems: Theory and Practice, Prentice-Hall, 1993

Τα γεγονότα και οι κανόνες βρίσκονται στο χώρο εργασίας της Prolog, αλλά δε λαβαίνει χώρα καμία δράση μέχρι που να καθορισθεί ένας στόχος. Ένας απλός στόχος μοιάζει με ένα γεγονός ή με ένα κανόνα χωρίς υποθέσεις. Η διαφορά δείχνεται με τη χρήση του. Έτσι το άνθρωπος (σωκράτης) μπορεί να εισαχθεί στη βάση γνώσης ως γεγονός ή ως ερώτηση (στόχος) “είναι άνθρωπος ο Σωκράτης?”. Με βάση την αρχή της απόφασης η ερώτηση ?-A γίνεται $\sim A$. Επειδή δε το $\sim A \vee B$ είναι ίδιο με $A \rightarrow B$ (ή $B :- A$) τότε το $\sim A$ είναι²³:

$A \rightarrow (ή :-) A$

Έτσι μια ερώτηση στην Prolog γράφεται:

$:-A$

Επειδή συνήθως τα γεγονότα και οι κανόνες φορτώνονται από ένα αρχείο, η είσοδος άνθρωπος (σωκράτης) από ένα αρχείο διερμηνεύεται ως ένα γεγονός. Όμως η είσοδος άνθρωπος (σωκράτης) εισαγόμενη από τερματικό διερμηνεύεται ως στόχος.

Οι στόχοι μπορούν να περιέχουν μεταβλητές. Έτσι ο στόχος άνθρωπος (X) ζητάει από το σύστημα να βρει κάποιον άνθρωπο και να τον συνδέσει με τη μεταβλητή X. Έστω π.χ. ότι στη βάση γεγονότων έχουμε:

άνθρωπος (σωκράτης)

έλληνας (σωκράτης)

άνθρωπος (κικέρωνας)

ρωμαίος (κικέρωνας)

άνθρωπος (βολταίρος)

γάλλος (σωκράτης)

Τότε στην ερώτηση άνθρωπος (X) το σύστημα κοιτάζει για το πρώτο γεγονός που ταιριάζει στον στόχο, εδώ το γεγονός άνθρωπος (σωκράτης) και θα αποδώσει στη μεταβλητή X την τιμή σωκράτης. Οι άλλες πιθανές τιμές κικέρωνας και βολταίρος αγνοούνται, εκτός εάν για κάποιο λόγο το σύστημα πρέπει να επιστρέψει για να βρει κάποια άλλη τιμή της μεταβλητής X. Η λειτουργία της επιστροφής εξηγείται ως εξής. Έστω ότι έχουμε το σύνθετο στόχο:

(άνθρωπος (X) & ρωμαίος (X))

Όπως προηγουμένως, το σύστημα αποδίδει πρώτα στο X την τιμή σωκράτης. Στην συνέχεια προσπαθεί να βρει μια προσαρμογή για το ρωμαίος (σωκράτης), πράγμα που δεν το πετυχαίνει. Γι' αυτό το σύστημα επιστρέφοντας ψάχνει ξανά να βρει ένα άλλο ταίριασμα του στόχου άνθρωπος (X) και βρίσκει την τιμή κικέρωνας. Τώρα με την τιμή αυτή ο στόχος ρωμαίος (X) ικανοποιείται και συνεπώς το σύστημα στην ερώτηση άνθρωπος (X) & ρωμαίος (X)? απαντάει με την τιμή X=κικέρωνας.

Οι στόχοι διακρίνονται σε τρεις τύπους

- Στόχοι επαλήθευσης
- Στόχοι ανεύρεσης
- Στόχοι εκτέλεσης

Η Prolog είναι μια συσχετιστική γλώσσα σε αντίθεση με τη LISP που είναι μια συναρτησιακή γλώσσα. Στη LISP, οι συναρτήσεις δέχονται ορίσματα εισόδου και υπολογίζουν τα αποτελέσματα. Όμως, στην Prolog μόνο τα κατηγορήματα υπολογίζουν αποτελέσματα. Αυτό αποσαφηνίζεται με το εξής παράδειγμα. Έστω ότι έχουμε να υπολογίσουμε την αριθμητική έκφραση $(A+B)/(A-B)$. Στη γλώσσα LISP γράφουμε $((+A B) (-A B))$. Εδώ τα + και - είναι συναρτήσεις που δέχονται τις τιμές των A και B ως εισόδους και δίνουν τα αποτελέσματα ως εισόδους στην συνάρτηση '/. Στη γλώσσα Prolog, η έκφραση υπολογίζεται με μια ακολουθία κατηγορημάτων.

άθροισμα (A,B,ΠΜ1)&διαφορά(A,B,ΠΜ2)&πηλίκο(ΠΜ1,ΠΜ2,ΠΜ3)

²³ Γ. Μητακίδης (σε συνεργασία με Α. Συναχοπούλου-Σβάρνα), Από τη Λογική στο Λογικό Προγραμματισμό και την Prolog, Εκδόσεις Καρδαμίτσα, 1992

Εδώ η Prolog χρησιμοποιεί τις προσωρινές μεταβλητές ΠΜ1 και ΠΜ2 για να κρατήσει το άθροισμα (A+B) και τη διαφορά (A-B), αντίστοιχα. Το κατηγορήμα πηλίκιο χρησιμοποιεί τις τιμές αυτές των ΠΜ1 και ΠΜ2 και υπολογίζει μια νέα τιμή για την προσωρινή μεταβλητή ΠΜ3. Στις περισσότερες περιπτώσεις υλοποίησης της Prolog χρησιμοποιείται το σύμβολο ":@" που είναι ένας τελεστής ο οποίος ενεργοποιεί τον υπολογισμό. Έτσι για τον υπολογισμό της παραπάνω αριθμητικής έκφρασης γράφουμε

$X:=(A+B) / (A-B)$

Στην Prolog οι τελεστές + και - παριστούν απλά δομές δεδομένων που υπολογίζονται με τους κανόνες για το :=. Στις άλλες γλώσσες οι τελεστές + και - υπολογίζουν άμεσα το αποτέλεσμα. Η διαφορά αυτή δεν έχει σημασία για τον προγραμματιστή που γράφει προγράμματα υπολογισμού αριθμητικών εκφράσεων.

Στην καθαρή Prolog, κάθε κατηγορήμα ορίζεται με μια λίστα κανόνων και γεγονότων και είναι αρκετά πλούσια για να μπορούν να οριστούν όλες οι υπολογίσιμες συναρτήσεις χωρίς καθόλου εμφυτευμένα ειδικά κατηγορήματα. Όμως για καλύτερη συμπεριφορά στους αριθμητικούς υπολογισμούς, το χειρισμό αλυσίδων, για αύξηση της ευελιξίας του προγραμματισμού και για καλύτερη πρόσβαση σε εξωτερικά μέσα και στο λειτουργικό σύστημα, χρησιμοποιούνται διάφορα ενσωματωμένα κατηγορήματα. Για παράδειγμα, ένα τέτοιο κατηγορήμα είναι το factorial (N, X) του οποίου το δεύτερο όρισμα X είναι το παραγοντικό του πρώτου ορίσματος N.

Η συλλογιστική μηχανή της Prolog έχει δυο βασικές διαδικασίες:

- Έναν επεξεργαστή στόχων
- Έναν επεξεργαστή κανόνων

Οποιοσδήποτε διερμηνέας της Prolog έχει ένα πρακτικό κώδικα που εκτελεί κάθε μία από τις διαδικασίες αυτές. Όμως, ένας βελτιστοποιημένος μεταγλωττιστής μπορεί να έχει κατάλληλες συντομεύσεις για την ελαχιστοποίηση του χρόνου εκτέλεσης. Ο επεξεργαστής στόχων και ο επεξεργαστής κανόνων καλούν ο ένας τον άλλον. Δηλαδή ο επεξεργαστής στόχων μπορεί κατά την εκτέλεση ενός στόχου να χρησιμοποιεί κανόνες και αντίστροφα. Η συλλογιστική μηχανή της Prolog βασίζεται στην αναζήτηση κατά βάθος η οποία στις περισσότερες περιπτώσεις γίνεται από αριστερά²⁴.

²⁴ Δουκίδης, Γεώργιος Ι, Έμπειρα Συστήματα, τεχνητή νοημοσύνη και LISP, Εκδόσεις Ι. Σιδέρης, 1998

Κεφάλαιο 3ο Είδη Σημασιολογικών Δικτύων

Ένα σημασιολογικό δίκτυο είναι μια γραφική παράσταση για την αναπαράσταση της γνώσης σε μορφές διασυνδεδεμένων κόμβων και τόξων. Οι υλοποιήσεις πληροφορικής των σημασιολογικών δικτύων αναπτύχθηκαν για πρώτη φορά για την τεχνητή νοημοσύνη και τη μετάφραση μηχανών, αλλά παλαιότερες εκδόσεις χρησιμοποιούνταν πολύ στη φιλοσοφία, την ψυχολογία και τη γλωσσολογία.

Αυτό που είναι κοινό σε όλα τα σημασιολογικά δίκτυα είναι η δηλωτική γραφική παράσταση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για την αναπαράσταση της γνώσης ή για την υποστήριξη αυτοματοποιημένων συστημάτων για συλλογιστική σχετικά με τη γνώση. Ορισμένες εκδόσεις είναι πολύ ανεπίσημες, αλλά άλλες είναι επίσημα ορισμένα συστήματα λογικής²⁵.

1. Τα **εννοιολογικά δίκτυα** δίνουν έμφαση στην υποκατηγορία ή την σχέση *is-a* ανάμεσα στον τύπο μιας έννοιας και μια νέα ορισμένη υποκατηγορία. Το δίκτυο που προκύπτει υποστηρίζει τον κανόνα της κληρονομικότητας για τις ιδιότητες που κληρονομούνται από μια υπερ-κατηγορία σε όλες τις υποκατηγορίες της. Καθώς οι ορισμοί είναι αληθείς εξ ορισμού, η πληροφορία σε αυτά τα δίκτυα συχνά θεωρείται κι αυτή αληθής.
2. Τα **υποστηρικτικά δίκτυα** έχουν σχεδιαστεί για να ισχυρίζονται προτάσεις. Αντίθετα με τα εννοιολογικά δίκτυα, η πληροφορία σε ένα υποστηρικτικό δίκτυο είναι ενδεχομένως αληθής. Μερικά υποστηρικτικά δίκτυα έχουν προταθεί ως μοντέλα για εννοιολογικές δομές που βασίζονται στην σημασιολογία φυσικών γλωσσών.
3. Τα **επαγωγικά δίκτυα** χρησιμοποιούν την επαγωγή ως την πρωτόγονη σχέση για την σύνδεση των κόμβων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναπαράσταση προτύπων πεποιθήσεων, αιτιοτήτων, ή συμπερασμάτων.
4. Τα **εκτελέσιμα δίκτυα** περιέχουν κάποιους μηχανισμούς που μπορούν να εκτελέσουν συμπεράσματα, να μεταδώσουν μηνύματα ή να ψάξουν για πρότυπα ή συσχετίσεις.
5. Τα **μαθησιακά δίκτυα** χτίζουν ή επεκτείνουν τις αναπαραστάσεις τους ανακτώντας γνώση από παραδείγματα. Η νέα γνώση μπορεί να αλλάξει το παλιό δίκτυο προσθέτοντας και διαγράφοντας κόμβους και τόξα ή μετατρέποντας αριθμητικές τιμές που συσχετίζονται με τους κόμβους και τα τόξα.
6. Τα **υβριδικά δίκτυα** συνδυάζουν δύο ή παραπάνω από τις παραπάνω τεχνικές, είτε σε ένα ενιαίο δίκτυο, ή σε ξεχωριστά αλλά στενά διασυνδεδεμένα δίκτυα.

3.1.Εννοιολογικά Δίκτυα

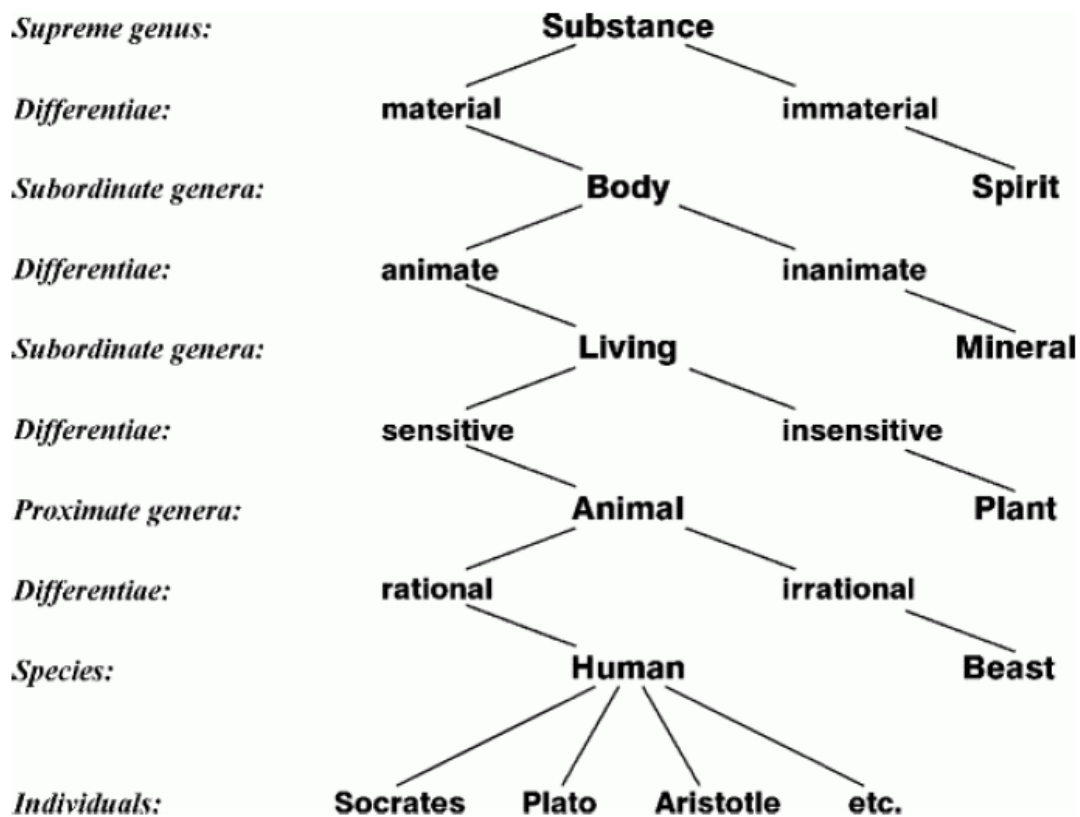
Το αρχαιότερο γνωστό σημασιολογικό δίκτυο συντάχθηκε τον 3ο μ.Χ. αιώνα από τον Έλληνα φιλόσοφο Πορφύριο στα σχόλιά του σχετικά με τις κατηγορίες του Αριστοτέλη. Ο Πορφύριος το χρησιμοποίησε για να δείξει τη μέθοδο του Αριστοτέλη για τον ορισμό κατηγοριών, καθορίζοντας το γένος ή το γενικό τύπο και τις διαφορές που διακρίνουν διαφορετικές υποκατηγορίες της ίδιας υπερ-κατηγορίας. Η Εικόνα 1 δείχνει μια έκδοση του Δέντρου του Πορφύριου. Δείχνει τις κατηγορίες κάτω από την Ουσία, η οποία ονομάζεται το ανώτατο γένος ή η πιο γενική κατηγορία²⁶.

²⁵ J. Ferber, Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence, Addison-Wesley, 1995

²⁶ G.F. Luger και W.A. Stubblefield, Artificial Intelligence: structures and strategies for complex problem solving , τρίτη έκδοση, Addison-Wesley, 1998

Παρά την παλαιότητά του, το δέντρο του Πορφύριου αναπαριστά τον κοινό πυρήνα όλων των σύγχρονων ιεραρχιών που χρησιμοποιούνται για τον ορισμό τύπων εννοιών. Ο σύγχρονος κανόνας της κληρονομικότητας είναι ειδική περίπτωση των συλλογισμών του Αριστοτέλη, που καθορίζουν τις συνθήκες κληρονομής ιδιοτήτων από υπερ-κατηγορίες σε υποκατηγορίες. Οι μέθοδοι του Αριστοτέλη για ορισμό και συλλογιστική χρησιμοποιούνται ακόμα στην τεχνητή νοημοσύνη, στις αντικειμενοστρεφείς γλώσσες προγραμματισμού και σε κάθε λεξικό από παλιά έως σήμερα.

Οι πρώτες υλοποιήσεις σημασιολογικών δικτύων χρησιμοποιήθηκαν για να ορίσουν τύπους εννοιών και πρότυπα σχέσεων για συστήματα μετάφρασης μηχανών. Ο Silvio Ceccato (1961) ανέπτυξε συσχετιστικά δίκτυα, τα οποία βασίζονταν σε 56 διαφορετικές σχέσεις, που περιλάμβαναν υποκατηγορίες, στιγμιότυπα και διάφορα είδη χαρακτηριστικών. Το σύστημα της Margaret Masterman στο Πανεπιστήμιο του Κέιμπριτζ (1961) ήταν το πρώτο που ονομάστηκε σημασιολογικό δίκτυο. Ανέπτυξε μια λίστα 100 πρωτόγονων τύπων εννοιών.



Εικόνα 1: Το Δέντρο του Πορφύριου

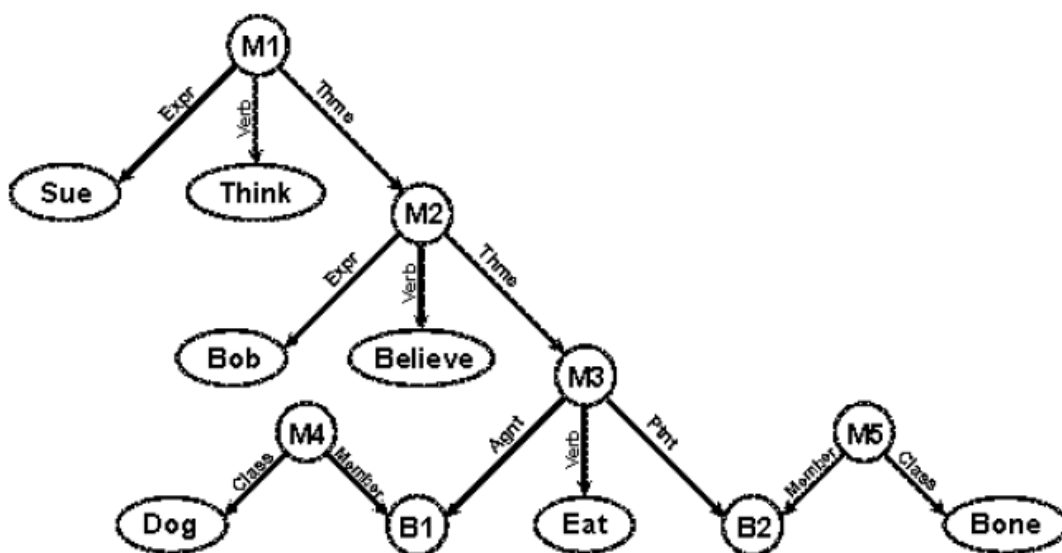
3.2. Υποστηρικτικά Δίκτυα

Το πρώτο υποστηρικτικό δίκτυο που υλοποιήθηκε στην ΤΝ ήταν το σύστημα MIND, που αναπτύχθηκε από τον Stuart Shapiro (1971). Αργότερα εξελίχθηκε στο Semantic Network Processing System (SNePS), το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί για την αναπαράσταση ενός μεγάλου εύρους χαρακτηριστικών στην σημασιολογία φυσικών γλωσσών. Η Εικόνα 2 απεικονίζει την αναπαράσταση SNePS για την πρόταση "Sue thinks that Bob believes that a dog is

eating a bone". Καθένας από τους κόμβους αναπαριστά μία διακριτή πρόταση, της οποίας το σχεσιακό περιεχόμενο επισυνάπτεται στον προτασιακό κόμβο.

Τα εννοιολογικά γραφήματα είναι μια ποικιλία προτασιακών σημασιολογικών δικτύων όπου οι σχέσεις είναι εμφωλιασμένες μέσα στους προτασιακούς κόμβους. Εξελίχθηκαν ως συνδυασμός των γλωσσολογικών χαρακτηριστικών των γραφημάτων του Tesnière και των λογικών χαρακτηριστικών των υπαρξιακών γραφημάτων του Peirce με ισχυρές επιρροές από την εργασία στην TN και την υπολογιστική γλωσσολογία²⁷.

Διαφορετικές εκδοχές προτασιακών σημασιολογικών δικτύων έχουν διαφορετικούς συντακτικούς μηχανισμούς για την συσχέτιση του σχεσιακού περιεχομένου με τους προτασιακούς κόμβους, αλλά ορίζονται επίσημοι κανονισμοί μετάφρασης για αντιστοίχιση των διαφόρων εκδοχών. Οι Peirce, Sowa, και Kamp χρησιμοποίησαν αυστηρά ένθετα προτασιακά περιβλήματα με μεταβλητές ή γραμμές. Οι Frege και Shapiro επισύναψαν τις σχέσεις στους προτασιακούς κόμβους. Ο Gary Hendrix (1975, 1979) ανέπτυξε μια τρίτη επιλογή. Διαμερισμοί που περικλείουν το σχεσιακό περιεχόμενο, αλλά με την επιλογή επικαλυπτόμενων περιβλημάτων αν έχουν κοινά στοιχεία. Επίσημως, η λύση του Hendrix είναι ισοδύναμη με αυτή του Shapiro.



Εικόνα 2: Αναπαράσταση προτάσεων σε SNePS

3.3.Επαγωγικά Δίκτυα

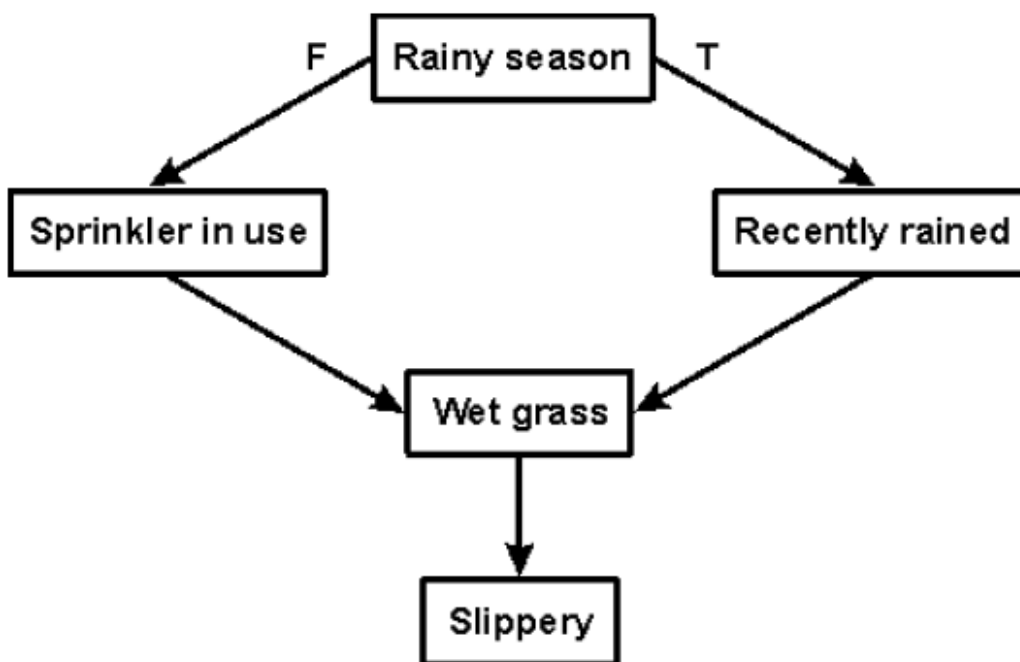
Ένα επαγωγικό δίκτυο είναι μια ειδική περίπτωση προτασιακού σημασιολογικού δικτύου όπου η κυρίαρχη σχέση είναι επαγωγή. Άλλες σχέσεις μπορεί να είναι ένθετες μέσα σε προτασιακούς κόμβους, αλλά αγνοούνται από τις διαδικασίες συμπερασμάτων. Ανάλογα με τη διερμηνεία, τέτοια δίκτυα μπορεί να ονομάζονται δίκτυα πεποιθήσεων, αιτιολογικά δίκτυα, Bayesian δίκτυα ή δίκτυα διατήρησης αλήθειας. Ορισμένες φορές το ίδιο γράφημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί με καμία ή όλες αυτές τις ερμηνείες. Η Εικόνα 3 απεικονίζει αιτίες για ολισθηρό γρασίδι. Κάθε κουτί αναπαριστά μία πρόταση και τα τόξα απεικονίζουν τις επαγωγές από τη μία πρόταση στην άλλη. Αν είναι βροχερή εποχή, το τόξο που είναι σημαδεμένο με T συνεπάγεται ότι έβρεξε πρόσφατα. Αν όχι, το τόξο που είναι σημαδεμένο με F συνεπάγεται ότι το αυτόματο πότισμα είναι σε χρήση. Για τα κουτιά που έχουν μόνο ένα τόξο προς άλλο κουτί, η αλήθεια της πρώτης

²⁷ E. Rich και K. Knight, Artificial Intelligence , δεύτερη έκδοση, McGraw-Hill, 1991

πρότασης συνεπάγεται την αλήθεια της δεύτερης, αλλά αν η πρώτη είναι ψευδής δεν προβλέπεται τίποτα για τη δεύτερη.

Ας υποθέσουμε ότι κάποιος που διασχίζει το γκαζόν γλιστράει. Η Εικόνα 3 αναπαριστά τον τύπο του γνωστικού υπόβαθρου που μπορεί να χρησιμοποιήσει το θύμα για την αιτιολόγηση του συμβάντος. Μια πιθανή αιτία ολισθηρού γρασιδιού είναι ότι το γρασίδι είναι βρεγμένο. Θα μπορούσε να είναι βρεγμένο είτε επειδή το αυτόματο πότισμα είναι σε χρήση, είτε επειδή έβρεξε πρόσφατα. Αν είναι βροχερή περίοδος, το αυτόματα πότισμα δε θα ήταν σε χρήση. Οπότε, πρέπει να είχε βρέξει.

Το είδος της αιτιολόγησης που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο μπορεί να υλοποιηθεί από διάφορα συστήματα TN. Ο Chuck Rieger (1976) ανέπτυξε μία εκδοχή αιτιολογικού δικτύου, την οποία χρησιμοποίησε για την ανάλυση περιγραφών προβλημάτων στα Αγγλικά και τη μετάφρασή τους σε ένα δίκτυο που μπορούσε να υποστηρίξει μεγαλύτερο επίπεδο αιτιολόγησης. Ο Benjamin Kuipers (1984, 1994), ισχυρά επηρεασμένος από την προσέγγιση του Rieger, ανέπτυξε μεθόδους ποιοτικής αιτιολόγησης, οι οποίοι εξυπηρετούν ως γέφυρα ανάμεσα στις συμβολικές μεθόδους της TN και τις διάφορες εξισώσεις που χρησιμοποιούνται στη φυσική και τη μηχανική. Ο Judea Pearl (1988, 2000), ο οποίος έχει αναπτύξει τεχνικές για εφαρμογή στατιστικών και πιθανοτήτων στην TN, εισήγαγε τα δίκτυα πεποιθήσεων, τα οποία είναι αιτιολογικά δίκτυα των οποίων οι σύνδεσμοι χαρακτηρίζονται από πιθανότητες²⁸.



Εικόνα 3: Ένα επαγωγικό δίκτυο για την αιτιολόγηση του ολισθηρού γρασιδιού

3.4.Εκτελέσιμα Δίκτυα

Τα εκτελέσιμα σημασιολογικά δίκτυα περιέχουν μηχανισμούς που μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στο ίδιο το δίκτυο. Οι εκτελέσιμοι μηχανισμοί τα διακρίνουν από δίκτυα που είναι δομές στατικών δεδομένων, τα οποία μπορούν μόνο να αλλάξουν μόνο με τη δράση προγραμμάτων

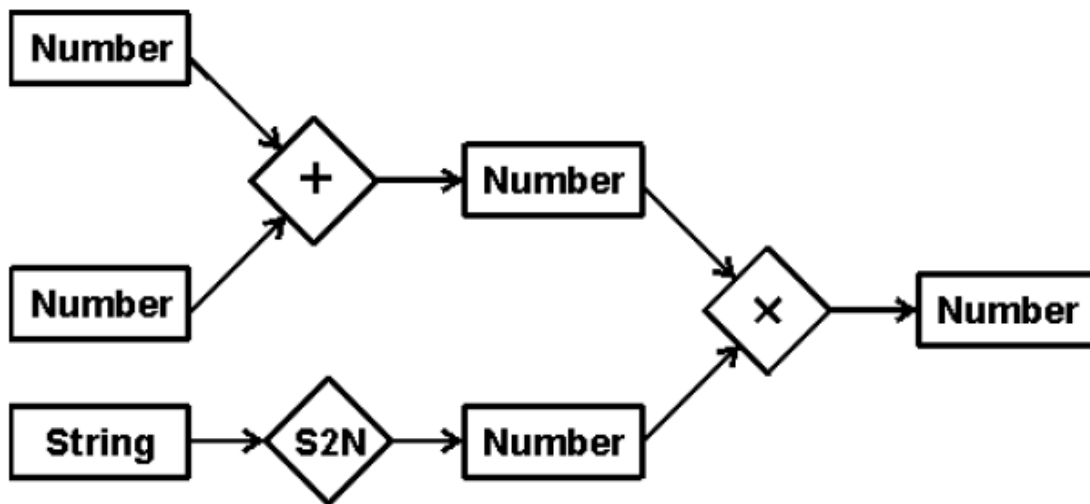
²⁸ N.J. Nilsson, Principles of Artificial Intelligence, Tioga Publishing Co, 1980

που είναι εξωτερικά στο ίδιο το δίκτυο. Τρεις τύποι μηχανισμών χρησιμοποιούνται κυρίως στα εκτελέσιμα σημασιολογικά δίκτυα:

1. Τα δίκτυα που μεταφέρουν μηνύματα μπορούν να μεταδώσουν δεδομένα από τον ένα κόμβο στον άλλο. Για μερικά δίκτυα, τα δεδομένα μπορούν να αποτελούνται από ένα bit, ενώ για άλλα μπορούν να είναι αριθμητικές τιμές ή ένα σχετικά μεγάλο μήνυμα.
2. Οι επισυναπτόμενες διαδικασίες είναι προγράμματα που περιλαμβάνονται ή συσχετίζονται με έναν κόμβο τα οποία εκτελούν κάποιο είδος ενέργεια ή υπολογισμό σε δεδομένα σε εκείνον τον κόμβο ή σε έναν κοντινό κόμβο.
3. Οι μετατροπές γραφημάτων συνδυάζουν γραφήματα, τα μετατρέπουν ή τα διασπούν σε μικρότερα. Σε τυπικές τεκμηριώσεις θεωρημάτων, τέτοιες μετατροπές εκτελούνται από ένα πρόγραμμα εξωτερικό των γραφημάτων. Όταν ενεργοποιούνται από τα ίδια τα γραφήματα συμπεριφέρονται σαν χημικές αντιδράσεις που ενώνουν μόρια ή τα διασπούν.

Αυτοί οι τρεις μηχανισμοί μπορούν να συνδυαστούν με διάφορους τρόπους. Τα μηνύματα που μεταδίδονται από τον ένα κόμβο στον άλλο μπορούν να υποστούν επεξεργασία από λειτουργίες που είναι συνδεδεμένες σε αυτούς τους κόμβους, και οι μετατροπές γραφημάτων μπορούν επίσης να ενεργοποιηθούν από τα μηνύματα που εμφανίζονται σε μερικούς από τους κόμβους.

Τα απλούστερα δίκτυα με συνδεδεμένες λειτουργίες είναι τα γραφήματα ροής δεδομένων, τα οποία περιλαμβάνουν παθητικούς κόμβους που κρατάνε δεδομένα και ενεργούς κόμβους που παίρνουν δεδομένα από κόμβους εισόδου και στέλνουν αποτελέσματα σε κόμβους εξόδου. Η Εικόνα 4 απεικονίζει ένα γράφημα ροής δεδομένων με κουτιά ως παθητικούς κόμβους και διαμάντια ως ενεργούς κόμβους. Οι ετικέτες στα κουτιά υποδεικνύουν τον τύπο δεδομένων και οι ετικέτες στα διαμάντια υποδεικνύουν το όνομα της μεθόδου.



Εικόνα 4: Γράφημα ροής δεδομένων

3.5. Μαθησιακά Δίκτυα

Ένα μαθησιακό σύστημα, φυσικό ή τεχνητό, ανταποκρίνεται στη νέα πληροφορία μετατρέποντας τις εσωτερικές αναπαραστάσεις της με έναν τρόπο που επιτρέπει στο σύστημα να ανταποκρίνεται στο περιβάλλον του πιο αποτελεσματικά. Τα συστήματα που χρησιμοποιούν αναπαραστάσεις δικτύων μπορούν να μεταποιήσουν τα δίκτυα με τρεις τρόπους:

«Παπαγαλίστικη» *μνήμη*: Η απλούστερη μορφή μάθησης είναι η μετατροπή της νέας πληροφορίας σε ένα δίκτυο και η προσθήκη της χωρίς περαιτέρω αλλαγές στο τρέχον δίκτυο.

Αλλαγή weights: Μερικά δίκτυα έχουν νούμερα, που ονομάζονται *weights*, που σχετίζονται με τους κόμβους και τα τόξα. Σε ένα επαγωγικό δίκτυο, για παράδειγμα, αυτά τα *weights* μπορεί να αναπαριστούν πιθανότητες, και κάθε συμβάν του ίδιου τύπου δικτύου θα αυξάνει την εκτιμώμενη πιθανότητα επανάληψής του.

Αναδόμηση: Η πιο πολύπλοκη μορφή μάθησης εκτελεί ριζικές αλλαγές στη δομή του ίδιου του δικτύου. Καθώς ο αριθμός και τα είδη των δομικών αλλαγών είναι απεριόριστα, η μελέτη και η ταξινόμηση των μεθόδων αναδόμησης είναι οι πιο δύσκολες, αλλά ενδεχομένως αυτές που ανταμείβουν περισσότερο αν βρεθούν καλές μέθοδοι²⁹.

3.6.Υβριδικά Δίκτυα

Πολλά υπολογιστικά συστήματα είναι υβριδικά, όπως ο συνδυασμός ενός συστήματος βάσης δεδομένων για αποθήκευση δεδομένων, ένα πακέτο γραφικών για τον έλεγχο της διεπαφής χρήστη και μια γλώσσα προγραμματισμού για λεπτομερή υπολογισμό. Για την αναπαράσταση γνώσης, το σύστημα Kγρpton ήταν ένα υβριδικό ενός εννοιολογικού δικτύου που βασιζόταν στο KL-ONE με ένα ειδικό σύστημα που χρησιμοποιούσε γραμμικό σχολιασμό για επιβολή κανόνων και γεγονότων. Σύμφωνα με τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για να καλούμε το Kγρpton υβριδικό, οι περισσότερες αντικειμενοστρεφείς γλώσσες προγραμματισμού θα μπορούσαν να θεωρηθούν υβριδικές: Η γλώσσα C++ για παράδειγμα είναι ένα υβριδικό της γλώσσας C με μια εννοιολογική γλώσσα ορισμού τύπων και κλάσεων. Τα συστήματα συνήθως ονομάζονται υβριδικά αν οι γλώσσες που τα συνιστούν έχουν διαφορετική σύνταξη. Τα εννοιολογικά γραφήματα, για παράδειγμα, περιλαμβάνουν μια συνιστώσα για ορισμό τύπων και μία που χρησιμοποιεί τους τύπους σε γραφήματα που υποστηρίζουν προτάσεις. Τα εννοιολογικά γραφήματα, όμως, δε θεωρούνται συνήθως υβριδικά επειδή η σύνταξη της εννοιολογικής συνιστώσας είναι η ίδια με την σύνταξη της υποστηρικτικής συνιστώσας.

Το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο υβριδικό πολλαπλών σημάτων δικτύου είναι η Unified Modeling Language (UML), η οποία σχεδιάστηκε από τρεις συγγραφείς, τους Grady Booch, Ivar Jacobson και Jim Rumbaugh, οι οποίοι συγχώνευσαν τις ανταγωνιστικές σημάσεις τους. Παρόλο που η UML δεν ονομάζεται συνήθως σημασιολογικό δίκτυο, οι σημάσεις του μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τις κατηγορίες των σημασιολογικών δικτύων.

²⁹ T.J.K. Bench-Capon, Knowledge Representation: An Approach to Artificial Intelligence, Academic Press, 1990

Κεφάλαιο 4ο Σημασιολογικός Ιστός

4.1.Μετάβαση στον Σημασιολογικό Ιστό

Ο Σημασιολογικός Ιστός αναφέρεται σε ένα σύνολο τεχνολογιών και μεθόδων μέσω των οποίων οι υπολογιστές είναι σε θέση να αντιλαμβάνονται τη σημασία της πληροφορίας που διαχειρίζονται. Σύμφωνα με το όραμα των εμπνευστών του Σημασιολογικού Ιστού, η προσθήκη σημασίας στην πληροφορία του Διαδικτύου θα απελευθερώσει πλήθος δυνατοτήτων για την πιο ευφυή εκμετάλλευση της πληροφορίας αυτής. Ένας χρήστης του Διαδικτύου θα μπορεί, για παράδειγμα, μεταξύ άλλων δυνατοτήτων, να πραγματοποιεί ευφυείς αναζητήσεις, να λαμβάνει δηλαδή από μια μηχανή αναζήτησης αποτελέσματα τα οποία να είναι πιο σχετικά με αυτό που πραγματικά αναζητά.

4.1.1.Ανάγκη για επέκταση του σημερινού Ιστού

Ο Παγκόσμιος Ιστός έχει αλλάξει κατά πολύ τον τρόπο με τον οποίο διαρθρώνεται πλέον η επικοινωνία μεταξύ των ανθρώπων και ειδικά τον τρόπο με τον οποίο η πληροφορία που υπάρχει διαθέσιμη ανά τον κόσμο, διαδίδεται και ανακτάται. Από την άλλη πλευρά, η αποθήκευση όγκου πληροφοριών σε βάσεις δεδομένων οδήγησε στην εμφάνιση του εξής προβλήματος: την καθιέρωση και διατήρηση της σημασιολογίας των δεδομένων που είναι αποθηκευμένα στις βάσεις δεδομένων. Αυτό το πρόβλημα σημασιολογίας δεδομένων παρέμεινε ελέγχσιμο εφόσον ελέγξιμες ήταν και οι αλλαγές που θα μπορούσαν να προκληθούν στη κάθε βάση, αφού οι πληροφορίες ήταν διαθέσιμες και μπορούσαν να αλλοιωθούν μόνο από συγκεκριμένο αριθμό ατόμων και συγκεκριμένο αριθμό εφαρμογών.

Με την εμφάνιση λοιπόν του Παγκόσμιου Ιστού το τοπίο αυτό άλλαξε. Αμέτρητοι πλέον χρήστες και εφαρμογές μπορούν και έχουν πρόσβαση στις βάσεις δεδομένων που είναι διαθέσιμες στον Ιστό. Υπό αυτές τις συνθήκες, η σημασιολογία κάθε πληροφορίας πρέπει να είναι διαθέσιμη στον κάθε χρήστη μαζί με την ίδια την πληροφορία. Όταν ως χρήστης εννοείται κάποιο φυσικό πρόσωπο, αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την κατάλληλη επιλογή κάποιας σχηματικής παρουσίασης για σημασιολογικά δεδομένα. Όταν, όμως, πρόκειται για κάποια εφαρμογή που θα αποκτήσει πρόσβαση στη βάση, η σημασιολογία πρέπει να είναι δομημένη σε μορφή που θα είναι προσπελάσιμη και κατανοητή από τη μηχανή που θα αναλάβει την επεξεργασία της. Ως εκ τούτου, κρίθηκε απαραίτητη η επέκταση του σημερινού Ιστού, η οποία κατέληξε στη δημιουργία του Σημασιολογικού Ιστού, γνωστό και ως Semantic Web³⁰.

Ο Σημασιολογικός Ιστός, λοιπόν, αποτελεί μια επέκταση του σημερινού Ιστού, η οποία έχει ως σκοπό την αυτοματοποίηση των λειτουργιών και των εφαρμογών του διαδικτύου. Η αυτοματοποίηση αυτή μπορεί να επιτευχθεί εφόσον η γνώση και η πληροφορία που υπάρχει αποθηκευμένη και δημοσιευμένη αυτή την στιγμή στον σημερινό Παγκόσμιο Ιστό αποκτήσει τυπικό νόημα και σημασιολογία και δομηθεί με έναν τέτοιο τρόπο ώστε να γίνεται κατανοητή από τις μηχανές που την επεξεργάζονται. Υπάρχει, πλέον, παγκοσμίως η διάθεση συνεργασίας μεταξύ των, ανά τον κόσμο, χρηστών του ιστού με σκοπό να διασπείρουν πληροφορίες εμπλουτισμένες από τη γνώση όχι μόνο ενός ατόμου, αλλά πολλών. Αυτό οδήγησε στη δημιουργία των wikis, ιστοσελίδων οι οποίες μπορούν να εμπλουτιστούν και να επανεκδοθούν από τον καθένα. Συνδυάζοντας τις τεχνολογίες του Σημασιολογικού Ιστού και των wikis, έχουμε οδηγηθεί στη δημιουργία των Semantic wikis.

³⁰ M.Minsky, «A Framework for Representing Knowledge», in The Psychology of Computer Vision, P.H.Winston (ed.), McGraw-Hill, 1975

Σήμερα, επιπλέον, υπάρχει μια τάση από τον μεμονωμένο χρήστη να μετατοπίσει τη γνώση από συστήματα που βασίζονται στην επιφάνεια εργασίας σε συστήματα βασισμένα στον Σημασιολογικό Ιστό. Καθένας, λοιπόν, μπορεί να αποθηκεύσει κάποια πληροφορία ως έναν πόρο Σημασιολογικού Ιστού που χαρακτηρίζεται από μια μοναδική σειρά χαρακτήρων, το URI του. Η συσκευή στην οποία κάποιος αποθηκεύει τις πληροφορίες αυτές ονομάζεται Semantic Desktop.

Αν και ο Παγκόσμιος Ιστός είναι η μεγαλύτερη αποθήκη πληροφοριών που δημιουργήθηκε ποτέ, με τα περιεχόμενά του να επεκτείνονται σε διάφορες γλώσσες και πεδία γνώσεων, μακροπρόθεσμα, είναι εξαιρετικά δύσκολο να βγει νόημα από το περιεχόμενό του. Από το 2000 έως το 2006 (χονδρικά) ένας αριθμός τεχνικών καινοτομιών, το RDF το οποίο είναι για τα δεδομένα ό, τι η HTML για τα έγγραφα και η Web Ontology Language (OWL) η οποία μας επιτρέπει να εκφράσουμε το πώς συνδέονται μεταξύ τους οι πηγές δεδομένων, σε συνδυασμό με τις πιο ανοιχτές πρακτικές διαμοιρασμού πληροφοριών, μετακινούν τον Παγκόσμιο Ιστό προς αυτό που ονομάζουμε Σημασιολογικό Ιστό.

Παρόλο που η αναζήτηση μιας λέξης θα μας αποφέρει χιλιάδες άμεσα συσχετιζόμενες πληροφορίες, η ύπαρξη επίσης χιλιάδων πληροφοριών που δεν σχετίζονται άμεσα με το πεδίο της αναζήτησής μας αλλά τυγχάνει να περιέχουν τη λέξη κλειδί που έχουμε χρησιμοποιήσει, δημιουργούν ένα φόρτο γνώσης, που ο μέσος χρήστης είναι συχνά ανήμπορος να διαχειριστεί αποτελεσματικά. Άλλωστε, πολλές φορές η ύπαρξη πολλών και άχρηστων πληροφοριών είναι πιο αναποτελεσματική από την ελλιπή πληροφόρηση. Και τελικά, ακόμη και η άμεσα συσχετιζόμενη με την αναζήτηση του χρήστη γνώση είναι διασκορπισμένη σε σελίδες του Ιστού οι οποίες δεν έχουν καμία αλληλεξάρτηση, κάτι το οποίο δυσχεραίνει την πλοήγηση του μέσου χρήστη στον ιστό.

Γίνεται, λοιπόν, αντιληπτό πως η αναπαράσταση της γνώσης στον ιστό από μια γλώσσα αντιληπτή από τον χρήστη αλλά όχι από την μηχανή που αναζητά και αποδίδει την πληροφορία σε αυτόν, οδηγεί σε δυσλειτουργίες. Και εδώ γεννιέται η ιδέα δημιουργίας του Σημασιολογικού Ιστού, στον οποίο όλες οι πληροφορίες θα είναι μεταφρασμένες σε μια γλώσσα εύκολα αντιληπτή από τις μηχανές. Ο Σημασιολογικός Ιστός δε θα αποτελεί έναν παγκόσμιο ιστό που θα λειτουργεί παράλληλα με τον ήδη υπάρχοντα ιστό, αλλά θα αποτελεί μια μετεξέλιξη του. Πρώτο στάδιο για την δημιουργία του έργου αυτού, η αναπαράσταση της γνώσης σε γλώσσα αντιληπτή από τη μηχανή.

Προκειμένου η γνώση και η πληροφορία να περιγραφεί με έναν τυπικό τρόπο, ο οποίος θα δηλώνει την σημασία της, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε γλώσσες αναπαράστασης γνώσης. Προκειμένου όμως να χρησιμοποιήσουμε τέτοιες τεχνολογίες στο διαδίκτυο θα πρέπει να αναθεωρήσουμε και να τροποποιήσουμε κάποια από τα συστατικά τους. Πιο συγκεκριμένα, όπως είναι γνωστό, στον σημερινό Ιστό κατά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό η πληροφορία δομείται με τη χρήση της γλώσσας XML. Έτσι, λοιπόν, αφενός στον Σημασιολογικό Ιστό πρέπει να περιγράψουμε τη γνώση με τη χρήση κάποιας γλώσσας αναπαράστασης γνώσης, αφετέρου η σύνταξη της γλώσσας που θα χρησιμοποιήσουμε θα πρέπει να βασίζεται στη γλώσσα XML. Για το λόγο αυτό η W3C, η οποία είναι ο οργανισμός που ασχολείται με την ανάπτυξη και προτυποποίηση τεχνολογιών για τον Παγκόσμιο Ιστό, έχει αναπτύξει δύο γλώσσες αναπαράστασης γνώσης. Οι γλώσσες αυτές είναι η RDF(S) και η OWL. Χρειαζόμαστε δύο γλώσσες για την αναπαράσταση γνώσης στον σημασιολογικό ιστό εξαιτίας της αρχιτεκτονικής του. Στην αρχιτεκτονική αυτή παρατηρούμε ότι ο Σημασιολογικός Ιστός αποτελείται από στρώματα (layers). Κάθε στρώμα υλοποιεί μια λειτουργικότητα (functionality), χρησιμοποιώντας και επεκτείνοντας τη λειτουργικότητα και τις τεχνολογίες που παρέχονται από τα χαμηλότερα στρώματα. Έτσι, λοιπόν, στα χαμηλά επίπεδα υλοποιούνται λειτουργίες οι οποίες είναι πολύ κοντά στον Παγκόσμιο Ιστό και στις μηχανές, όπως είναι οι τεχνολογίες που ασχολούνται με τον καθορισμό και την αναγνώριση των πόρων (URIs), ενώ καθώς ανεβαίνουμε στην ιεραρχία των επιπέδων συναντάμε επίπεδα τα οποία υλοποιούν λειτουργίες αναπαράστασης γνώσης, πολύπλοκου συλλογισμού που πλησιάζουν στην ανθρώπινη γνώση και σκέψη.

Η ύπαρξη του Σημασιολογικού Ιστού δίνει τη δυνατότητα τοποθέτησης ετικετών σε όλο το περιεχόμενο του Ιστού, περιγραφής κάθε πληροφορίας και απόδοση σημασιολογικού νοήματος στο περιεχόμενο του αντικειμένου. Έτσι, οι μηχανές αναζήτησης θα γίνουν πιο αποτελεσματικές απ' ό, τι είναι τώρα και οι χρήστες θα μπορούν να βρουν τις ακριβείς

πληροφορίες που ψάχνουν. Οι οργανισμοί που παρέχουν διάφορες υπηρεσίες μπορούν να βάλουν χαρακτηριστικές ετικέτες σε αυτές τις υπηρεσίες. Χρησιμοποιώντας πράκτορες λογισμικού βασισμένους στον Ιστό, μπορούμε να βρούμε δυναμικά αυτές τις υπηρεσίες και να τις χρησιμοποιήσουμε προς όφελός μας ή σε συνεργασία με άλλες υπηρεσίες. Η πρόοδος προς την καλύτερη ολοκλήρωση των δεδομένων θα συντελεστεί μέσω της χρήσης της τεχνολογίας-κλειδί που έκανε τον Παγκόσμιο Ιστό τόσο επιτυχημένο: τον σύνδεσμο.

Η δύναμη του Ιστού σήμερα, συμπεριλαμβανομένης της δυνατότητας εύρεσης της σελίδας που ψάχνουμε, έγκειται στο γεγονός ότι τα έγγραφα τοποθετούνται στον Ιστό σε πρότυπη μορφή και έπειτα συνδέονται μεταξύ τους. Ο Σημασιολογικός Ιστός θα δώσει τη δυνατότητα καλύτερης ολοκλήρωσης των δεδομένων, επιτρέποντας στον καθένα ο οποίος τοποθετεί μεμονωμένα στοιχεία δεδομένων στον Ιστό, να τα συνδέσει με άλλα δεδομένα, χρησιμοποιώντας πρότυπες μορφοποιήσεις. Το αποτέλεσμα της χρήσης των τεχνολογιών του Σημασιολογικού Ιστού για να δημοσιεύσουμε δομημένα δεδομένα στον Ιστό και να θέσουμε συνδέσμους μεταξύ δεδομένων από μια πηγή δεδομένων προς δεδομένα μέσα σε άλλες πηγές δεδομένων είναι τα Συνδεδεμένα Δεδομένα (Linked Data).

Ως αποτέλεσμα θα προκύψει ο Ιστός των Δεδομένων (Web of Data). Με τη διασύνδεση συνόλων δεδομένων, οι μηχανές θα μπορούν να διασχίζουν έναν ανεξάρτητο ιστό δομημένων πληροφοριών έτσι ώστε να συλλέξουν σημασιολογική γνώση από αυθαίρετες οντολογίες και τομείς. Το αποτέλεσμα θα είναι μια μαζική βάση γνώσης με ελεύθερη πρόσβαση η οποία θα αποτελέσει τα θεμέλια μιας νέας γενιάς εφαρμογών και υπηρεσιών.

4.1.2. Στόχοι του Σημασιολογικού Ιστού

Ο σημασιολογικός ιστός (semantic web) αποτελεί μια επέκταση του ήδη υπάρχοντος ιστού, στον οποίο δίνεται στην πληροφορία μια έννοια καθορισμένη με σαφήνεια, επιτρέποντας τη βέλτιστη συνεργασία μεταξύ ανθρώπου και υπολογιστή. Η βασική ιδέα είναι η ύπαρξη δεδομένων στον ιστό, ορισμένων και συνδεδεμένων με έναν τρόπο που να επιτρέπει την αποδοτική ανακάλυψη, αυτοματοποίηση, ενσωμάτωση και επαναχρησιμοποίησή τους μέσα σε διάφορες εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα, ο σημασιολογικός ιστός θα περιέχει πόρους, οι οποίοι θα αντιστοιχούν όχι μόνο σε αντικείμενα πολυμέσων (ιστοσελίδες, εικόνες, ακουστικά αποσπάσματα κτλ.), όπως ο παραδοσιακός ιστός, αλλά και σε αντικείμενα όπως είναι φυσικά πρόσωπα, τοποθεσίες, οργανισμοί και γεγονότα³¹. Επιπρόσθετα, ο σημασιολογικός ιστός δε θα περιέχει μόνο ένα είδος σχέσης (hyperlink) ανάμεσα στους πόρους, αλλά πολλά και διαφορετικά είδη σχέσεων ανάμεσα στα διάφορα είδη πόρων. Η γενική ιδέα θεωρεί ότι τα δεδομένα στον σημασιολογικό ιστό μοντελοποιούνται ως ένα κατευθυνόμενο γράφημα με σήμανση, όπου κάθε κόμβος αντιστοιχεί σε έναν πόρο και κάθε τόξο επισημαίνεται με έναν τύπο ιδιότητας (property type). Αν και υπάρχουν διάφορες προτάσεις για την αναπαράσταση των πόρων και των αμοιβαίων σχέσεών τους στον σημασιολογικό ιστό βασισμένες στην XML, ένα ιδιαίτερο σύστημα πρέπει να αναλάβει τη δέσμευση για ένα ή περισσότερα σχήματα και πρωτόκολλα ανταλλαγής των πληροφοριών αυτών. Το περιγραφόμενο σύστημα χρησιμοποιεί το πλαίσιο περιγραφής πόρων του W3C με το λεξιλόγιο σχημάτων που παρέχεται από το RDFS ως ένα μέσο για την περιγραφή των πόρων και των μεταξύ τους σχέσεων. Το SOAP, χρησιμοποιείται ως πρωτόκολλο για την ερώτηση και την ανταλλαγή αυτών των στιγμιαίων δεδομένων RDF μεταξύ μηχανών.

Εκτός από τον εμπλουτισμό της παραδοσιακής αναζήτησης με δεδομένα που προέρχονται από τον σημασιολογικό ιστό, θα ήταν επιθυμητή η δυνατότητα χρησιμοποίησης του σημασιολογικού ιστού για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων της αναζήτησης κειμένου. Η αναζήτηση κειμένου θα πρέπει να μπορεί να εκμεταλλευτεί την κατανόηση της επιθυμητής, από την πλευρά του χρήστη, πληροφορίας. Είναι πιθανό να υπάρχουν αρκετοί διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους τα δεδομένα από τον σημασιολογικό ιστό είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν

³¹ N.V. Findler (συντάκτης), *Associative Networks – Representation and Use of Knowledge by Computers*, Academic Press, 1979

προκειμένου να φιλτραριστούν τα αποτελέσματα της αναζήτησης κειμένου. Πιο κάτω περιγράφεται η προσπάθεια επίλυσης ενός συγκεκριμένου προβλήματος. Η μηχανή αναζήτησης του Google, παρουσιάζει περίπου 136,000 αποτελέσματα στην αναζήτηση για τον μουσικό "Yo-Yo Ma". Μια χειροκίνητη ανάλυση των πρώτων 500 αποτελεσμάτων δείχνει ότι στο σύνολό τους αναφέρονται στο συγκεκριμένο μουσικό. Από την άλλη πλευρά, η αναζήτηση στην ίδια μηχανή αναζήτησης για το πρόσωπο "Eric Miller" παράγει περίπου 1,400,000 αποτελέσματα, από τα οποία τα 20 πρώτα έχουν να κάνουν με 16 διαφορετικά πρόσωπα που διαθέτουν το συγκεκριμένο όνομα. Το πιο πιθανό είναι ότι ο χρήστης επιθυμεί την εύρεση πληροφοριών για κάποιο συγκεκριμένο πρόσωπο με το όνομα αυτό. Δυστυχώς, δεν υπάρχει κάποιος εύκολος τρόπος για να διαβιβαστεί κάτι τέτοιο στο σύστημα.

Ο σκοπός είναι να επιτραπεί στη μηχανή αναζήτησης να κατανοήσει ότι διαφορετικές εκδοχές της ίδιας ακολουθίας χαρακτήρων προσδιορίζουν διαφορετικές έννοιες και να φιλτράρει, να αξιολογήσει και να προβάλει τα αποτελέσματα των εγγράφων που ανταποκρίνονται στον επιθυμητό προσδιορισμό. Η αρχική εστίαση γίνεται πάνω στα ερωτήματα αναζήτησης φυσικών προσώπων. Θεωρείται χρήσιμη η παροχή στο χρήστη ενός απλού μηχανισμού για την αναγνώριση του κατάλληλου προσδιορισμού. Σε κάποιες περιπτώσεις (π.χ. στην λέξη "Jaguar"), υπάρχει ένας μικρός αριθμός αρχικών προσδιορισμών (το ζώο, το αυτοκίνητο, ο αθλητικός σύλλογος), έτσι ώστε να μπορούμε να επιλέξουμε έναν και να απαριθμήσουμε τους υπόλοιπους προκειμένου να επιτραπεί στο χρήστη να κάνει μια επιλογή του επιθυμητού μεταξύ αυτών. Στην περίπτωση που υπάρχουν χιλιάδες εν δυνάμει προσδιορισμοί (όπως στην περίπτωση της αναζήτησης στο Google του ανθρώπου "Eric Miller"), η προσέγγιση της απαρίθμησης όλων των πιθανών προσδιορισμών ξεχωριστά από τα αποτελέσματα αναζήτησης δεν είναι δυνατή. Έτσι, πρέπει να τροποποιήσουμε την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της αναζήτησης έτσι ώστε κάθε αποτέλεσμα να έχει μια επιπρόσθετη σύνδεση δίπλα του, με τη χρήση της οποίας ο χρήστης μπορεί να καθορίσει στη μηχανή αναζήτησης ότι αυτός είναι ο επιθυμητός προσδιορισμός.

Ο Σημαιολογικός Ιστός αποτελεί ένα σχετικά καινούριο όραμα για την κοινωνία της πληροφορίας του μέλλοντος, όπως το εμπνεύστηκε ο πατέρας του σύγχρονου παγκόσμιου Ιστού, Berners-Lee (1998). Ο ίδιος υποστήριξε πως η κατανόηση του περιεχομένου που είναι διαθέσιμο στον Παγκόσμιο Ιστό από τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές μπορεί να προσφέρει μία επανάσταση από νέες δυνατότητες και πληροφορικές εφαρμογές (Berners-Lee 2001). Στη διαμόρφωση της κοινωνίας της πληροφορίας του μέλλοντος συμμετέχουν ενεργά οι σύγχρονοι διαχειριστές της, οι ειδικοί στο χώρο των επιστημών της πληροφορίας

Ο Σημαιολογικός Ιστός αποτελεί πρωτοβουλία της Κοινοπραξίας του Παγκοσμίου Ιστού ή World Wide Web Consortium ή W3C (<http://www.w3.org>). Η ιδέα στην οποία βασίζεται αφορά την οργάνωση και τη διασύνδεση της διαθέσιμης πληροφορίας στο Διαδίκτυο ώστε να χρησιμοποιηθεί πιο αποτελεσματικά στην ανακάλυψη, στην αυτοματοποίηση, στην ομαδοποίηση και στην επαναχρησιμοποίησή της από διαφορετικές μεταξύ τους διαδικτυακές εφαρμογές. Δηλαδή στοχεύει στη μετεξέλιξη του σημερινού ιστού ώστε να μετατραπεί σε ένα περιβάλλον όπου οι πληροφορίες που υπάρχουν και διακινούνται να είναι επεξεργάσιμες από τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Κινείται προς την κατεύθυνση της επέκτασης και της βελτίωσης της δόμησης της πληροφορίας για να είναι προσπελάσιμη από προγράμματα υπολογιστών με τελικό στόχο την αυτοματοποίηση πολλών λειτουργιών στον Παγκόσμιο Ιστό. Σε αυτό το πλαίσιο, τα σημερινά κείμενα στις σελίδες του Ιστού θα εμπλουτιστούν με δομημένα κείμενα και δεδομένα σε μορφή XML και RDF. Από αυτή την άποψη ο Σημαιολογικός Ιστός είναι ένα πρόβλημα αναπαράστασης γνώσης από και για τους υπολογιστές και απαιτεί ένα μηχανισμό που θα επιτρέπει την επεξεργασία αυτής της γνώσης. Αυτός ο μηχανισμός θα πρέπει να υποστηρίζει τη δυνατότητα λογικής επεξεργασίας των πληροφοριών με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων, τη δημιουργία νέας γνώσης, την υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων και την αυτόματη εκτέλεση ενεργειών.

Ο Σημαιολογικός Ιστός αποτελεί σήμερα μια από τις πιο σημαντικές προσπάθειες για την αυτόματη ενοποίηση των συστημάτων και των εφαρμογών ώστε να συνεργάζονται διαλειτουργικά σε παγκόσμιο επίπεδο. Ο Tim Berners-Lee οραματιζόταν έναν ιστό δεδομένων αυτόματα επεξεργάσιμων από τις εφαρμογές βάσει του νοήματος και όχι της μορφής της πληροφορίας. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα από το απλό κείμενο που το καταλαβαίνει πλήρως

μόνο ο άνθρωπος να παρατηρείται κίνηση προς τις ημιδομημένες (semi-structured) και δομημένες (structured) πληροφορίες που μπορούν να γίνουν κατανοητές από τις διαδικτυακές εφαρμογές, όπως, για παράδειγμα, συμβαίνει στα συστήματα ηλεκτρονικού εμπορίου (e-commerce), ηλεκτρονικού επιχειρείν (e-business) και ηλεκτρονικής μάθησης (e-learning).

Η πραγματική δύναμη του Σημαιολογικού Ιστού θα αποκαλυφθεί όταν οι άνθρωποι δημιουργήσουν συστήματα, τα οποία θα συλλέγουν τα περιεχόμενα του Ιστού από διαφορετικές πηγές, θα επεξεργάζονται τις πληροφορίες και θα ανταλλάσσουν τα αποτελέσματα με άλλους ανθρώπους ή μηχανές. Με αυτόν τον τρόπο, η αποτελεσματικότητα του Σημαιολογικού Ιστού θα βελτιωθεί δραστικά αφού μεγαλύτερο ποσοστό περιεχομένου του Ιστού θα είναι «αναγνώσιμο» από τους υπολογιστές και περισσότερες αυτοματοποιημένες υπηρεσίες θα είναι διαθέσιμες. Δύο σημαντικές τεχνολογίες που στοχεύουν στην ανάπτυξη του Σημαιολογικού Ιστού είναι ήδη σε ισχύ: η XML (eXtensible Markup Language) και το RDF (Resource Description Framework).

Η χρήση των οντολογιών μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα κρίσιμη παράμετρος προς αυτή την κατεύθυνση. Μια οντολογία, όπως αναφέρθηκε, είναι μια αυστηρή περιγραφή των αντικειμένων-πόρων και των σχέσεων μεταξύ τους. Οι οντολογίες δίνουν τη δυνατότητα σε μια κοινότητα χρηστών να έχουν κοινή ονοματολογία και κοινή αντίληψη για τα αντικείμενα-πόρους τα οποία δηλώνουν ή χρησιμοποιούν. Επίσης, τους επιτρέπουν να περιγράψουν τον «κόσμο» που χρησιμοποιούν (που τους αφορά) με έναν τέτοιο τρόπο, ώστε οι υπολογιστές να μπορούν να επεξεργαστούν και να «συνδέσουν» τα δεδομένα από διαφορετικούς κόσμους. Η δυσκολία στις οντολογίες έγκειται στο γεγονός ότι οι κοινότητες των χρηστών θα πρέπει να συμφωνήσουν στην οντολογική περιγραφή του πεδίου ενδιαφέροντός τους³².

Ο τρόπος με τον οποίο θα αναπτυχθεί ο Σημαιολογικός Ιστός προβλέπεται να είναι ανάλογος με αυτόν του σύγχρονου Παγκόσμιου Ιστού. Το πρώτο βήμα στη διαμόρφωση του Παγκόσμιου Ιστού του μέλλοντος είναι η δημιουργία νησίδων πληροφορίας οργανωμένης σημασιολογικά. Οι νησίδες αυτές σιγά-σιγά θα διασυνδεθούν μεταξύ τους προσφέροντας περισσότερες δυνατότητες για την ανάπτυξη προηγμένων εφαρμογών. Το επόμενο βήμα είναι η αξιοποίηση του πλέγματος πληροφοριών, που δημιουργείται, σύμφωνα με τις προοπτικές που παρέχει η σημασιολογική τους οργάνωση.

Το καθένα από τα στάδια εξέλιξης του Σημαιολογικού Ιστού χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένες τεχνολογικές δυνατότητες. Η διάθεση μέσω του Παγκόσμιου Ιστού δεδομένων που έχουν οριστεί και διασυνδεθεί μεταξύ τους αποτελεί τη βασική υποδομή για ό, τι υπόσχεται ο μελλοντικός Παγκόσμιος Ιστός: αποτελεσματικότερη αναζήτηση δεδομένων και πληροφοριών, αυτοματοποίηση και ολοκλήρωση υπηρεσιών, αξιοποίηση της υπάρχουσας γνώσης σε ποικίλες εφαρμογές.

Σταδιακά, η χρήση του Σημαιολογικού Ιστού επεκτείνεται σε συσκευές (π.χ. τηλεοράσεις, κινητά τηλέφωνα κ.α.) που συνδέονται στο Διαδίκτυο. Καθώς οι συσκευές αυτές θα χρησιμοποιούν τεχνολογίες Σημαιολογικού Ιστού, θα περιγράφουν τις λειτουργίες τους και θα τις ανακοινώνουν στο Διαδίκτυο. Έτσι, θα προκύψουν νέες δυνατότητες και αποδοτικότερη συνεργασία μεταξύ των συσκευών αυτών και του Ιστού. Για παράδειγμα, στο μέλλον η τηλεόραση θα μας προτείνει προγράμματα σύμφωνα με κριτήρια που θέσαμε στον Σημαιολογικό Ιστό. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των μελλοντικών συστημάτων διαχείρισης πελατειακών σχέσεων (CRM) θα είναι οι «συσκευές διεπαφής χρήστη», οι οποίες θα μπορούν να «αναγνωρίζουν» τον χρήστη και να «κατανοούν» τη διάθεση και τα συναισθήματά του. Στη συνέχεια, θα του προτείνουν εξατομικευμένες υπηρεσίες και προϊόντα.

³² A.J. Gonzalez και D.D. Dankel, *The Engineering of Knowledge-Based Systems: Theory and Practice*, Prentice-Hall, 1993

4.2.Οντολογίες

Η ιστορία της τεχνητής νοημοσύνης δείχνει ότι η γνώση είναι ζωτικής σημασίας για τα ευφυή συστήματα. Σε πολλές περιπτώσεις, η καλύτερη γνώση μπορεί να είναι πιο σημαντική για την επίλυση μιας εργασίας από ό, τι οι καλύτεροι αλγόριθμοι. Για την ύπαρξη πραγματικά ευφών συστημάτων, η γνώση πρέπει να συλληφθεί, να επεξεργαστεί, να επαναχρησιμοποιηθεί, και να κοινοποιηθεί. Οι οντολογίες υποστηρίζουν όλα αυτά τα καθήκοντα.

Ο όρος «οντολογία» μπορεί να οριστεί ως ένας ρητός καθορισμός της εννοιολογικής σύλληψης. Οι οντολογίες συλλαμβάνουν τη δομή του τομέα. Αυτό περιλαμβάνει το μοντέλο του τομέα με πιθανούς περιορισμούς. Η εννοιολογική σύλληψη περιγράφει τη γνώση σχετικά με τον τομέα, όχι σχετικά με την συγκεκριμένη κατάσταση στον τομέα. Με άλλα λόγια, η εννοιολογική σύλληψη δεν αλλάζει, ή αλλάζει πολύ σπάνια. Η οντολογία είναι επομένως προδιαγραφές της παρούσας σύλληψης. Η εννοιολογική σύλληψη προσδιορίζεται με τη χρήση συγκεκριμένης γλώσσας μοντελοποίησης και ειδικών όρων. Τυπική εξειδίκευση απαιτείται για τη δυνατότητα επεξεργασίας οντολογιών και αυτόματης λειτουργίας σε οντολογίες.

Η οντολογία περιγράφει έναν τομέα, ενώ η βάση γνώσης (βασισμένη σε μια οντολογία) περιγράφει την συγκεκριμένη κατάσταση των πραγμάτων. Κάθε σύστημα βασισμένο στη γνώση ή πράκτορας έχει τη δική του βάση γνώσεων, και μόνο ό, τι μπορεί να εκφράζεται με μία οντολογία μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί εκεί. Όταν ένας πράκτορας θέλει να επικοινωνήσει με έναν άλλο πράκτορα, χρησιμοποιεί τις δομές από κάποια οντολογία. Για την επίτευξη επικοινωνίας, οι οντολογίες πρέπει να διαμοιραστούν μεταξύ πρακτόρων³³.

Η εννοιολογική σύλληψη μπορεί να οριστεί ως μια ομογενής σημασιολογική δομή που κωδικοποιεί την έμμεση γνώση περιορίζοντας τη δομή ενός κομματιού του τομέα. Η οντολογία είναι μια (μερική) εξειδίκευση αυτής της δομής. Η εννοιολογική σύλληψη είναι ανεξάρτητη γλώσσας, ενώ η οντολογία εξαρτάται από τη γλώσσα. Η οντολογία δε χρειάζεται να εκφράζει όλους τους πιθανούς περιορισμούς. Το επίπεδο των λεπτομερειών στην εννοιολογική σύλληψη εξαρτάται από τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής και η έκφρασή της στην οντολογία επιπλέον εξαρτάται από τη γλώσσα οντολογίας που χρησιμοποιείται.

Με αυτή την έννοια, η οντολογία είναι σημαντική για να επιτρέψει την ανταλλαγή και την επαναχρησιμοποίηση της γνώσης. Μια οντολογία είναι, σε αυτά τα πλαίσια, μια προδιαγραφή που χρησιμοποιείται για την κατασκευή οντολογικών δεσμεύσεων. Πρακτικά, μια οντολογική δέσμευση αποτελεί συμφωνία για χρήση ενός λεξιλογίου με έναν τρόπο που είναι συνεπής (αλλά όχι πλήρης) σε σχέση με τη θεωρία που έχει καθοριστεί από μια οντολογία. Πράκτορες τότε δεσμεύονται με τις οντολογίες και οι οντολογίες σχεδιάζονται έτσι, ώστε η γνώση να μπορεί να διανεμηθεί μεταξύ αυτών των πρακτόρων.

Η αναπαράσταση του σώματος γνώσης (βάση γνώσης) βασίζεται στον καθορισμό της εννοιολογικής σύλληψης. Η εννοιολογική σύλληψη είναι μια αφηρημένη, απλοποιημένη άποψη του κόσμου που θέλουμε να αναπαραστήσουμε για κάποιο σκοπό. Κάθε βάση γνώσης, σύστημα βασισμένο στη γνώση ή πράκτορας δεσμεύεται σε κάποια εννοιολογική σύλληψη, φανερά ή σιωπηρά. Για αυτά τα συστήματα, ό, τι "υπάρχει" είναι ό, τι μπορεί να αναπαρασταθεί. Όταν η γνώση ενός τομέα αναπαρίσταται, το σύνολο των αντικειμένων που μπορούν να αναπαρασταθούν ονομάζεται το σύμπαν του λόγου. Αυτό το σύνολο των αντικειμένων και οι μεταξύ τους σχέσεις αντανakλώνται στο αναπαραστατικό λεξιλόγιο με το οποίο τα προγράμματα που βασίζονται στη γνώση αναπαριστούν τη γνώση. Σε μια τέτοια οντολογία, οι ορισμοί συνδέουν τα ονόματα των οντοτήτων στο σύμπαν του λόγου με τις περιγραφές του τι σημαίνουν τα ονόματα και τα επίσημα αξιώματα που περιορίζουν την ερμηνεία και καλοσχηματισμένη χρήση των όρων αυτών. Τυπικά μπορεί να θεωρηθεί ότι μια οντολογία είναι μια δήλωση μιας λογικής θεωρίας.

³³ Ι. Βλαχάβας, Π. Κεφαλάς, Ν. Βασιλειάδης, Φ. Κόκκορας, Η. Σακελλαρίου. Τεχνητή Νοημοσύνη – Γ' Έκδοση, Έκδοση Πανεπιστημίου Μακεδονίας, 2011

4.3.Αρχιτεκτονική Σημασιολογικού Ιστού

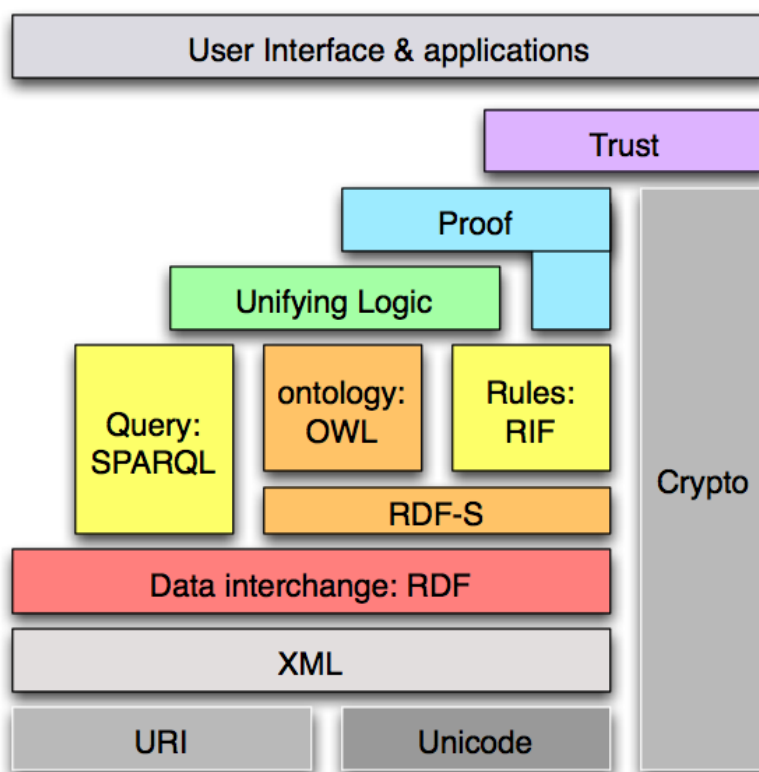
Ο Σημασιολογικός Ιστός έχει εξελιχθεί σε έναν αριθμό συγκεκριμένων τεχνολογιών που παρέχουν υποστήριξη για τις σημασιολογικές υπηρεσίες. Η Εικόνα 5 δείχνει την «Στοιβά του Σημασιολογικού Ιστού», η οποία δείχνει σαφώς τον κεντρικό ρόλο των τεχνολογιών του πυρήνα (π.χ. RDF, OWL) στην συνολική αρχιτεκτονική του ιστού.

Η στοιβά του Σημασιολογικού Ιστού είναι μια απεικόνιση της ιεραρχίας των γλωσσών, όπου κάθε στρώμα αξιοποιεί και χρησιμοποιεί τις δυνατότητες των πιο κάτω στρωμάτων. Δείχνει πώς οι τεχνολογίες που είναι τυποποιημένες για τον Σημασιολογικό Ιστό είναι οργανωμένες για να καταστήσουν την ύπαρξη του Σημασιολογικού Ιστού δυνατή. Δείχνει, επίσης, πώς Σημασιολογικός Ιστός είναι μια επέκταση (και όχι αντικατάσταση) του κλασικού Ιστού υπερκειμένων.

Το πρώτο στρώμα, URI και Unicode, ακολουθεί τα σημαντικά χαρακτηριστικά του υπάρχοντος Παγκόσμιου Ιστού. Το Unicode είναι ένα πρότυπο κωδικοποίησης διεθνών συνόλων χαρακτήρων και επιτρέπει σε όλες τις ανθρώπινες γλώσσες να μπορούν να χρησιμοποιηθούν (για γραφή και ανάγνωση) στο Διαδίκτυο, χρησιμοποιώντας μια τυποποιημένη μορφή. Το URI είναι μια ακολουθία σε τυποποιημένη μορφή που επιτρέπει τη μοναδική αναγνώριση των πόρων (π.χ. εγγράφων). Ένα υποσύνολο του URI είναι το Uniform Resource Locator (URL), το οποίο περιέχει μηχανισμό πρόσβασης και την (δικτυακή) τοποθεσία του εγγράφου. Η χρήση του URI είναι σημαντική για ένα κατανεμημένο σύστημα στο διαδίκτυο, καθώς παρέχει κατανοητή αναγνώριση όλων των πόρων³⁴.

Το στρώμα της Extensible Markup Language (XML) με τους ορισμούς των XML namespaces και XML Schema εξασφαλίζει ότι υπάρχει μια κοινή σύνταξη που χρησιμοποιείται στον σημασιολογικό ιστό. Η XML είναι μια γλώσσα σήμανσης γενικού σκοπού για έγγραφα που περιέχουν δομημένες πληροφορίες. Ένα έγγραφο XML περιέχει στοιχεία που μπορούν να εμφωλιαστούν και μπορούν να έχουν χαρακτηριστικά και περιεχόμενο. Τα XML namespaces επιτρέπουν τον καθορισμό διαφορετικών λεξιλογίων σήμανσης σε ένα έγγραφο XML. Το XML Schema εξυπηρετεί στην έκφραση σχήματος για ένα συγκεκριμένο σύνολο εγγράφων XML.

³⁴ Σπύρος Γ. Τζαφέστας, Έμπειρα Συστήματα και Εφαρμογές, ΑΘΗΝΑ 2005



Εικόνα 5: Στοιβα γλωσσών Σημασιολογικού Ιστού

Μια μορφή αναπαράστασης δεδομένων για τον Σημασιολογικό Ιστό είναι το Resource Description Framework (RDF). Το RDF είναι ένα πλαίσιο αναπαράστασης πληροφοριών σχετικών με τους πόρους σε μορφή γραφήματος. Προοριζόταν πρωτίστως για την αναπαράσταση μεταδεδομένων για τους πόρους του Παγκόσμιου Ιστού, όπως ο τίτλος, ο συγγραφέας και η ημερομηνία τροποποίησης μιας ιστοσελίδας, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση οποιωνδήποτε άλλων δεδομένων. Βασίζεται σε τριάδες υποκείμενο-κατηγορήμα-αντικείμενο που σχηματίζουν γραφήματα δεδομένων. Όλα τα δεδομένα στον σημασιολογικό ιστό χρησιμοποιούν το RDF ως την κύρια γλώσσα αναπαράστασης. Το κανονιστικό πρότυπο σύνταξης για σειριοποίησης RDF είναι η XML σε RDF / XML μορφή. Ορίζεται, επίσης, η τυπική σημασιολογία της RDF.

Το RDF εξυπηρετεί το ίδιο ως περιγραφή ενός γραφήματος που σχηματίζεται από τριάδες. Οποιοσδήποτε μπορεί να ορίσει το λεξιλόγιο των όρων που χρησιμοποιούνται για πιο λεπτομερή περιγραφή. Για να καταστεί δυνατή η τυποποιημένη περιγραφή των ταξινομήσεων και άλλων οντολογικών κατασκευασμάτων, δημιουργήθηκε ένα RDF Schema (RDFS) μαζί με την επίσημη σημασιολογία του μέσα στο RDF. Το RDFS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει ταξινομήσεις κλάσεων και ιδιοτήτων και να τις χρησιμοποιήσει για να δημιουργήσει ελαφριές οντολογίες.

Πιο λεπτομερείς οντολογίες μπορούν να δημιουργηθούν με την Web Ontology Language (OWL). Η OWL είναι μια γλώσσα που προέρχεται από λογικές περιγραφές, και προσφέρει περισσότερες κατασκευές πάνω στο RDFS. Είναι συντακτικά ενσωματωμένο στο RDF, οπότε όπως και το RDFS, παρέχει επιπλέον τυποποιημένο λεξιλόγιο. Η OWL έχει τρία είδη – την OWL Lite για ταξινομήσεις και απλούς περιορισμούς, την OWL DL για πλήρη υποστήριξη περιγραφικής λογικής, και την OWL Full για μέγιστη εκφραστικότητα και συντακτική ελευθερία του RDF. Δεδομένου ότι η OWL βασίζεται στη περιγραφική λογική, δεν είναι περιεργο που μια επίσημη σημασιολογία ορίζεται για αυτήν τη γλώσσα.

Για το RDFS και την OWL έχει οριστεί σημασιολογία και αυτή η σημασιολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λογική στις οντολογίες και τις βάσεις γνώσης που περιγράφονται

χρησιμοποιώντας αυτές τις γλώσσες. Για να θεσπίζονται κανόνες πέρα από τις κατασκευές που διατίθενται από αυτές τις γλώσσες, τυποποιούνται και γλώσσες κανόνων για τον Σημασιολογικό Ιστό. Δύο πρότυπα αναδύονται, τα RIF και SWRL.

Για τις υποβολές ερωτημάτων (querying) σε δεδομένα RDF καθώς και οντολογίες RDFS και OWL με βάσεις γνώσης, είναι διαθέσιμη η SPARQL (Simple Protocol and RDF Query Language). Η SPARQL είναι μια γλώσσα σαν την SQL, αλλά χρησιμοποιεί τις τριάδες και τους πόρους του RDF, τόσο για το μέρος αντιστοίχισης του ερωτήματος, όσο και για την επιστροφή των αποτελεσμάτων του ερωτήματος. Δεδομένου ότι τόσο το RDFS όσο και η OWL είναι χτισμένα σε RDF, η SPARQL μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιηθεί άμεσα για την υποβολή ερωτημάτων σε οντολογίες και βάσεις γνώσεων. Η SPARQL δεν είναι μόνο γλώσσα ερωτημάτων, είναι επίσης πρωτόκολλο για την πρόσβαση σε δεδομένα RDF.

Είναι αναμενόμενο ότι όλοι οι κανόνες και η σημασιολογία θα πρέπει να εκτελούνται στα κάτω στρώματα. Η επίσημη απόδειξη μαζί με τις έμπιστες εισόδους για την απόδειξη, θα σημαίνουν ότι τα αποτελέσματα είναι αξιόπιστα, κάτι το οποίο εμφανίζεται στο ανώτερο στρώμα της παραπάνω εικόνας. Για αξιόπιστες εισόδους, πρόκειται να χρησιμοποιηθούν κρυπτογραφικά μέσα, όπως ψηφιακές υπογραφές για την επαλήθευση της προέλευσης των πηγών. Στην κορυφή αυτών των στρωμάτων, μπορεί να κατασκευαστεί μια εφαρμογή με διεπαφή χρήστη.

4.4.Οι Γλώσσες του Σημασιολογικού Ιστού

4.4.1.XML (Extensible Markup Language)

Η XML, η οποία έχει ονομαστεί από τα αρχικά των λέξεων Extensible Markup Language (Επεκτάσιμη Γλώσσα Σήμανσης), ορίστηκε από την ομάδα XML Working Group της Κοινοπραξίας Παγκόσμιου Ιστού (World Wide Web Consortium, ή αλλιώς W3C). Η ομάδα αυτή όρισε τη γλώσσα XML ως εξής:

«Η XML αποτελεί ένα υποσύνολο της SGML (Standard Generalized Markup Language – Πρότυπη Γενικευμένη Γλώσσα Σήμανσης). Σκοπός της είναι να διευκολύνει την αποστολή, τη λήψη και την επεξεργασία της γενικευμένης γλώσσας SGML στον Ιστό όπως ακριβώς γίνεται τώρα με την HTML. Η XML έχει σχεδιαστεί με στόχο την ευκολία της υλοποίησης και τη δυνατότητα παράλληλης χρήσης της με τις άλλες γλώσσες SGML και HTML.» Αυτό είναι ένα απόσπασμα από την έκδοση 1.0 της επίσημης προδιαγραφής της XML, η οποία ολοκληρώθηκε το Φεβρουάριο του 1988³⁵.

Όπως είναι φανερό, η XML είναι μια γλώσσα σήμανσης που σχεδιάστηκε ειδικά για τη μετάδοση πληροφοριών στον Παγκόσμιο Ιστό, όπως ακριβώς και η HTML (HyperText Markup Language – Γλώσσα Σήμανσης Υπερκειμένου), η οποία αποτέλεσε την κύρια γλώσσα δημιουργίας ιστοσελίδων από την έναρξη λειτουργίας του Ιστού.

Ο ορισμός της XML αποτελείται από ένα στοιχειώδες μόνο συντακτικό. Όταν δημιουργείτε ένα έγγραφο XML, αντί να χρησιμοποιήσετε ένα περιορισμένο σύνολο προκαθορισμένων στοιχείων, δημιουργείτε τα δικά σας στοιχεία και τους δίνετε όποιες ονομασίες θέλετε. Αυτή είναι και η έννοια του όρου «επεκτάσιμη» στην ονομασία της γλώσσας. Επομένως, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε την XML για την περιγραφή οποιουδήποτε είδους εγγράφου, από μουσικές παρτιτούρες μέχρι βάσεις δεδομένων. Για παράδειγμα, υπάρχει η δυνατότητα περιγραφής μίας λίστας βιβλίων, όπως στο έγγραφο XML που ακολουθεί.

³⁵ “XML, RDF and the Relatives”, by Michel Klein, <http://ebiz.u-aizu.ac.jp/~paikic/lecture/2005-2/CFS/SemanticWeb-1/RDFXML.pdf>

```
<?xml version="1.0"?>
<INVENTORY>
  <BOOK>
    <TITLE>The Adventures of Huckleberry Finn</TITLE>
    <AUTHOR>Mark Twain</AUTHOR>
    <BINDING>mass market paperback</BINDING>
    <PAGES>298</PAGES>
    <PRICE>5.49</PRICE>
  </BOOK>
  <BOOK>
    <TITLE>Moby-Dick</TITLE>
    <AUTHOR>Herman Melville</AUTHOR>
    <BINDING>trade paperback</BINDING>
    <PAGES>605</PAGES>
    <PRICE>4.95</PRICE>
  </BOOK>
  <BOOK>
    <TITLE>The Scarlet Letter</TITLE>
    <AUTHOR>Nathaniel Hawthorne</AUTHOR>
    <BINDING>trade paperback</BINDING>
    <PAGES>253</PAGES>
    <PRICE>4.25</PRICE>
  </BOOK>
</INVENTORY>
```

Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε ότι τα ονόματα στοιχείων σε ένα έγγραφο XML δεν αποτελούν μέρος του ορισμού της XML. Στην πραγματικότητα, τα ονόματα δημιουργούνται παράλληλα με τη δημιουργία του εγγράφου. Μπορεί να γίνει επιλογή οποιωνδήποτε έγκυρων ονομάτων για τα στοιχεία.

Όπως φαίνεται και στο προηγούμενο παράδειγμα, ένα έγγραφο XML είναι δομημένο ιεραρχικά σε μορφή δένδρου, με στοιχεία που περικλείονται μέσα σε άλλα και με ένα στοιχείο ανωτάτου επιπέδου, γνωστό ως στοιχείο εγγράφου ή βασικό στοιχείο (root element), το οποίο περιέχει όλα τα υπόλοιπα³⁶.

Επειδή η XML δεν περιέχει προκαθορισμένα στοιχεία, ίσως να δίνει την εντύπωση ενός σχετικά ανεπίσημου προτύπου. Διαθέτει, όμως, αυστηρά καθορισμένο συντακτικό. Για παράδειγμα, σε αντίθεση με την HTML, κάθε στοιχείο XML πρέπει να έχει μια ετικέτα αρχής και μια ετικέτα τέλους (ή μια ειδική ετικέτα κενού στοιχείου). Επίσης, οποιοδήποτε ένθετο στοιχείο πρέπει να περιέχεται ολόκληρο στο στοιχείο που το περικλείει.

Για την ακρίβεια, η ίδια η ευκολία δημιουργίας στοιχείων προϋποθέτει την τήρηση ενός αυστηρού συντακτικού. Γι' αυτό και η προσαρμόσιμη φύση των εγγράφων XML απαιτεί προσαρμόσιμα προγράμματα χειρισμού και εμφάνισης των πληροφοριών που περιέχουν αυτά τα έγγραφα. Το αυστηρό συντακτικό της XML δίνει στα έγγραφα μια προβλέψιμη μορφή, κάνοντας έτσι πιο εύκολη τη γραφή αυτών των προγραμμάτων. Άλλωστε, η εύκολη εφαρμογή είναι ένας από τους πρωταρχικούς στόχους αυτής της γλώσσας.

³⁶ "XOL: An XML-Based Ontology Exchange Language", Peter D. Karp, Vinay K. Chaudhri and Jerome Thomere, <http://www.sri.com/sites/default/files/uploads/publications/pdf/676.pdf>

Μία μέθοδος XML (XML schema) είναι μια περιγραφή του τύπου του εγγράφου XML, που συνήθως εκφράζεται όσον αφορά τους περιορισμούς σχετικά με τη δομή και το περιεχόμενο των εγγράφων αυτού του τύπου, πάνω και πέρα από τους βασικούς συντακτικούς περιορισμούς που επιβάλλονται από την ίδια την XML. Αυτοί οι περιορισμοί εκφράζονται γενικά με τη χρήση κάποιου συνδυασμού γραμματικών κανόνων που διέπουν την σειρά των στοιχείων, τα κατηγορήματα Boolean που πρέπει να πληρεί το περιεχόμενο, τους τύπους δεδομένων που διέπουν το περιεχόμενο των στοιχείων και των χαρακτηριστικών, και πιο εξειδικευμένων κανόνων, όπως οι περιορισμοί μοναδικότητας και αναφορικής ακεραιότητας.

Υπάρχουν γλώσσες που έχουν αναπτυχθεί ειδικά για να εκφράσουν τα μεθόδους XML. Ο Ορισμός Τύπου Εγγράφου (Document Type Definition - DTD) είναι μια γλώσσα μεθόδου εγγενής στην προδιαγραφή XML που είναι σχετικά περιορισμένων δυνατοτήτων, αλλά έχει και άλλες χρήσεις στην XML εκτός από την έκφραση των μεθόδων. Δύο πιο εκφραστικές γλώσσες μεθόδου XML σε ευρεία χρήση είναι το XML Schema (με κεφαλαίο S) και το Relax NG.

Ο μηχανισμός για τον συσχετισμό ενός εγγράφου XML με μία μέθοδο XML ποικίλει ανάλογα με τη γλώσσα μεθόδου. Ο συσχετισμός μπορεί να επιτευχθεί μέσω σήμανσης μέσα στο ίδιο το XML έγγραφο, ή με κάποια εξωτερικά μέσα.

Ο Ιστός είναι το πρώτο δίκτυο ανταλλαγής δεδομένων, μεταξύ πολλών, που έχει αξιοποιηθεί ευρέως και δημιουργεί νέες απαιτήσεις για οποιαδήποτε μορφή ανταλλαγής.

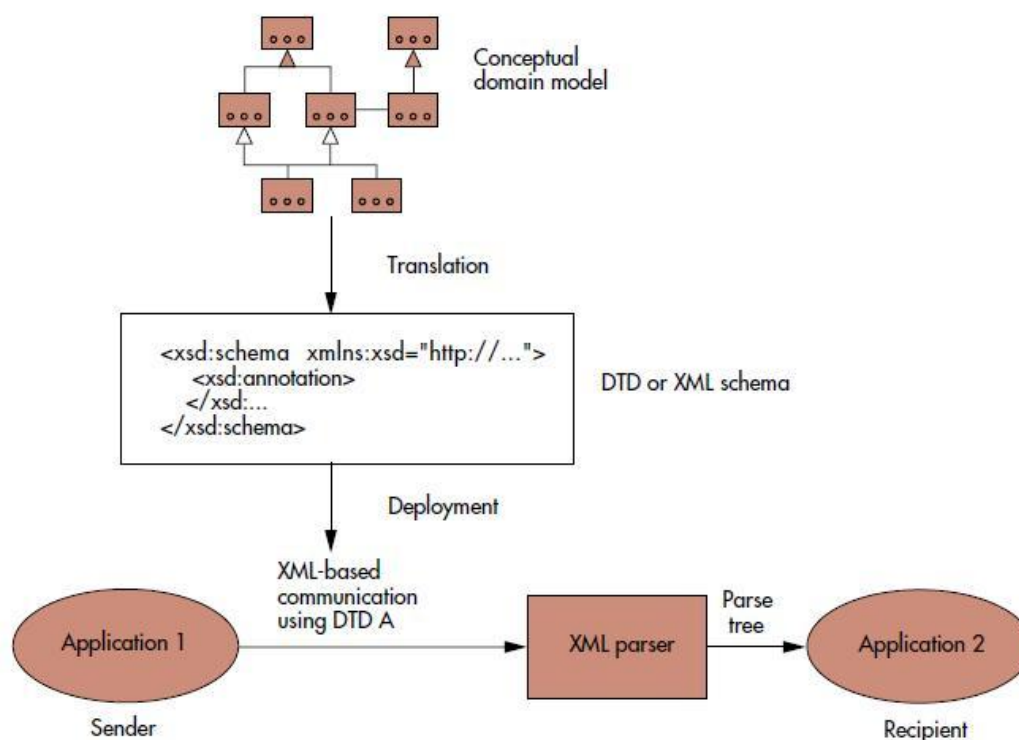
- **Παγκόσμια Εκφραστική Δύναμη.** Επειδή δεν είναι δυνατή η πρόβλεψη κάθε πιθανής χρήσης, μια μορφή ανταλλαγής βασισμένη στον Ιστό πρέπει να είναι σε θέση να εκφράζει οποιαδήποτε μορφή δεδομένων.
- **Συντακτική Διαλειτουργικότητα.** Οι εφαρμογές πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να διαβάζουν τα δεδομένα και να φτιάχνουν μια αναπαράσταση που μπορεί να αξιοποιηθεί. Τα συστατικά λογισμικού, όπως προγράμματα ανάλυσης και APIs ερωτημάτων, για παράδειγμα, θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν επαναχρησιμοποιήσιμα ανάμεσα σε διάφορες εφαρμογές. Η συντακτική διαλειτουργικότητα είναι υψηλή όταν τα προγράμματα ανάλυσης και τα APIs που είναι απαραίτητα για τον χειρισμό των δεδομένων είναι άμεσα διαθέσιμα.
- **Σημασιολογική Διαλειτουργικότητα.** Μία από τις πιο σημαντικές απαιτήσεις για μια μορφή ανταλλαγής δεδομένων είναι τα δεδομένα να είναι κατανοητά. Ενώ η διαλειτουργικότητα σχετίζεται με την ανάλυση των δεδομένων, η σημασιολογική διαλειτουργικότητα έχει να κάνει με τον προσδιορισμό των αντιστοιχίσεων μεταξύ των όρων μέσα στα δεδομένα, κάτι το οποίο απαιτεί ανάλυση περιεχομένου.

Η XML πληροί την απαίτηση παγκόσμιας εκφραστικής δύναμης, καθώς για οτιδήποτε μπορεί να ορίσει η γραμματική υπάρχει η δυνατότητα κωδικοποίησής του σε XML. Πληροί, επίσης, την απαίτηση συντακτικής διαλειτουργικότητας καθώς ο αναλυτής XML μπορεί να αναλύσει όλα τα δεδομένα XML, και συνήθως είναι επαναχρησιμοποιήσιμο στοιχείο. Όσον αφορά την σημασιολογική διαλειτουργικότητα, όμως, η XML έχει μειονεκτήματα

Ο σημαντικός περιορισμός της XML είναι ότι απλώς περιγράφει γραμματικές. Δεν υπάρχει κανένας τρόπος να αναγνωριστεί μια σημασιολογική μονάδα από έναν συγκεκριμένο τομέα καθώς η XML αποσκοπεί στη δομή του εγγράφου και δεν επιβάλλει καμία κοινή ερμηνεία των στοιχείων που περιέχονται στο έγγραφο.

Το σχήμα 9 απεικονίζει δύο εφαρμογές που προσπαθούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Και οι δύο συμφωνούν σχετικά με τη χρήση και την έννοια της δομής του εγγράφου που δίνεται από το DTD A, αλλά πρέπει να κατασκευαστεί ένα μοντέλο για να αποσαφηνιστεί το είδος των δεδομένων που αποστέλλονται πριν τη δυνατότητα ανταλλαγής των δεδομένων. Τότε κατασκευάζεται ένα DTD ή μια μέθοδος XML από το μοντέλο του domain³⁷.

³⁷ "XML, RDF and the Relatives", by Michel Klein, <http://ebiz.u-aizu.ac.jp/~paikic/lecture/2005-2/CFS/SemanticWeb-1/RDFXML.pdf>



Σχήμα 9.Επικοινωνία Εφαρμογών μέσω xml

Η XML είναι χρήσιμη για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ εφαρμογών που αμφότερες γνωρίζουν τι είναι τα δεδομένα, αλλά όχι για τις περιπτώσεις όπου νέοι εταίροι επικοινωνίας προστίθεται συχνά. Στο διαδίκτυο, νέες πηγές πληροφόρησης είναι συνεχώς διαθέσιμες και νέοι επιχειρηματικοί εταίροι εντάσσονται σε υπάρχουσες σχέσεις. Επομένως, είναι σημαντικό να μειωθεί το κόστος της προσθήκης των εταίρων επικοινωνίας όσο το δυνατόν περισσότερο.

Για την ανταλλαγή εγγράφων XML, οι αντιστοιχίσεις των τομέων πρέπει να μεταφράζονται με διαδικασίες αντιστοίχισης, όπως οι XSL Transformations (XSLT). Αυτό απαιτεί μεγάλη προσπάθεια και εξαρτάται από την κωδικοποίηση που έχει χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή των αρχικών DTDs. Πρόσθετες προσπάθειες απαιτούνται για την μετάφραση του αναδιοργανωμένου μοντέλου τομέα σε XML DTD και για τη δημιουργία διαδικασιών χαρτογράφησης των XML εγγράφων που βασίζονται στις καθιερωμένες χαρτογραφίες τομέων. Η χρήση ενός πιο κατάλληλου φορμαλισμού από την καθαρή XML για τη μεταφορά δεδομένων μπορεί να εξοικονομήσει μεγάλο μέρος αυτής της επιπλέον προσπάθειας.

4.4.2.Resource Description Framework (RDF)

Το RDF, που αναπτύχθηκε από το W3C για την περιγραφή πόρων στον Ιστό, επιτρέπει τις προδιαγραφές της σημασιολογίας των δεδομένων που βασίζονται σε XML με τυποποιημένο, διαλειτουργικό τρόπο. Παρέχει, επίσης, μηχανισμούς για να εκπροσωπεί ρητά τις υπηρεσίες, τις διαδικασίες, και τα επιχειρηματικά μοντέλα, ενώ επιτρέπει την αναγνώριση μη σαφών πληροφοριών.

Το RDF μοντέλο δεδομένων είναι ισοδύναμο με το φορμαλισμό των σημασιολογικών δικτύων. Αποτελείται από τρία είδη αντικειμένων: οι πόροι περιγράφονται από RDF εκφράσεις και ονομάζονται πάντα από τα URIs και προαιρετικά από αναγνωριστικά. Οι ιδιότητες καθορίζουν συγκεκριμένες πτυχές, χαρακτηριστικά, ιδιότητες, ή σχέσεις που χρησιμοποιούνται

για να περιγράψουν έναν πόρο. Τέλος, οι δηλώσεις εκχωρούν μια τιμή σε μια ιδιότητα ενός συγκεκριμένου πόρου (η τιμή αυτή μπορεί να είναι μια άλλη δήλωση RDF).

Η ανάπτυξη του RDF έχει κίνητρο από τις ακόλουθες χρήσεις, μεταξύ των άλλων³⁸:

- **Μεταδεδομένα Ιστού:** παροχή πληροφοριών σχετικά με τους πόρους του Ιστού και τα συστήματα που τους χρησιμοποιούν (π.χ. διαβάθμιση του περιεχομένου, περιγραφές δυνατοτήτων, προτιμήσεις απορρήτου, κλπ.)
- **Εφαρμογές που απαιτούν ανοιχτά μοντέλα πληροφοριών** (π.χ. προγραμματισμός δραστηριοτήτων, περιγραφή οργανωτικών διαδικασιών, σχολιασμός πόρων του Παγκόσμιου Ιστού, κ.λπ.)
- **Για να καταστήσει δυνατό για τις πληροφορίες που υποβάλλονται σε επεξεργασία από μηχανές ό, τι κατέστησε δυνατό ο Παγκόσμιος Ιστός για τα υπερκείμενα:** να επιτρέψει την επεξεργασία των δεδομένων έξω από το συγκεκριμένο περιβάλλον μέσα στο οποίο δημιουργήθηκαν, με τρόπο που να μπορεί να λειτουργήσει σε διαδικτυακή κλίμακα.
- **Συνεργασία μεταξύ των εφαρμογών:** συνδυασμός στοιχείων από διάφορες εφαρμογές για δημιουργία νέων πληροφοριών.
- **Αυτοματοποιημένη επεξεργασία πληροφοριών στον Ιστό από πράκτορες λογισμικού:** ο Παγκόσμιος Ιστός μεταβαίνει προς ένα παγκόσμιο δίκτυο συνεργαζόμενων διαδικασιών. Το RDF παρέχει μια παγκόσμια γλώσσα για αυτές τις διαδικασίες.

Το RDF έχει σχεδιαστεί για να αναπαριστά πληροφορίες με έναν ελάχιστο περιοριστικό, ευέλικτο τρόπο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεμονωμένες εφαρμογές αλλά η γενικότητα του RDF παρέχει μεγαλύτερη αξία με την ανταλλαγή. Επομένως, η αξία των πληροφοριών αυξάνεται όσο αποκτά προσβασιμότητα σε περισσότερες εφαρμογές σε ολόκληρο το Διαδίκτυο.

Ο σχεδιασμός του RDF στοχεύει να καλύψει τους ακόλουθους στόχους:

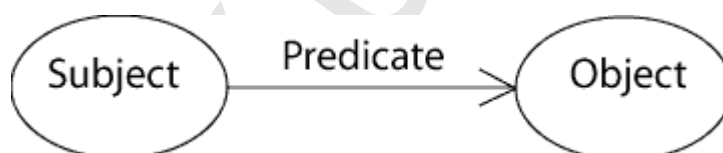
- *Να έχει ένα απλό μοντέλο δεδομένων.*
Το RDF έχει ένα απλό μοντέλο δεδομένων που καθιστά εύκολη για τις εφαρμογές την επεξεργασία και τη διαχείριση. Το μοντέλο δεδομένων είναι ανεξάρτητο οποιασδήποτε συγκεκριμένης σύνταξης σειριοποίησης.
- *Να διαθέτει επίσημη σημασιολογία και αποδείξιμα συμπεράσματα.*
Το RDF έχει μια επίσημη σημασιολογία που παρέχει μια αξιόπιστη βάση για την αιτιολόγηση σχετικά με την έννοια μιας έκφρασης RDF. Ειδικότερα, υποστηρίζει αυστηρά τις ορισμένες έννοιες συνεπαγωγής που παρέχουν μια βάση για ορισμό αξιόπιστων κανόνων συμπερασμάτων σε δεδομένα RDF.
- *Να χρησιμοποιεί ένα επεκτάσιμο λεξιλόγιο βασισμένο στο URI.*
Το λεξιλόγιο είναι πλήρως επεκτάσιμο, βασιζόμενο σε URIs με προαιρετικά τμήματα αναγνωριστικών(αναφορές URI, ή URIsrefs). Οι αναφορές URI χρησιμοποιούνται για την ονομασία όλων των ειδών πραγμάτων στο RDF.
- *Να χρησιμοποιεί σύνταξη βασισμένη στην XML.*
Το RDF έχει μία συνιστώμενη μορφή σειριοποίησης XML, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κωδικοποιήσει το μοντέλο δεδομένων για ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των εφαρμογών.
- *Να υποστηρίζει τη χρήση των τύπων δεδομένων του XML σχήματος.*
Το RDF μπορεί να χρησιμοποιήσει τιμές που παρουσιάζονται σύμφωνα με τους τύπους δεδομένων του XML σχήματος, βοηθώντας, έτσι, την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ RDF και άλλων XML εφαρμογών.

³⁸ "XML, RDF and the Relatives", by Michel Klein, <http://ebiz.u-aizu.ac.jp/~paikic/lecture/2005-2/CFS/SemanticWeb-1/RDFXML.pdf>

- **Να επιτρέπει σε οποιονδήποτε να κάνει δηλώσεις σχετικά με οποιαδήποτε πηγή.**
Για να διευκολύνει τη λειτουργία σε κλίμακα του Διαδικτύου, το RDF είναι ένα ανοικτό παγκόσμιο πλαίσιο που επιτρέπει σε οποιονδήποτε να προβεί σε δηλώσεις σχετικά με οποιαδήποτε πηγή.
Σε γενικές γραμμές, δεν είναι δεδομένο ότι είναι διαθέσιμες ολοκληρωμένες πληροφορίες σχετικά με οποιοδήποτε πόρο. Το RDF δεν αποτρέπει κανέναν από το να κάνει ισχυρισμούς που είναι παράλογοι ή δεν συνάδουν με άλλες δηλώσεις, ή τον κόσμο όπως τον βλέπουν οι άνθρωποι. Οι σχεδιαστές εφαρμογών που χρησιμοποιούν το RDF θα πρέπει να το γνωρίζουν αυτό και μπορούν να σχεδιάζουν τις εφαρμογές τους έτσι, ώστε να αντιμετωπίζουν τις μη πλήρεις ή ασυνεπείς πηγές πληροφοριών.
Το RDF χρησιμοποιεί τις ακόλουθες βασικές έννοιες³⁹:
 - Μοντέλο δεδομένων γραφημάτων
 - Λεξιλόγιο με βάση το URI
 - Τύποι δεδομένων
 - Λεκτικές Σταθερές
 - Σύνταξη XML σειριοποίησης
 - Έκφραση απλών γεγονότων
 - Συνεπαγωγή

Μοντέλο δεδομένων γραφημάτων

Η βασική δομή της κάθε έκφρασης σε RDF είναι μια συλλογή από τριάδες όπως φαίνεται στο σχήμα 10, η καθεμία αποτελούμενη από ένα υποκείμενο, ένα κατηγορημα και ένα αντικείμενο. Ένα σύνολο τέτοιων τριάδων αποτελεί ένα γράφημα RDF. Αυτό μπορεί να απεικονιστεί από ένα διάγραμμα με κόμβους και κατευθυνόμενα τόξα, στο οποίο κάθε τριάδα αναπαρίσταται ως ένας σύνδεσμος κόμβου-τόξου-κόμβου.



Σχήμα 10. Δομή έκφρασης RDF

Κάθε τριάδα αντιπροσωπεύει μια δήλωση μιας σχέσης μεταξύ των πραγμάτων που συμβολίζονται με τους κόμβους που ενώνει. Κάθε τριάδα αποτελείται από τρία μέρη:

1. ένα υποκείμενο,
2. ένα αντικείμενο, και
3. ένα κατηγορημα, που ορίζει μία σχέση.

Η κατεύθυνση του τόξου είναι σημαντική και είναι πάντοτε στραμμένη προς το αντικείμενο. Οι κόμβοι ενός γραφήματος RDF είναι τα υποκείμενα και τα αντικείμενά του.

³⁹ “Resource Description Framework (RDF): Concepts and Abstract Syntax”, W3C Recommendation, 10 February 2004, <http://travesia.mcu.es/portalnb/jspui/bitstream/10421/2427/1/rdf-concepts%20and%20abstract%20syntax.pdf>

Ο ισχυρισμός μιας RDF τριάδας λέει ότι κάποια σχέση, που υποδεικνύεται από το κατηγορήμα, συνδέει τα πράγματα που έχουν οριστεί ως το υποκείμενο και το αντικείμενο της τριάδας.

Λεξιλόγιο με βάση το URI και Αναγνώριση Κόμβου

Ένας κόμβος μπορεί να είναι ένα URI με ένα προαιρετικό αναγνωριστικό τμήμα (URIref), μία κυριολεκτική έννοια, ή κενός.

Μία αναφορά URI ή μία λεκτική σταθερά χρησιμοποιημένες ως κόμβοι, προσδιορίζουν τι αντιπροσωπεύει ο κόμβος. Μία αναφορά URI, χρησιμοποιημένη ως κατηγορήμα, προσδιορίζει μια σχέση μεταξύ των πραγμάτων που εκπροσωπούνται από τους κόμβους που συνδέει. Μία αναφορά URI, χρησιμοποιημένη ως κατηγορήμα μπορεί επίσης να είναι κόμβος στο διάγραμμα.

Ένας κενός κόμβος είναι ένας κόμβος που δεν είναι μια αναφορά URI ή λεκτική σταθερά. Στην αφηρημένη RDF σύνταξη, ένας κενός κόμβος είναι απλώς ένας μοναδικός κόμβος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια ή περισσότερες δηλώσεις RDF, αλλά δεν έχει ουσιαστική ονομασία.

Μια σύμβαση που χρησιμοποιείται από γραμμικές παραστάσεις ενός γραφήματος RDF για να επιτρέψει σε πολλές δηλώσεις να αναφέρουν τον ίδιο απροσδιόριστο πόρο είναι η χρήση ενός κενού κόμβου αναγνωριστικού, ο οποίος είναι ένα τοπικό αναγνωριστικό που μπορεί να διακριθεί από όλα τα URIs και τις λεκτικές σταθερές.

Όταν συγχωνεύονται γραφήματα, οι κενοί κόμβοι πρέπει να διαχωρίζονται, εφόσον η έννοια πρέπει να διατηρηθεί. Αυτό μπορεί να απαιτήσει εκ νέου κατανομή των κενών αναγνωριστικών κόμβων.

Τύποι Δεδομένων

Οι τύποι δεδομένων χρησιμοποιούνται από το RDF στην αναπαράσταση τιμών όπως ακέραιοι αριθμοί, αριθμοί κινητής υποδιαστολής και ημερομηνίες.

Το RDF προκαθορίζει έναν μόνο τύπο δεδομένων rdf:XMLLiteral, που χρησιμοποιείται για την ενσωμάτωση της XML σε RDF.

Το RDF δεν προβλέπει κανένα μηχανισμό για ορισμό νέων τύπων δεδομένων. Το XML Schema Datatypes παρέχει ένα πλαίσιο επέκτασης κατάλληλο για ορισμό νέων τύπων δεδομένων για χρήση σε RDF.

Λεκτικές Σταθερές

Οι Λεκτικές σταθερές χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό τιμών, όπως αριθμοί και οι ημερομηνίες μέσω μιας λεκτικής αναπαράστασης. Οτιδήποτε προσδιορίζεται με μια λεκτική σταθερά θα μπορούσε επίσης να προσδιορίζεται από ένα URI, αλλά είναι συχνά πιο κατάλληλο και εύκολη η χρήση λεκτικών σταθερών. Μια λεκτική σταθερά μπορεί να είναι το αντικείμενο μιας δήλωσης RDF, αλλά όχι το υποκείμενο ή το κατηγορήμα.

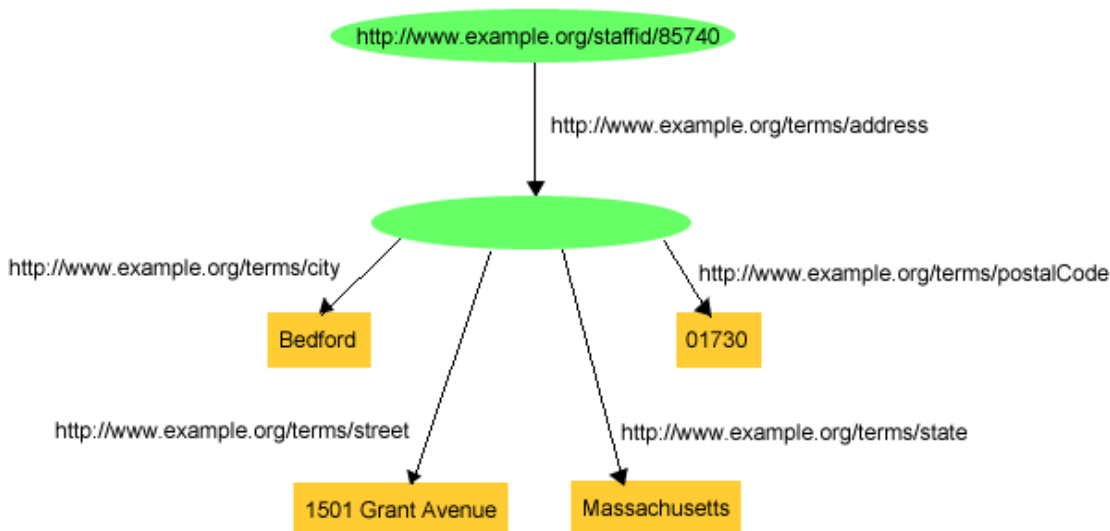
Έκφραση Απλών Γεγονότων

Μερικά απλά γεγονότα υποδεικνύουν μια σχέση ανάμεσα σε δύο πράγματα. Ένα τέτοιο γεγονός μπορεί να αντιπροσωπεύεται από μια RDF τριάδα στην οποία το κατηγορήμα ονομάζει την σχέση, και το υποκείμενο και το αντικείμενο δηλώνουν τα δύο πράγματα. Μια γνωστή αναπαράσταση ενός τέτοιου γεγονότος μπορεί να είναι η γραμμή ενός πίνακα σε μια σχεσιακή βάση δεδομένων. Ο πίνακας έχει δύο στήλες, που αντιστοιχούν στο αντικείμενο και το υποκείμενο της RDF τριάδας. Το όνομα του πίνακα αντιστοιχεί στο κατηγορήμα.

Οι σχεσιακές βάσεις δεδομένων επιτρέπουν σε έναν πίνακα να έχουν αυθαίρετο αριθμό στηλών, μια σειρά του οποίου εκφράζει πληροφορίες που αντιστοιχούν σε ένα κατηγορήμα στη λογική πρώτης τάξης με έναν αυθαίρετο αριθμό θέσεων. Μια τέτοια σειρά, ή κατηγορήμα, πρέπει να αποσυντεθεί για την αναπαράστασή της σε RDF τριάδες. Μια απλή μορφή αποσύνθεσης εισάγει ένα νέο κενό κόμβο, που αντιστοιχεί στη γραμμή, και μια νέα τριάδα εισάγεται για κάθε κελί της γραμμής. Το υποκείμενο της κάθε τριάδας είναι ο νέος κενός κόμβος, το κατηγορήμα αντιστοιχεί στο όνομα της στήλης, και το αντικείμενο αντιστοιχεί στην τιμή του

κελιού. Ο νέος κενός κόμβος μπορεί να έχει επίσης μια ιδιότητα `rdf:type` η τιμή του οποίου αντιστοιχεί στο όνομα του πίνακα⁴⁰.

Στην εικόνα 6 απεικονίζεται ένα τέτοιο παράδειγμα με χρήση κενού κόμβου.



Εικόνα 6. Σχεσιακή βάση δεδομένων με χρήση κενού κόμβου

Αυτές οι πληροφορίες θα μπορούσαν να αντιστοιχούν στη γραμμή ενός πίνακα με το όνομα "STAFFADDRESSES", με primary key STAFFID και στήλες STREET, STATE, CITY και POSTALCODE.

Ένα πιο σύνθετο γεγονός εκφράζεται σε RDF χρησιμοποιώντας σύζευξη (λογικό- ΚΑΙ) απλών δυαδικών σχέσεων. Το RDF δεν παρέχει τα μέσα για την έκφραση άρνησης (NOT) ή διάζευξης (OR).

Μέσω της χρήσης του επεκτάσιμου λεξιλογίου με βάση το URI, το RDF επιτρέπει την έκφραση γεγονότων σχετικά με αυθαίρετα θέματα. Ένα URI μπορεί να κατασκευαστεί για κάθε πράγμα που μπορεί να ονομαστεί, έτσι τα RDF γεγονότα μπορούν να αφορούν οποιαδήποτε τέτοιου είδους πράγματα.

Συνεπαγωγή

Οι ιδέες για την σημασία και το συμπέρασμα σε RDF υποστηρίζεται από την επίσημη έννοια της συνεπαγωγής. Εν συντομία, μια RDF έκφραση A λέγεται ότι συνεπάγεται μια άλλη RDF έκφραση B εάν κάθε πιθανή διάταξη των πραγμάτων στον κόσμο που κάνει την A αληθινή κάνει και τη B αληθινή. Βάσει αυτών, αν η αλήθεια του A ή θεωρείται δεδομένη ή αποδεικνύεται, τότε συνεπάγεται και η αλήθεια του B.

Το RDF μοντέλο δεδομένων δεν παρέχει μηχανισμούς για τον προσδιορισμό των σχέσεων μεταξύ των ιδιοτήτων και των πόρων. Αυτός είναι ο ρόλος του RDFS. Το RDFS προσφέρει αρχέτυπα για τον καθορισμό μοντέλων γνώσης που είναι πιο κοντά σε προσεγγίσεις βασισμένες σε πλαίσια. Το RDF (S) χρησιμοποιείται ευρέως ως μια μορφή αναπαράστασης σε πολλά εργαλεία και προγράμματα, όπως τα Amaya, Protégé, Mozilla, SilRI, και ούτω καθεξής.

Η XML παρέχει μια σύνταξη για την κωδικοποίηση των δεδομένων. Το RDF είναι ένας μηχανισμός που λέει πράγματα σχετικά με τα δεδομένα. Όπως υποδηλώνει το όνομα, δεν είναι μια γλώσσα, αλλά ένα μοντέλο για την αναπαράσταση των δεδομένων σχετικά με «τα πράγματα στον Ιστό». Αυτό το είδος των δεδομένων σχετικά με τα δεδομένα ονομάζεται

⁴⁰ "XML, RDF and the Relatives", by Michel Klein, <http://ebiz.u-aizu.ac.jp/~paikic/lecture/2005-2/CFS/SemanticWeb-1/RDFXML.pdf>

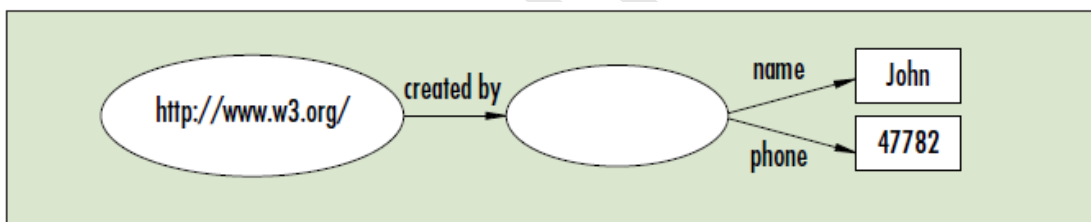
μεταδεδομένα. Τα "πράγματα" είναι οι πόροι στο λεξιλόγιο RDF. Το βασικό μοντέλο δεδομένων του RDF είναι απλό.

Εκτός από τους πόρους, περιέχει τις ιδιότητες και τις δηλώσεις. Μια ιδιότητα είναι ένα συγκεκριμένο θέμα, χαρακτηριστικό, ιδιότητα ή σχέση που περιγράφει έναν πόρο. Μια δήλωση αποτελείται από έναν συγκεκριμένο πόρο με την ονομασμένη ιδιότητα συν την τιμή της εν λόγω ιδιότητας για αυτόν τον πόρο. Αυτή η τιμή μπορεί να είναι άλλος πόρος ή μια λεκτική σταθερά. Συνολικά, μία περιγραφή RDF είναι μια λίστα τριάδων: ένα υποκείμενο (ένας πόρος), ένα κατηγορημα (μια ιδιότητα), και ένα αντικείμενο (μια τιμή που μπορεί να είναι ένας πόρος ή ελεύθερο κείμενο). Για παράδειγμα, ο πίνακας 1 παρουσιάζει τις τρεις τριάδες που είναι απαραίτητες για να διευκρινίσουν ότι μια συγκεκριμένη ιστοσελίδα δημιουργήθηκε από κάποιον με το όνομα "John" και με αριθμό τηλεφώνου «47782».

Subject	Predicate	Object
http://www.w3.org/	created_by	#anonymous_resource1
#anonymous_resource1	name	"John"
#anonymous_resource1	phone	"47782"

Πίνακας 1: Μια περιγραφή RDF αποτελούμενη από τρεις τριάδες

Η απεικόνιση ενός μοντέλου RDF είναι εύκολη με ένα κατευθυνόμενο γράφημα. Κάθε πόρος αναπαρίστανται με ένα οβάλ και κάθε κατηγορημα με ένα τόξο, και οι λεκτικές τιμές αναπαρίστανται από κουτιά με τιμές. Η εικόνα 7 δείχνει ένα τέτοιο γράφημα για τα τρίκλινα στον πίνακα 1.



Εικόνα 7. Κατευθυνόμενο γράφημα μοντέλου rdf

Το παράδειγμα αποκαλύπτει ότι το RDF αγνοεί την σύνταξη. Παρέχει μόνο ένα μοντέλο για την αναπαράσταση μεταδεδομένων. Η λίστα με τις τριάδες είναι μία πιθανή αναπαράσταση, όπως είναι, επίσης, και το επισημασμένο γράφημα, και άλλες συντακτικές αναπαραστάσεις. Φυσικά, η XML θα ήταν μια προφανής υποψηφιότητα για μια εναλλακτική αναπαράσταση. Οι προδιαγραφές του μοντέλου δεδομένων περιλαμβάνουν μια τέτοια βασισμένη σε XML κωδικοποίηση του RDF.

Όπως με την XML, ένα μοντέλο RDF δεν ορίζει την σημασιολογία της κάθε εφαρμογής τομέα ή κάνει υποθέσεις σχετικά με έναν συγκεκριμένο τομέα. Απλά προσφέρει έναν μηχανισμό ουδέτερου τομέα για την περιγραφή μεταδεδομένων. Ο ορισμός των ιδιοτήτων του τομέα και της σημασιολογίας του απαιτεί πρόσθετες εγκαταστάσεις.

4.4.4. RDF Schema

Βασικά, το RDF Schema είναι ένα απλό σύστημα τύπου για το RDF. Παρέχει ένα μηχανισμό ορισμού ιδιοτήτων σχετικά με τους τομείς και τάξεις των πόρων στους οποίους μπορούν να εφαρμοστούν αυτές οι ιδιότητες.

Οι βασικές αρχές μοντέλου στο RDF Schema είναι ορισμοί κλάσεων και υποκατηγορίες των δηλώσεων (που από κοινού επιτρέπουν τον ορισμό των ιεραρχιών κλάσεων), των ορισμών ιδιοτήτων και των υπό-ιδιοτήτων των δηλώσεων (για την κατασκευή ιεραρχιών ιδιοτήτων), των τομέων και του εύρους δηλώσεων (για τον περιορισμό των πιθανών συνδυασμών ιδιοτήτων και κλάσεων), καθώς και των δηλώσεων τύπου (για τη δήλωση ενός πόρου ως στιγμιότυπο μιας συγκεκριμένης κλάσης). Με αυτές τις αρχές είναι δυνατή η δημιουργία ενός Schema για έναν συγκεκριμένο τομέα. Στο παράδειγμα μπορεί να οριστεί ένα Schema που δηλώνει δύο κλάσεις πόρων, Person και WebPage, και δύο ιδιότητες, name και phone, αμφότερες με τον τομέα Person και λεκτικό (Literal) εύρος. Αυτό το Schema θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να ορίσει τον πόρο <http://www.w3.org/> ως ένα στιγμιότυπο της κλάσης WebPage και το anonymous resource ως ένα στιγμιότυπο της κλάσης Person. Αυτό θα δώσει κάποια ερμηνεία και δυνατότητες επικύρωσης στα δεδομένα RDF⁴¹.

Το RDF Schema είναι αρκετά απλό σε σύγκριση με τις πλήρεις γλώσσες αναπαράστασης γνώσης. Επίσης, εξακολουθεί να μην παρέχει ακριβή σημασιολογία. Ωστόσο, η παράλειψη αυτή είναι εν μέρει εκ προθέσεως. Το W3C προβλέπει και τάσσεται υπέρ της περαιτέρω επέκτασης στο RDF Schema.

Επειδή οι προδιαγραφές του RDF Schema είναι επίσης ένα είδος μεταδεδομένων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το RDF για την κωδικοποίησή του. Αυτό ακριβώς συμβαίνει στο έγγραφο προδιαγραφής RDF Schema. Επιπλέον, η προδιαγραφή παρέχει ένα έγγραφο RDF Schema που καθορίζει τις ιδιότητες και τις κλάσεις που εισήγαγαν οι προδιαγραφές του RDF Schema. Όπως και με την προδιαγραφή του XML Schema, ένας τέτοιος αναδρομικός ορισμός του RDF Schema φαίνεται κάπως συγκεχυμένος.

Η ένθετη «υποκείμενο-κατηγορημα-αντικείμενο» δομή του RDF ικανοποιεί την απαίτηση παγκόσμιας εκφραστικής δύναμης για μια μορφή ανταλλαγής, αν και αυτό δεν είναι εύκολο να φανεί. Μεταγλωττιστές RDF ανεξάρτητοι εφαρμογών είναι επίσης διαθέσιμοι, έτσι το RDF πληροί και την απαίτηση για συντακτική διαλειτουργικότητα.

Όσον αφορά την σημασιολογική διαλειτουργικότητα, το RDF έχει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι της XML. Η διάρθρωση αντικείμενο-κατηγορημα παρέχει φυσικές σημασιολογικές μονάδες, καθώς όλα τα αντικείμενα είναι ανεξάρτητες οντότητες. Ένα μοντέλο τομέα, για τον καθορισμό των σχέσεων και των αντικειμένων, μπορεί να αναπαρασταθεί φυσικά στο RDF, κι έτσι, δεν είναι απαραίτητα τα βήματα μετάφρασης όπως στην XML. Για την εύρεση αντιστοιχίσεων μεταξύ δυο περιγραφών RDF, τεχνικές από την έρευνα στην αναπαράσταση της γνώσης είναι άμεσα εφαρμόσιμες. Φυσικά, αυτό δε λύνει το πρόβλημα της γενικής διαλειτουργικότητας της εύρεσης σημασιολογίας που να διατηρεί τις αντιστοιχίσεις μεταξύ των αντικειμένων, αλλά χρησιμοποιώντας RDF για ανταλλαγή δεδομένων ανεβαίνει το επίπεδο της δυναμικής επαναχρησιμοποίησης των στοιχείων του λογισμικού πολύ πέρα από την επαναχρησιμοποίηση του μεταγλωττιστή, το οποίο αποτελεί ό, τι έχει να προσφέρει η XML. Επιπλέον, το μοντέλο RDF (και του λογισμικού που χρησιμοποιεί το μοντέλο RDF), μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί ακόμη και αν αλλάξει ή εξαφανιστεί η σύνταξη XML, καθώς το RDF περιγράφει ένα στρώμα ανεξάρτητο της XML.

4.4.5.XML-based Ontology Exchange Language (XOL)

Η αμερικανική κοινότητα βιοπληροφορικής σχεδίασε την XOL για την ανταλλαγή ορισμών οντολογιών μεταξύ ετερογενών συνόλων συστημάτων λογισμικού στον τομέα (domain) τους. Οι ερευνητές το δημιούργησαν ύστερα από μελέτη των αναγκών αναπαράστασης των εμπειρογνομώνων στη βιοπληροφορική. Επέλεξαν τις Ontolingua και OML ως βάση για τη δημιουργία της XOL, συγχωνεύοντας την υψηλή εκφραστικότητα της OKBC-Lite, ένα

⁴¹ “Learning to match ontologies on the SemanticWeb”, AnHai Doan, Jayant Madhavan, Robin Dhamankar, Pedro Domingos, Alon Halevy, published September 17, 2003, <http://osm7.cs.byu.edu/CS652s04/DMD%2B03Learning.pdf>

υποσύνολο του πρωτοκόλλου Open Knowledge Based Connectivity, καθώς και την σύνταξη της OML, που βασίζεται στην XML.

Η σύνταξη της XOL βασίζεται στην XML, η οποία είναι μια γλώσσα για τη σύνταξη εγγράφων για τον Παγκόσμιο Ιστό. Η σύνταξη της XML επιλέχθηκε επειδή είναι εύλογα εύκολο να αναλυθεί, η σύνταξή της είναι σαφώς ορισμένη, είναι αναγνώσιμη από τον άνθρωπο, φαίνεται ότι η XML θα χρησιμοποιείται ευρύτατα, και φαίνεται, επίσης, ότι πολλά εργαλεία λογισμικού για ανάλυση και χειρισμό της XML θα είναι σύντομα διαθέσιμα. Η σημασιολογία της XOL βασίζεται στην OKBC-Lite, η οποία είναι μια απλουστευμένη μορφή του μοντέλου γνώσης για την OKBC (Open Knowledge Base Connectivity). Η OKBC είναι ένα API για την πρόσβαση σε συστήματα αναπαράστασης γνώσης πλαισίου. Το μοντέλο γνώσης της υποστηρίζει τα χαρακτηριστικά που εντοπίζονται συχνότερα στα συστήματα αναπαράστασης γνώσης, στις βάσεις δεδομένων αντικειμένων και τις σχεσιακές βάσεις δεδομένων (αν και έως τώρα δεν υποστηρίζονται όλοι οι τύποι δεδομένων για τις βάσεις δεδομένων αντικειμένων και τις σχεσιακές). Η OKBC-Lite έχει αποσπάσει τα περισσότερα από τα ουσιώδη χαρακτηριστικά της OKBC, ενώ δεν περιλαμβάνει μερικές από τις πιο σύνθετες πτυχές του⁴².

Η XOL είναι παρόμοια με άλλες γλώσσες ανταλλαγής οντολογιών. Η ανάπτυξη της εμπνεύστηκε από την Ontolingua και την OML. Η XOL διαφέρει από την Ontolingua στην σύνταξη, καθώς βασίζεται σε XML και όχι σε Lisp. Η σημασιολογία της OKBC-Lite είναι πολύ παρόμοια με εκείνη της Ontolingua. Η XOL διαφέρει από την OML με την έννοια ότι η σημασιολογία της OML βασίζεται σε εννοιολογικά γραφήματα, τα οποία έχουν ορισμένες διαφορές από την OKBC-Lite.

Το μοντέλο γνώσης OKBC-Lite παρέχει ακριβείς ορισμούς για τις αντιλήψεις, τις σχέσεις, τα αντικείμενα και τους περιορισμούς. Το OKBC-Lite μοντέλο μπορεί να εκφράζει τα σχήματα που χρησιμοποιούνται σε ορισμένους τύπους συστημάτων διαχείρισης πληροφοριών, όπως τα σχήματα σχεσιακών βάσεων δεδομένων, τα σχήματα βάσεων δεδομένων αντικειμένων και τις βάσεις γνώσης που χρησιμοποιούνται σε συστήματα αναπαράστασης γνώσης πλαισίου. Το OKBC-Lite συναθροίζει, επίσης, λιγότερο σύνθετους τύπους οντολογιών, συμπεριλαμβανομένων των ελεγχόμενων λεξιλογίων και των ταξινομήσεων.

Πέρα από τις πληροφορίες σχήματος, η οντολογία περιλαμβάνει, επίσης, άλλες πληροφορίες, όπως μεμονωμένα αντικείμενα μέσα σε έναν διαχειριστή βάσης δεδομένων αντικειμένων, ή μεμονωμένες γραμμές μέσα σε μια σχεσιακή βάση δεδομένων. Η συμπερίληψη και των σχημάτων και των δεδομένων στα πλαίσια του ορισμού της οντολογίας, δεν είναι ασυνήθιστη δεδομένης της κεντρικής σημασίας της επαναχρησιμοποίησης στην ανάπτυξη των οντολογιών. Είναι σύνηθες για τους προγραμματιστές εφαρμογών να θέλουν να χρησιμοποιήσουν ξανά τα δεδομένα καθώς και τις πληροφορίες σχήματος στις εφαρμογές.

Η ανταλλαγή οντολογιών είναι σημαντική για πολλούς λόγους. Πρώτον, η ανάπτυξη οντολογιών που αποτελεί προϋπόθεση για τον σχεδιασμό βάσεων δεδομένων και για την ανάπτυξη συστημάτων βασισμένων στη γνώση είναι δύσκολη και χρονοβόρα. Διαφορετικές ομάδες ή οργανισμοί που επιθυμούν την ανάπτυξη βάσεων δεδομένων για τους ίδιους τύπους πληροφοριών συχνά θα καταλήξουν σε μια λύση πιο γρήγορα υιοθετώντας μια υπάρχουσα οντολογία παρά με την ανάπτυξη μιας νέας οντολογίας.

Δεύτερον, αν διάφορες βάσεις δεδομένων που καλύπτουν τους ίδιους τύπους δεδομένων (π.χ., αρχεία εργαζομένων), χρησιμοποιούν την ίδια οντολογία, απλοποιούν το πρόβλημα της ολοκλήρωσης των βάσεων δεδομένων, δηλαδή, την επεξεργασία ερωτημάτων σε πολλαπλές βάσεις δεδομένων. Η ύπαρξη διαφορετικών οντολογιών για τους ίδιους τύπους

⁴² “XOL: An XML-Based Ontology Exchange Language”, Peter D. Karp, Vinay K. Chaudhri and Jerome Thomere, <http://www.sri.com/sites/default/files/uploads/publications/pdf/676.pdf>

δεδομένων δημιουργεί ένα σημασιολογικό πρόβλημα αναντιστοιχίας που περιπλέκει το πρόβλημα αυτό⁴³.

Τρίτον, οι προγραμματιστές πολλών βάσεων δεδομένων επιθυμούν να κοινοποιήσουν τα σχήματά τους στους χρήστες τους σε μια τυπικά καθορισμένη, εύκολα κατανοητή μορφή, έτσι, ώστε οι χρήστες να έχουν πλήρη κατανόηση της σημασιολογίας αυτών των βάσεων δεδομένων.

Τέταρτον, η κοινή χρήση οντολογιών είναι σημαντική, διότι οι ίδιες οι οντολογίες αποτελούν μια μορφή γνώσης που κάποιες κοινότητες (όπως οι επιστημονικοί κλάδοι) επιθυμούν να μοιραστούν.

Η γλώσσα XOL έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ένα μηχανισμό για την κωδικοποίηση οντολογιών μέσα σε ένα απλό αρχείο που μπορεί εύκολα να δημοσιευτεί στον Παγκόσμιο Ιστό για ανταλλαγή μεταξύ ενός συνόλου προγραμματιστών εφαρμογών. Η γλώσσα έχει σχεδιαστεί έτσι, ώστε να είναι αναγνώσιμη από τον άνθρωπο και να είναι εύκολα μεταφράσιμη από τα προγράμματα μέτριας πολυπλοκότητας. Έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι εύκολα κατανοητή από ανθρώπους που δεν έχουν πλήρη κατανόηση της XML. Έχει, επίσης, σχεδιαστεί για να είναι εκφραστική, έτσι, ώστε να μπορεί να συλλάβει μια πλούσια ποικιλία οντολογιών.

Η XOL είναι μια γλώσσα για την ανταλλαγή οντολογιών. Λέγοντας γλώσσα ανταλλαγής, εννοούμε ότι η XOL προορίζεται να χρησιμοποιηθεί ως ενδιάμεση γλώσσα για τη μεταφορά οντολογιών μεταξύ διαφόρων συστημάτων βάσεων δεδομένων, εργαλείων ανάπτυξης οντολογιών ή προγραμμάτων εφαρμογών.

Για παράδειγμα, μια ομάδα που αναπτύσσει μια επιστημονική βάση δεδομένων θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει το σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων (ΣΔΒΔ) της Oracle για να υλοποιήσει τη ΒΔ. Ωστόσο, η ομάδα θα μπορούσε να μεταφράσει το σχήμα ΣΔΒΔ από SQL σε XOL, και στη συνέχεια να δημοσιεύσει το αρχείο που προκύπτει στον Παγκόσμιο Ιστό για παραπομπή στους χρήστες της βάσης δεδομένων, ή σε άλλες ομάδες που αναπτύσσουν παρόμοιες βάσεις δεδομένων. Η ομάδα μπορεί να μετατρέψει το σχήμα της σε XOL, χρησιμοποιώντας έναν υπάρχοντα από SQL σε XOL μεταφραστή. Ή, αν η ομάδα σχεδιάσει το σχήμα ΣΔΒΔ με χρήση γραφικού εργαλείου, όπως ένα εργαλείο UML, θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει έναν προϋπάρχοντα μεταφραστή από UML σε XOL για να μεταφράσει το σχήμα σε XOL.

Μια άλλη επιστημονική ομάδα ανάπτυξης βάσης δεδομένων θα μπορούσε να βρει την παραπάνω οντολογία σε μορφή XOL στον Παγκόσμιο Ιστό. Η ομάδα θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει ένα άλλο πρόγραμμα μετάφρασης για να μετατρέψει την οντολογία στη μορφή που χρησιμοποιείται από το ΣΔΒΔ της ή το εργαλείο ανάπτυξης οντολογιών.

Η XOL μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιηθεί για ανταλλαγή στιγμιότυπων βάσεων δεδομένων. Για παράδειγμα, όλα τα στιγμιότυπα αντικειμένων μέσα σε μια αντικειμενοστρεφή βάση δεδομένων, ή μια σχεσιακή βάση δεδομένων, θα μπορούσαν να αποθηκευτούν σε ένα αρχείο XOL για μεταφορά σε άλλο οργανισμό που χρησιμοποιεί είτε το ίδιο ΣΔΒΔ με τον αρχικό οργανισμό, είτε ένα διαφορετικό ΣΔΒΔ. Και πάλι, για να είναι εφικτή η ανταλλαγή πρέπει να κατασκευαστούν μεταφραστές μεταξύ κάθε ΣΔΒΔ και της γλώσσας XOL.

Η XOL δεν είναι ένα περιβάλλον λογισμικού για την ανάπτυξη οντολογιών, όπως η Ontolingua ή το GKB-Editor. Ωστόσο, δεδομένου ότι τα XOL αρχεία είναι αρχεία κειμένου, ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου ή επεξεργασίας XML μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συγγραφή αρχείων XOL. Παρόλο που ορισμένοι XOL χρήστες χρησιμοποιούν αυτήν την προσέγγιση, αυτή η προδιαγραφή αποθαρρύνει αυτήν την πρακτική, διότι η χειρόγραφη συγγραφή των XOL αρχείων είναι πιθανόν να οδηγήσει σε αρχεία που είναι συντακτικά ή σημασιολογικά ακατάλληλα, ή και τα δύο. Ωστόσο, δεδομένου ότι η γλώσσα XML είναι σε πολύ πρώιμο στάδιο ανάπτυξης, αναμένεται να είναι σύντομα διαθέσιμα εργαλεία τέτοια, ώστε η χειρωνακτική συγγραφή XOL εγγράφων να είναι αναγκαία μόνο για το άμεσο μέλλον.

⁴³ “Ontology Languages for the Semantic Web”, Asunción Gómez-Pérez and Oscar Corcho, <http://oa.upm.es/2646/1/JCR01.pdf>

Ο σχεδιασμός της XOL χρησιμοποιεί εσκεμμένα μια γενική προσέγγιση για τον ορισμό οντολογιών, που σημαίνει ότι το ενιαίο σύνολο ετικετών XML (που ορίζονται από ένα XML DTD) που ορίζεται για την XOL μπορεί να περιγράψει οποιαδήποτε και κάθε οντολογία. Η προσέγγιση αυτή έρχεται σε αντίθεση με τις προσεγγίσεις που λαμβάνονται από άλλες γλώσσες XML σχήματος, στις οποίες συνήθως χρησιμοποιείται ένα γενικό σύνολο ετικετών για τον καθορισμό του σχήματος της οντολογίας, και το ίδιο το σχήμα χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει μια δεύτερη σειρά ετικετών για εφαρμογές (και ένα DTD για εφαρμογές) που με την σειρά τους χρησιμοποιούνται για να κωδικοποιήσουν ένα ξεχωριστό αρχείο XML που περιέχει το τμήμα δεδομένων της οντολογίας.

Ας εξετάσουμε τους ακόλουθους XOL ορισμούς⁴⁴:

```
<class>
  <name>person</name>
</class>
<slot>
  <name>age</name>
  <domain>person</domain>
  <value-type>integer</value-type>
  <numeric-max>150</numeric-max>
</slot>
<individual>
  <name>fred</name>
  <type>person</type>
  <slot-values>
    <name>age</name>
    <value>35</value>
  </slot-values>
</individual>
```

Όλα τα στοιχεία XML, όπως "class", "individual", και "name" είναι γενικά, δεν αφορούν την οντολογία Person που ορίζεται σε αυτό το παράδειγμα, αφορούν όλες τις οντολογίες. Όλες οι πληροφορίες που σχετίζονται με τις οντολογίες βρίσκονται στο τμήμα κειμένου του αρχείου XML, δηλαδή, μεταξύ των ζευγών στοιχείων.

Αντίθετα, θα μπορούσαμε να φανταστούμε το ακόλουθο είδος σήμανσης XML για να καθορίσει το άτομο Fred:

```
<person>
  <name>fred</name>
  <age>35</age>
</person>
```

Το προηγούμενο κείμενο δεν αποτελεί έγκυρη προδιαγραφή XOL επειδή οι ετικέτες που χρησιμοποιεί (όπως το "person" και "age"), δεν ορίζονται από την XOL. Αυτό το κείμενο είναι έγκυρο έγγραφο XML, αλλά δεν είναι έγκυρο XOL. Δεν αποτελούν όλα τα έγκυρα XML έγκυρα XOL.

Η γενική μορφή ενός εγγράφου XOL έχει ως εξής. Το έγγραφο αρχίζει με ένα στοιχείο module, το οποίο προσδιορίζει τη μοναδική οντολογία που περιέχεται σε αυτό το XOL αρχείο. Ακολουθούν μια σειρά από στοιχεία class, τα οποία καθορίζουν τις κλάσεις εντός της εν λόγω

⁴⁴ "Ontologies and Semantic Web", <http://www.obitko.com/tutorials/ontologies-semantic-web/description-logics.html>

οντολογίας. Μια σειρά από στοιχεία slots απαριθμεί τα slots (κάθε slot ορίζει τα χαρακτηριστικά μιας κλάσης ή την σχέση μεταξύ κλάσεων) που ορίζονται σε αυτές τις κλάσεις. Στην συνέχεια, μια σειρά από επιμέρους στοιχεία καθορίζουν τα αντικείμενα στο εσωτερικό της οντολογίας.

```

<module>
  <class>
    ...
  </class>
  <class>
    ...
  </class>
  ...
  <slot>
    ...
  </slot>
  <slot>
    ...
  </slot>
  ...
  <individual>
    ...
  </individual>
  <individual>
    ...
  </individual>
  ...
</module>

```

Το πρώτο στοιχείο του εγγράφου μπορεί να είναι ένα από τα επόμενα πέντε ονόματα:

- module
- ontology
- kb
- database
- dataset

Αυτά τα ονόματα στοιχείων είναι συνώνυμα. Η XOL παρέχει σκόπιμα πολλά συνώνυμα για χρήση εντός των ορισμών του επειδή οι διαφορετικές κοινότητες είναι συνηθισμένες στη χρήση διαφορετικών όρων για αυτά που είναι ουσιαστικά οι ίδιες βασικές έννοιες της επιστήμης των υπολογιστών.

Ολόκληρη η περιγραφή της οντολογίας δίνεται μεταξύ των ετικετών <module> και </module >. Το στοιχείο <name> καθορίζει το όνομα της οντολογίας και είναι υποχρεωτικό.

4.4.6. Simple HTML Ontology Extension (SHOE)

Η SHOE⁴⁵ συνδυάζει τα χαρακτηριστικά γλωσσών σήμανσης, αναπαράστασης γνώσης και οντολογιών σε μια προσπάθεια να αντιμετωπίσει τα ιδιαίτερα προβλήματα σημασιολογίας στον

⁴⁵ "SHOE: A Blueprint for the Semantic Web", Je_ Hein, James Hendler, Sean Luke, February 21, 2003, <http://www.cse.lehigh.edu/~heflin/pubs/swbook03.pdf>

Ιστό. Υποστηρίζει την απόκτηση γνώσης στον Παγκόσμιο Ιστό αυξάνοντάς την με ετικέτες που παρέχουν σημασιολογική έννοια. Η βασική δομή αποτελείται από οντολογίες, οι οποίες ορίζουν τους κανόνες που καθορίζουν το είδος των ισχυρισμών που μπορούν να γίνουν και το είδος των συμπερασμάτων που μπορούν να εξαχθούν, και στιγμιότυπα που εξαγουν τους ισχυρισμούς με βάση αυτούς τους κανόνες.

Η SHOE μπορεί να ενσωματωθεί άμεσα σε HTML έγγραφα ή να χρησιμοποιηθεί σε έγγραφα XML. Υπάρχουν αρκετά πλεονεκτήματα για τη χρήση συντακτικού XML. Πρώτον, αν και οι συντάξεις πιο τυπικών αναπαραστάσεων γνώσης θα μπορούσαν να ενσωματωθούν μεταξύ ενός ζεύγους οριοθετημένων ετικετών, οι συγγραφείς του Ιστού είναι άνετοι με γλώσσες βασισμένες σε ετικέτες σε στυλ XML. Δεύτερον, η σύνταξη XML επιτρέπει στις πληροφορίες SHOE να αναλύονται και να υποβάλλονται σε επεξεργασία με χρήση του Document Object Model (DOM), επιτρέποντας σε λογισμικό που γνωρίζει XML, αλλά δε γνωρίζει SHOE να εξακολουθεί να χρησιμοποιεί τις πληροφορίες με πιο περιορισμένο, αλλά παρ' όλα αυτά ισχυρό τρόπο. Ο τρίτος λόγος για τη χρήση συντακτικού XML είναι ότι τα έγγραφα SHOE μπορούν στην συνέχεια να χρησιμοποιήσουν το πρότυπο XSLT stylesheet για να αναπαραστήσουν τις πληροφορίες για ανθρώπινη χρήση. Αυτός είναι ίσως ο σημαντικότερος λόγος για την σύνταξη XML, διότι μπορεί να εξαλείψει τον πλεονασμό από την ύπαρξη ξεχωριστών συνόλων ετικετών για ανάγνωση της γνώσης από τον άνθρωπο και για ανάγνωση από μηχανή.

Η SHOE χρησιμοποιεί οντολογίες για να καθορίσει τα έγκυρα στοιχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή οντοτήτων. Κάθε οντολογία μπορεί να επαναχρησιμοποιήσει άλλες οντολογίες επεκτείνοντάς τις. Μια οντολογία αποθηκεύεται σε ένα αρχείο HTML ή XML και διατίθεται στους συγγραφείς των εγγράφων και πράκτορες SHOE τοποθετώντας τη σε έναν διακομιστή ιστού. Αυτό το αρχείο περιλαμβάνει ετικέτες που προσδιορίζουν την οντολογία, δηλώνει ποιες οντολογίες (αν υπάρχουν) έχουν επεκταθεί, και καθορίζει τα διάφορα στοιχεία της οντολογίας.

Στο συντακτικό της SHOE μια οντολογία εμφανίζεται μεταξύ των ετικετών <ONTOLOGY ID=id VERSION=version> και </ONTOLOGY>, και προσδιορίζεται από τον συνδυασμό των id και version. Μια οντολογία μπορεί να καθορίσει κατηγορίες, σχέσεις και άλλα στοιχεία με τη συμπερίληψη ειδικών ετικετών για τους σκοπούς αυτούς.

Η ετικέτα <DEF-CATEGORY> μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ορίσει τις κατηγορίες στις οποίες διάφορα στιγμιότυπα θα μπορούσαν να καταταγούν. Οι κατηγορίες μπορούν να ομαδοποιηθούν ως υποκατηγορίες σε μία ή περισσότερες υπερ-κατηγορίες, προσδιορίζοντας ουσιαστικά μια σχέση is-a που χρησιμοποιείται ευρέως σε σημασιολογικά δίκτυα και συστήματα πλαισίου. Η χρήση των κατηγοριών επιτρέπει την κατασκευή ταξινομιών από πάνω προς τα κάτω ανακατανέμοντας τις γνωστές κλάσεις σε μικρότερα σύνολα.

Η ετικέτα <DEF-RELATION> μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κάνει σχεσιακούς ορισμούς που καθορίζουν τη μορφή η σχεσιακών αξιώσεων που μπορεί να προκύψουν από στιγμιότυπα που αφορούν στιγμιότυπα και άλλα δεδομένα. Μια σχέση μπορεί να ανήκει σε έναν από τους τέσσερις βασικούς τύπους (συμβολοσειρά, αριθμός, ημερομηνία, ή λογική τιμή).

Η SHOE χρησιμοποιεί συμπερασματικούς κανόνες, που υποδεικνύονται από την ετικέτα <DEF-INFERENCE>, για να παρέχει πρόσθετα αξιώματα. Ένας συμπερασματικός κανόνας SHOE αποτελείται από ένα σύνολο από υποθέσεις και ένα σύνολο συνεπειών. Οι ετικέτες <INF-IF> και <INF-THEN> αναφέρονται στις υποθέσεις και τις συνέπειες του συμπεράσματος, αντίστοιχα. Υπάρχουν τρεις τύποι υποπρότασεων συμπερασμάτων: κατηγορία, σχέση και σύγκριση. Τα επιχειρήματα κάθε υποπρότασης μπορούν να είναι σταθερές ή μεταβλητές, όπου οι μεταβλητές υποδεικνύονται από τη λέξη VAR. Οι σταθερές πρέπει να συνδυάζονται ακριβώς και οι μεταβλητές με το ίδιο όνομα πρέπει να συνδέονται με την ίδια τιμή.

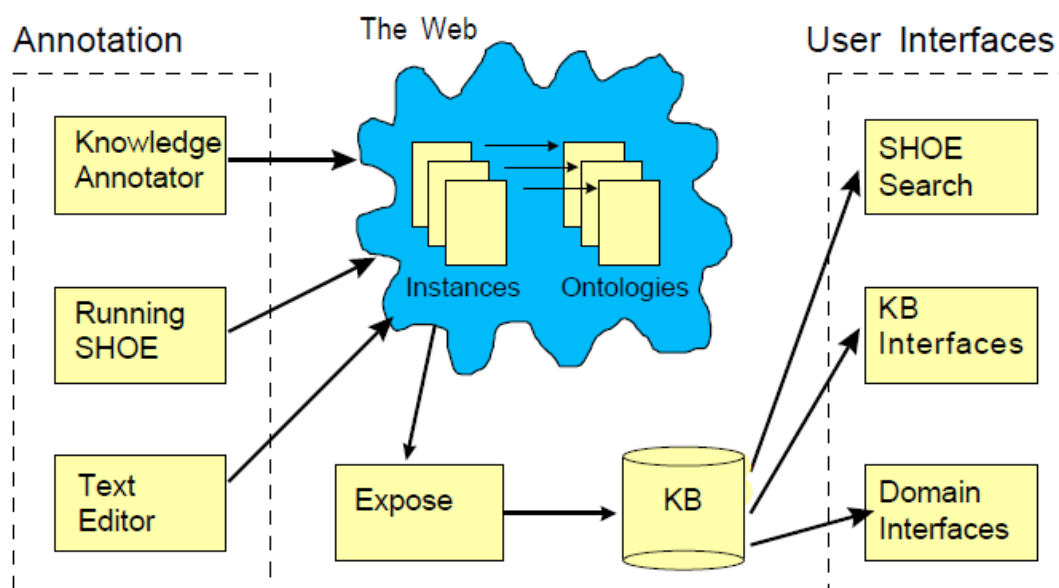
Η SHOE κάνει διάκριση μεταξύ του τι μπορεί να ειπωθεί σε μια οντολογία και τι μπορεί να ειπωθεί σε μια αυθαίρετη ιστοσελίδα. Οι συνηθισμένες ιστοσελίδες δηλώνουν ένα ή περισσότερα στιγμιότυπα που εκπροσωπούν οντότητες SHOE, και κάθε στιγμιότυπο περιγράφει το ίδιο ή άλλα στιγμιότυπα χρησιμοποιώντας κατηγορίες και σχέσεις. Η σύνταξη για τα στιγμιότυπα περιλαμβάνει ένα στοιχείο <INSTANCE> που έχει ένα χαρακτηριστικό για ένα KEY που προσδιορίζει μοναδικά το στιγμιότυπο. Ένα στιγμιότυπο δεσμεύεται με μια

συγκεκριμένη οντολογία μέσω της ετικέτας <USE ONTOLOGY>, η οποία έχει την ίδια λειτουργία με το στοιχείο που έχει το ίδιο όνομα και χρησιμοποιείται στις οντολογίες.

Η SHOE σχεδιάστηκε ειδικά για τις ανάγκες των καταμετρημένων πρακτόρων του διαδικτύου. Ένα βασικό πρόβλημα στα καταμετρημένα συστήματα είναι η διαλειτουργικότητα. Η SHOE επιχειρεί να μεγιστοποιήσει τη διαλειτουργικότητα μέσω της χρήσης κοινών οντολογιών, προκαθορισμένης ονομασίας, της πρόληψης αντιθέσεων, και της τοπικότητας των συμπερασματικών κανόνων. Η γλώσσα έχει σχεδιαστεί προσεκτικά για να εξαλείψει τη πιθανότητα αντιφάσεων μεταξύ των ισχυρισμών των πρακτόρων. Το κάνει αυτό με τέσσερις τρόπους⁴⁶:

1. Επιτρέπει μόνο τους ισχυρισμούς, όχι ανακλήσεις.
2. Δεν επιτρέπει τη λογική άρνηση.
3. Δεν έχει σχεσιακά σύνολα που μπορούν να έχουν μόνο μία τιμή.
4. Δεν επιτρέπει την προδιαγραφή ασύνδετων κλάσεων.

Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν πολλοί πιθανοί τρόποι χρήσης της γλώσσας, ο απλούστερος είναι ο εκείνος που παραλληλίζει τον τρόπο που λειτουργεί ο Ιστός σήμερα. Υπάρχουν πολλά εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή περιεχομένου, και αυτό το περιεχόμενο δημοσιεύεται στο Διαδίκτυο μέσω ενός διακομιστή. Ένα web-crawler μπορεί να συγκεντρώσει στην συνέχεια τις σχετικές σελίδες και να τις αποθηκεύσει σε ένα αποθετήριο, στο οποίο μπορεί στην συνέχεια να τεθούν ερωτήματα μέσω κάποιου τύπου διεπαφής χρήστη. Το βασικό στοιχείο ενός συστήματος SHOE είναι ότι τόσο το περιεχόμενο, όσο και οι οντολογίες που παρέχουν σημασιολογία για το περιεχόμενο δημοσιεύονται στον Παγκόσμιο Ιστό. Δεδομένου ότι αυτή η πληροφορία έχει δομηθεί και έχει σημασιολογία, το αποθετήριο θα πρέπει να είναι μια βάση γνώσεων και όχι ένα σύστημα ανάκτησης πληροφοριών. Αυτή η βασική αρχιτεκτονική φαίνεται στην Εικόνα 8.



Εικόνα 8: Αρχιτεκτονική SHOE

⁴⁶ "Learning to match ontologies on the SemanticWeb", AnHai Doan, Jayant Madhavan, Robin Dhamankar, Pedro Domingos, Alon Halevy, published September 17, 2003, <http://osm7.cs.byu.edu/CS652s04/DMD%2B03Learning.pdf>

Το πρώτο βήμα στη χρήση της SHOE είναι ο εντοπισμός ή ο σχεδιασμός μιας κατάλληλης οντολογίας. Για τη διευκόλυνση αυτής της διαδικασίας, θα πρέπει να υπάρχει ένα κεντρικό αποθετήριο οντολογιών. Ένα απλό αποθετήριο θα μπορούσε να είναι ένα σύνολο ιστοσελίδων που κατηγοριοποιούν οντολογίες, ενώ ένα πιο σύνθετο θα μπορούσε να συνδέει μια σειρά από κοινά χαρακτηριστικά με κάθε οντολογία έτσι, ώστε να υλοποιούνται συγκεκριμένες αναζητήσεις. Αν διαπιστωθεί ότι δεν υπάρχουν κατάλληλες οντολογίες διαθέσιμες, κάθε νεοσύστατη οντολογία θα πρέπει να επεκτείνει πάντα διαθέσιμες οντολογίες που περιέχουν σχετικές έννοιες.

Η διαδικασία προσθήκης σημασιολογικών ετικετών σε μια ιστοσελίδα ονομάζεται σχολιασμός (annotation). Υπάρχουν μια σειρά από εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτήν τη διαδικασία, από απλούς συντάκτες κειμένου, σε συντάκτες GUI, έως ημι-ή πλήρως αυτοματοποιημένες τεχνικές. Οι συντάκτες κειμένου έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι κοινοί, αλλά απαιτούν εξοικείωση των χρηστών με την σύνταξη της SHOE. Έχει αναπτυχθεί ένας συντάκτης GUI για τη SHOE που ονομάζεται Knowledge Annotator και επιτρέπει στο χρήστη να δημιουργήσει σήμανση επιλέγοντας από καταλόγους και συμπληρώνοντας φόρμες. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις όπου ο χρήστης μπορεί να θέλει να δημιουργήσει σήμανση που αντιστοιχεί σε πληροφορίες από μεγάλους καταλόγους ή πίνακες σε προϋπάρχουσες ιστοσελίδες. Για τέτοιες περιπτώσεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το εργαλείο Running SHOE για να δημιουργήσει γρήγορα ένα περιτύλιγμα για ένα υπάρχον έγγραφο, προσδιορίζοντας τα σημεία που υποδεικνύουν εγγραφές και πεδία, και στη συνέχεια χαρτογραφώντας αυτές τις εγγραφές και τα πεδία σε τάξεις και σχέσεις από κάποια οντολογία. Αυτό το εργαλείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει ένα μεγάλο αριθμό σημασιολογικών σημάνσεων από απλά έγγραφα μέσα σε λίγα λεπτά. Άλλες προσεγγίσεις δημιουργίας σήμανσης μπορεί να περιλαμβάνουν μηχανική μάθηση, εξόρυξη πληροφοριών, και, σε περιορισμένους περιπτώσεις, τεχνικές επεξεργασίας φυσικών γλωσσών⁴⁷.

Μόλις το απαραίτητο περιεχόμενο και τα έγγραφα οντολογιών δημοσιεύονται στο Διαδίκτυο, μπορούν να συλλεχθούν από έναν ανιχνευτή Ιστού. Το Exprosé, ο αναζητητής SHOE, ψάχνει για ιστοσελίδες με σήμανση SHOE και αποθηκεύει τις πληροφορίες σε μια βάση γνώσης. Όταν μια σελίδα δεσμεύεται με μια οντολογία άγνωστη στο σύστημα, αυτή η οντολογία επίσης ανακτάται και αποθηκεύεται στη βάση γνώσης. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα στην προσέγγιση με αναζητητή είναι ότι οι πληροφορίες είναι τόσο πρόσφατες, όσο και η τελευταία επίσκεψη του αναζητητή στην ιστοσελίδα. Σε ορισμένες εφαρμογές αυτό το χρονικό διάστημα μπορεί να μην είναι αποδεκτό. Μια ενδιαφέρουσα κατεύθυνση για μελλοντική έρευνα είναι η ανάπτυξη εστιασμένων αναζητητών που ψάχνουν απαντήσεις σε συγκεκριμένες ερωτήσεις σε πραγματικό χρόνο.

Όπως προαναφέρθηκε, ο αναζητητής χρειάζεται μια βάση γνώσεων για να αποθηκεύει τα αποτελέσματα των προσπαθειών του. Μια βάση γνώσεων παρέχει μόνιμη αποθήκευση πληροφοριών και την ικανότητα χρήσης των γνώσεων για εξαγωγή συμπερασμάτων.

4.4.7. Ontology Markup Language (OML)

Η OML, που αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο της Ουάσιγκτον, βασίζεται εν μέρει στη SHOE. Στην πραγματικότητα, αρχικά θεωρήθηκε ως η XML σειριοποίηση της SHOE. Ως εκ τούτου, η OML και η SHOE έχουν πολλά κοινά στοιχεία.

Η OML είναι υποσύνολο της Conceptual Knowledge Markup Language (CKML), είναι μία αυτάρκης γλώσσα σήμανσης και ακολουθεί τις αρχές και τις ιδέες των εννοιολογικών γραφημάτων (Conceptual Graphs). Χρησιμοποιείται για τη διάρθρωση των προδιαγραφών και των αξιωμάτων των μεταδεδομένων στις οντολογίες. Η OML ενσωματώνει τις ιδέες των εννοιολογικών γραφημάτων για την έννοια, την εννοιολογική σχέση, τον εννοιολογικό γράφο, το εννοιολογικό πλαίσιο, τους συμμετέχοντες και την οντολογία. Ο σύνδεσμος της OML με την

⁴⁷ “Scientific American: The Semantic Web”, By Tim Berners-Lee, James Hendler and Ora Lassila, <http://semanticcommunity.info/@api/deki/files/4686/=10.1.1.115.9584.pdf>

CKML είναι η διαδικασία της εννοιολογικής κλιμάκωσης, η οποία είναι η ερμηνευτική μεταμόρφωση της οντολογικά δομημένης γνώσης σε εννοιολογικά δομημένη γνώση.

Είναι πολύ σημαντικό θέμα το πώς και πόσο καλά μια γλώσσα αναπαράστασης γνώσης εκφράζει περιορισμούς. Η OML έχει τρία επίπεδα για την έκφραση περιορισμών. Το πάνω επίπεδο αντιπροσωπεύει τους θεωρητικούς περιορισμούς στη ροή της πληροφορίας, το μεσαίο επίπεδο προκύπτει τόσο από την πρακτική σημασία των περιορισμών των δυαδικών σχέσεων, όσο και από τον προσανατολισμό της θεωρίας των κατηγοριών στην ταξινόμηση-προβολή της σημασιολογίας του διαγράμματος και το κάτω επίπεδο αντιστοιχεί στα εννοιολογικά γραφήματα. Πράγματι, οι OML ισχυρισμοί (κλειστές εκφράσεις) αντιστοιχούν ακριβώς στα εννοιολογικά γραφήματα⁴⁸.

Υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά επίπεδα OML : Η OML Core σχετίζεται με τις λογικές πτυχές της γλώσσας και περιλαμβάνεται από τα υπόλοιπα στρώματα. Η Simple OML οδηγεί απευθείας στην RDF(S). Η Abbreviated OML περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά των εννοιολογικών γραφημάτων και η Standard OML είναι η πιο εκφραστική εκδοχή της OML.

Ο σημασιολογικός πυρήνας της CKML συλλαμβάνεται σε ένα υποσύνολο της OML που ονομάζεται Simple OML. Επειδή η Simple OML βασίζεται στη θεμελιώδη σημασιολογία ταξινόμησης-προβολής, η κανονική έκφραση των τύπων και των στιγμιότυπων μοιάζει με τα πλαίσια. Μια βασική πτυχή της Open Knowledge Base Connectivity (OKBC) είναι στενά συνδεδεμένη με την Simple OML.

Δεν υπάρχουν συγκεκριμένα εργαλεία για την συγγραφή οντολογιών OML εκτός από τα υπάρχοντα γενικά σκοπού εργαλεία της XML.

4.4.8. Ontology Interchange Language (OIL)

Η αποτελεσματική και αποδοτική εργασία με τις οντολογίες πρέπει να υποστηρίζεται από προηγμένα εργαλεία που θα επιτρέψουν την πλήρη ισχύ αυτής της τεχνολογίας. Συγκεκριμένα, χρειαζόμαστε μια προηγμένη γλώσσα οντολογίας έκφρασης και αναπαράστασης οντολογιών. Μια τέτοια γλώσσα οντολογίας πρέπει να πληροί τρεις σημαντικές προϋποθέσεις:

- Πρέπει να είναι πολύ διαισθητική για τον ανθρώπινο χρήστη. Λαμβάνοντας υπόψη την τρέχουσα επιτυχία του βασισμένου σε πλαίσιο και αντικειμενοστρεφούς προτύπου μοντελοποίησης, θα πρέπει να έχουν την εμφάνιση και την αίσθηση πλαισίου.
- Θα πρέπει να έχει μια καλά καθορισμένη επίσημη σημασιολογία με καθιερωμένες ιδιότητες συλλογιστικής όσον αφορά την πληρότητα, την ορθότητα και την αποτελεσματικότητα.
- Θα πρέπει να έχει μια σωστή σύνδεση με τις ήδη υπάρχουσες γλώσσες Ιστού όπως η XML και το RDF διασφαλίζοντας, έτσι, τη διαλειτουργικότητα.

Η Ontology Inference Layer (OIL) ανταποκρίνεται στα κριτήρια που αναφέρονται ανωτέρω. Η OIL συνδυάζει τρεις σημαντικές πτυχές που παρέχονται από διαφορετικές κοινότητες: Επιστημολογικά πλούσιες αρχές μοντελοποίησης, όπως προβλέπεται από την Κοινότητα Πλαισίου, επίσημη σημασιολογία και αποτελεσματική υποστήριξη συλλογιστικής, όπως προβλέπεται από τις Λογικές Περιγραφές και μια τυπική πρόταση για την συντακτική ανταλλαγή συμβολισμών, όπως προβλέπεται από την Κοινότητα του Ιστού⁴⁹.

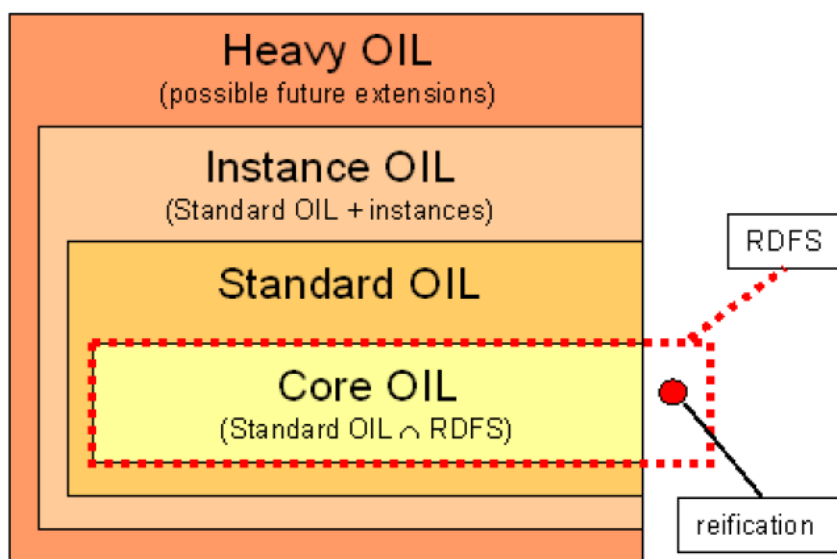
Είναι απίθανο μια μόνο γλώσσα οντολογίας να μπορεί να εκπληρώσει όλες τις ανάγκες του μεγάλου εύρους των χρηστών και των εφαρμογών του Σημασιολογικού Ιστού. Ως εκ τούτου, η OIL έχει οργανωθεί σε ολοένα αυξανόμενα στρώματα υπό-γλωσσών, όπως φαίνεται στην Εικόνα 9. Κάθε επιπλέον στρώμα προσθέτει λειτουργικότητα και πολυπλοκότητα στο προηγούμενο στρώμα. Αυτό γίνεται έτσι, ώστε οι πράκτορες (άνθρωποι ή μηχανές) που

⁴⁸ "Ontology Languages for the Semantic Web", Asunción Gómez-Pérez and Oscar Corcho, <http://oa.upm.es/2646/1/JCR01.pdf>

⁴⁹ "Agents and the Semantic Web", James Hendler, <http://hcs.science.uva.nl/Capita-AI/2002/papers/hendler.pdf>

μπορούν να επεξεργαστούν μόνο ένα χαμηλότερο στρώμα να μπορούν να καταλάβουν εν μέρει τις οντολογίες που εκφράζονται σε οποιοδήποτε από τα ανώτερα στρώματα. Μια πρώτη και πολύ σημαντική εφαρμογή της αρχής αυτής είναι η σχέση μεταξύ της OIL και του RDF Schema.

- Η Core OIL συμπίπτει σε μεγάλο βαθμό με το RDF Schema (με εξαίρεση τα χαρακτηριστικά «υλικοποίησης» του RDF Schema). Αυτό σημαίνει ότι ακόμη και οι απλοί RDF Schema πράκτορες έχουν τη δυνατότητα να επεξεργάζονται τις οντολογίες OIL, και να συλλαμβάνουν όσο το δυνατόν περισσότερο από το νόημά τους με τις περιορισμένες δυνατότητές τους.
- Η Standard Oil είναι μια γλώσσα που προορίζεται να συλλαμβάνει τις απαραίτητες τρέχουσες αρχές μοντελοποίησης, οι οποίες και παρέχουν επαρκή εκφραστική ισχύ και είναι απόλυτα κατανοητές, επιτρέποντας, έτσι, η σημασιολογία να είναι ακριβώς καθορισμένη και η πλήρης συναγωγή να είναι βιώσιμη.
- Η Instance OIL περιλαμβάνει διεξοδική, ατομική ολοκλήρωση. Ενώ το προηγούμενο στρώμα - η Standard Oil - περιλαμβάνει κατασκευές μοντελοποίησης, Η Instance OIL περιλαμβάνει πλήρεις δυνατότητες βάσεων δεδομένων.
- Η Heavy OIL μπορεί να περιλαμβάνει πρόσθετες δυνατότητες αναπαράστασης (και συλλογιστικής). Ειδικά μια πιο εκφραστική γλώσσα κανόνων και οι παροχές μετά-κλάσεων φαίνονται ιδιαίτερα επιθυμητές. Αυτές οι επεκτάσεις της OIL ορίζονται σε συνεργασία με την πρωτοβουλία DAML για μια γλώσσα κανόνων για τον Ιστό.



Εικόνα 9: Το μοντέλο της γλώσσας OIL σε στρώματα

Η αρχιτεκτονική σε στρώματα της OIL έχει τρία βασικά πλεονεκτήματα:

- Μια εφαρμογή δεν είναι ανάγκη να εργάζεται με μια γλώσσα που προσφέρει σημαντικά μεγαλύτερη εκφραστικότητα και πολυπλοκότητα από αυτή που πραγματικά χρειάζεται.
- Εφαρμογές που επιτρέπεται να επεξεργαστούν ένα χαμηλότερο επίπεδο πολυπλοκότητας είναι ακόμη σε θέση να συλλάβουν τα ίδια στοιχεία της οντολογίας.
- Μια εφαρμογή που έχει κατανόηση ενός υψηλότερου επιπέδου πολυπλοκότητας μπορεί επίσης να κατανοήσει οντολογίες που εκφράζονται σε πιο απλή γλώσσα οντολογίας.

Ο ορισμός μιας γλώσσας οντολογίας ως επέκταση του RDF Schema σημαίνει ότι κάθε οντολογία RDF Schema είναι μια έγκυρη οντολογία στη νέα γλώσσα (δηλαδή, ένας επεξεργαστής OIL θα κατανοεί, επίσης, RDF Schema). Ωστόσο, η άλλη κατεύθυνση είναι επίσης διαθέσιμη: ο ορισμός μιας επέκτασης OIL όσο το δυνατόν πλησιέστερης στο RDF

Schema επιτρέπει τη μέγιστη επαναχρησιμοποίηση των υφιστάμενων εφαρμογών που είναι βασισμένες σε RDF Schema και των εργαλείων. Ωστόσο, δεδομένου ότι η γλώσσα οντολογίας περιέχει συνήθως νέες πτυχές (και ως εκ τούτου νέο λεξιλόγιο, που ένας επεξεργαστής RDF Schema δεν κατανοεί), η 100% συμβατότητα δεν είναι δυνατή. Ακολουθεί ένα παράδειγμα. Η ακόλουθη έκφραση OIL ορίζει ως κλάση την herbivore (φυτοφάγα), η οποία είναι μια υπο-κλάση της animal και διαζευκτικό του carnivores (σαρκοφάγα).

```
<rdfs:Class rdf:ID="herbivore">
  <rdf:type
    rdf:resource="http://www.ontoknowledge.org/oil/RDFS-
    schema/#DefinedClass"/>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#animal"/>
  <rdfs:subClassOf
    <oil:NOT>
      <oil:hasOperand rdf:resource="#carnivore"/>
    </oil:NOT>
  </rdfs:subClassOf>
</rdfs:Class>
```

Μια εφαρμογή περιορισμένη σε απλό RDFS είναι ακόμη σε θέση να συλλάβει μερικές πτυχές του ορισμού αυτού.

```
<rdfs:Class rdf:ID="herbivore">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#animal"/>
  <rdfs:subClassOf>
    ...
  </rdfs:subClassOf>
</rdfs:Class>
```

Κατανοεί ότι το herbivore είναι μια υπό-κλάση της animal και υπό-κλάση μιας δεύτερης κλάσης που δε μπορεί να κατανοήσει σωστά. Αυτός φαίνεται να είναι ένας χρήσιμος τρόπος να διατηρηθεί η πολυπλοκότητα της σημασιολογίας για απλούστερες εφαρμογές.

Η OIL έχει πολύ ισχυρά υποστηρικτικά εργαλεία στους ακόλουθους τομείς: Συντάκτες Οντολογιών για τη δημιουργία νέων οντολογιών, εργαλεία σχολιασμού οντολογιών για σύνδεση αδόμετων και ημι-δομημένων πηγών πληροφοριών με οντολογίες και συλλογιστική με οντολογίες με προηγμένες δυνατότητες υπηρεσιών απάντησης ερωτημάτων, υποστήριξη δημιουργίας οντολογιών και βοήθεια στις αντιστοιχίσεις μεταξύ διαφορετικών οντολογιών.

Οι συντάκτες οντολογιών βοηθούν τους μηχανικούς γνώσης να χτίζουν οντολογίες. Υποστηρίζουν τον ορισμό της ιεραρχίας των εννοιών, τον ορισμό των χαρακτηριστικών των εννοιών, και τον ορισμό των αξιωμάτων και των περιορισμών. Θα πρέπει να παρέχουν γραφικές διεπαφές και να συμμορφώνονται με τα ισχύοντα πρότυπα της δικτυοκεντρικής ανάπτυξης λογισμικού. Επιτρέπουν τον έλεγχο, την περιήγηση, την κωδικοποίηση και την τροποποίηση οντολογιών και υποστηρίζουν με αυτόν τον τρόπο την ανάπτυξη οντολογιών και το έργο της συντήρησης⁵⁰.

⁵⁰ "OIL: Ontology Infrastructure to Enable the Semantic Web", Dieter Fensel, Ian Horrocks, Frank van Harmelen, Deborah McGuinness, and Peter F. Patel-Schneider, <http://www.informatik.uni-leipzig.de/~brewka/papers/semweb/6.OILintro.pdf>

4.4.9. DARPA Agent Markup Language+OIL (DAML+OIL)

Η DAML + OIL έχει αναπτυχθεί από μια μεικτή επιτροπή από τις ΗΠΑ και την Ευρωπαϊκή Ένωση (IST) στα πλαίσια της DAML, ένα έργο DARPA που επιτρέπει την σημασιολογική διαλειτουργικότητα στην XML. Ως εκ τούτου, η DAML + OIL συμμερίζεται τον ίδιο στόχο με την OIL.

Η DAML + OIL είναι μια γλώσσα οντολογίας, και ως τέτοια έχει σχεδιαστεί για να περιγράφει τη δομή ενός τομέα. Η DAML + OIL έχει μια αντικειμενοστραφής προσέγγιση, με τη δομή του τομέα να περιγράφεται με τη μορφή κλάσεων και ιδιοτήτων. Μια οντολογία αποτελείται από ένα σύνολο αξιωμάτων. Η υποστήριξη ότι οι πόροι (ζεύγη των πόρων) είναι στιγμιότυπα των DAML + OIL κλάσεων (ιδιότητες) αφήνεται στο RDF, μια εργασία για την οποία είναι κατάλληλο. Όταν ένας πόρος r είναι ένα στιγμιότυπο της κλάσης C λέμε ότι η r είναι τύπου C .

Από μια επίσημη άποψη, η DAML + OIL μπορεί να θεωρηθεί ότι ισοδυναμεί με μια πολύ εκφραστική Περιγραφική Λογική, με τη DAML + OIL οντολογία να αντιστοιχεί σε ορολογία Περιγραφικής Λογικής. Όπως στην Περιγραφική Λογική, οι DAML + OIL κλάσεις μπορούν να είναι ονόματα (URI) ή εκφράσεις, και μια ποικιλία κατασκευαστών παρέχεται για την κατασκευή εκφράσεων κλάσεων. Η εκφραστική ισχύς της γλώσσας καθορίζεται από τους κατασκευαστές κλάσεων, καθώς και από τα είδη αξιωμάτων που υποστηρίζονται⁵¹.

Η DAML + OIL υποστηρίζει το πλήρες εύρος των τύπων δεδομένων του XML Schema. Αυτό διευκολύνεται από τη διατήρηση ενός καθαρού διαχωρισμού μεταξύ των στιγμιότυπων των κλάσεων "αντικειμένων" (που ορίζονται με τη γλώσσα οντολογίας) και των στιγμιότυπων των τύπων δεδομένων (που ορίζονται με το σύστημα τύπων του XML Schema). Συγκεκριμένα, θεωρείται ότι ο τομέας της ερμηνείας των κλάσεων αντικειμένων είναι ασύνδετος με τον τομέα της ερμηνείας των τύπων δεδομένων, έτσι, ένα στιγμιότυπο μιας κλάσης αντικειμένων δε μπορεί ποτέ να έχει την ίδια ερμηνεία με την τιμή ενός τύπου δεδομένων, και ότι το σύνολο των ιδιοτήτων των αντικειμένων είναι ασύνδετο με το σύνολο των ιδιοτήτων του τύπου δεδομένων.

Η ασυνδετότητα των τομέων των αντικειμένων και των τύπων δεδομένων είχε ως κίνητρο τόσο φιλοσοφικούς, όσο και ρεαλιστικούς λόγους:

- Οι τύποι δεδομένων θεωρούνται ήδη επαρκώς δομημένοι από τα ενσωματωμένα κατηγορήματα, και, επομένως, δεν είναι πρόβλημα να δημιουργούνται νέες κλάσεις τιμών τύπων δεδομένων με χρήση της γλώσσας οντολογίας.
- Η απλότητα και η πυκνότητα της γλώσσας οντολογίας δεν διακυβεύονται: ακόμη και αν η απαρίθμηση όλων των τύπων δεδομένων του XML Schema που θα αύξανε σημαντικά την πολυπλοκότητά της, προσθέτοντας μια λογική θεωρία για κάθε τύπο δεδομένων, ήταν δυνατή, θα οδηγούσε σε μια γλώσσα μνημειακών διαστάσεων.
- Η σημασιολογική ακεραιότητα της γλώσσας δεν τίθεται σε κίνδυνο: ο ορισμός θεωριών για όλους τους τύπους δεδομένων του XML Schema θα ήταν δύσκολος ή αδύνατος χωρίς την επέκταση της γλώσσας σε κατευθύνσεις των οποίων η σημασιολογικά θα ήταν δύσκολο να συλληφθεί εντός του υπάρχοντος πλαισίου.

Από θεωρητικής απόψεως, αυτό το σχέδιο σημαίνει ότι η γλώσσα οντολογίας μπορεί να ορίσει περιορισμούς στις τιμές των δεδομένων, αλλά δεδομένου ότι οι τιμές των δεδομένων δεν μπορούν ποτέ να είναι στιγμιότυπα κλάσεων αντικειμένων, δε μπορούν να εφαρμόσουν πρόσθετους περιορισμούς στα στοιχεία του τομέα του αντικειμένου. Αυτό επιτρέπει στο σύστημα τύπων να επεκτείνεται χωρίς τυχόν επιπτώσεις στη γλώσσα οντολογίας, και αντίστροφα.

Από πρακτική άποψη, οι DAML + OIL εφαρμογές μπορούν να επιλέξουν την υποστήριξη ορισμένων ή όλων των τύπων δεδομένων του XML Schema. Για τους υποστηριζόμενους τύπους δεδομένων, μπορούν να εφαρμόσουν είτε το δικό τους ελεγκτή

⁵¹ "NCSA Mosaic — September 10, 1993 Demo". Totic.org. Retrieved July 27, 2009. <http://www.niso.org/publications/press/UnderstandingMetadata.pdf>

τύπων / επικυρωτή ή να βασιστούν σε μια εξωτερική συνιστώσα. Η δουλειά του ελεγκτή / επικυρωτή τύπων είναι να παίρνει μηδέν ή περισσότερες τιμές δεδομένων και έναν ή περισσότερους τύπους δεδομένων, και να καθορίζει εάν υπάρχει οποιαδήποτε τιμή δεδομένων που είναι ίση με κάθε μία από τις καθορισμένες τιμές δεδομένων και αν είναι στιγμιότυπο σε κάθε έναν από τους καθορισμένους τύπους δεδομένων.

Η DAML + OIL είναι χτισμένη σε RDF (S). Το όνομά της εμμέσως υποδηλώνει ότι υπάρχει στενή σχέση με την OIL. Αντικαθιστά την αρχική προδιαγραφή, η οποία ονομαζόταν DAML-ONT, και βασίζοταν επίσης στη γλώσσα OIL. Τα OILed, OntoEdit, Protégé2000, και WebODE είναι εργαλεία συγγραφής DAML + OIL οντολογιών.

4.5.Web Ontology Language (OWL)

Η OWL είναι μια γλώσσα οντολογίας για τον Σημασιολογικό Ιστό, που αναπτύχθηκε από την ομάδα εργασίας οντολογιών Ιστού (Web Ontology Working Group) της Κοινότητας Παγκόσμιου Ιστού (W3C). Η OWL σχεδιάστηκε, κυρίως, για την αναπαράσταση πληροφοριών σχετικών με κατηγορίες αντικειμένων και του τρόπου διασύνδεσης των αντικειμένων, δηλαδή το είδος των πληροφοριών που ονομάζουμε οντολογίες. Η OWL μπορεί, επίσης, να αναπαραστήσει πληροφορίες σχετικά με τα ίδια τα αντικείμενα, το είδος, δηλαδή, των πληροφοριών που ονομάζουμε δεδομένα.

Η OWL δεν σχεδιάστηκε εν κενώ. Υπήρχαν πολλές επιρροές στον σχεδιασμό της. Καθώς η OWL είναι μία προσπάθεια της δραστηριότητας του W3C για τον Σημασιολογικό Ιστό, έπρεπε να ταιριάζει στο όραμα του Σημασιολογικού Ιστού μιας στοίβας γλωσσών που περιλαμβάνει την XML και το RDF. Καθώς η OWL προοριζόταν ως μια γλώσσα οντολογίας, έπρεπε να μπορεί να αναπαραστήσει ένα χρήσιμο σύνολο χαρακτηριστικών οντολογίας. Καθώς υπήρχαν ήδη διάφορες γλώσσες οντολογίας σχεδιασμένες για χρήση στον Ιστό, η OWL έπρεπε να διατηρεί τόση συμβατότητα, όση ήταν δυνατή από τις ισχύουσες γλώσσες οντολογίας, συμπεριλαμβάνοντας τις SHOE, OIL και DAML+OIL⁵².

Οι πολλαπλές επιδράσεις στην OWL οδήγησαν σε μερικούς δύσκολους συμβιβασμούς. Επίσης, και κάπως αναμενόμενο, έπρεπε να εκτελεστεί σημαντικό τεχνικό έργο για να σχεδιάσουν την OWL με τέτοιο τρόπο, ώστε να φανεί ότι έχει διάφορα επιθυμητά χαρακτηριστικά, εξασφαλίζοντας, παράλληλα, επαρκή συμβατότητα με τις ρίζες του. Στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφονται μερικοί από τους συμβιβασμούς και οι αποφάσεις σχεδιασμού που έπρεπε να παρθούν από την ομάδα εργασίας οντολογιών Ιστού κατά τον σχεδιασμό της OWL. Αν και πολλές από αυτές τις αποφάσεις βασίστηκαν στις απαιτήσεις που είχαν καθοριστεί για την OWL και σε στέρεες επιστημονικές γνώσεις, μερικές από αυτές βασίστηκαν, αναγκαστικά, σε πιο ήπιες κρίσεις, και μερικές ήταν απλά ζήτημα προτιμήσεων.

Όροι των οποίων η έννοια καθορίζεται με οντολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σημασιολογικές σημάνσεις που περιγράφουν το περιεχόμενο και τη λειτουργικότητα των προσπελάσιμων από τον Ιστό πόρων. Οι οντολογίες και η σημασιολογική σήμανση με βάση τις οντολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν

- στο ηλεκτρονικό εμπόριο, όπου μπορούν να διευκολύνουν την επικοινωνία μεταξύ των πρακτόρων αγοράς και πώλησης παρέχοντας ένα κοινό λεξιλόγιο για την περιγραφή αγαθών και υπηρεσιών,
- στις μηχανές αναζήτησης, όπου μπορούν να βοηθήσουν στην εύρεση σελίδων που περιέχουν σημασιολογικά παρόμοιες αλλά συντακτικά διαφορετικές λέξεις και φράσεις και
- στις υπηρεσίες ιστού (web services), όπου μπορούν να προσφέρουν πλούσιες περιγραφές υπηρεσιών που μπορούν να βοηθήσουν στον εντοπισμό των κατάλληλων υπηρεσιών.

⁵² “Conceptual Knowledge Markup Language: An Introduction”, Robert E. Kent, <http://148.226.12.104/bitstream/123456789/10416/1/Robert%20E.%20Kent%20-%20Conceptual.pdf>

Για να υποστηρίξει αυτά και άλλα σενάρια χρήσης, η OWL παίρνει τη βασική δυνατότητα δήλωσης γεγονότων του RDF και τις δυνατότητες δομής κλάσεων και ιδιοτήτων του RDF Schema και τις επεκτείνει με σημαντικούς τρόπους. Η OWL μπορεί να δηλώνει κλάσεις και να τις οργανώνει ιεραρχικά ("σε υποκατηγορίες"), όπως το RDF Schema. Οι κλάσεις της OWL μπορούν να οριστούν ως λογικοί συνδυασμοί (τομές, ενώσεις ή συμπληρώματα) άλλων κλάσεων, ή ως απαριθμήσεις συγκεκριμένων αντικειμένων, επεκτείνοντας τις δυνατότητες του RDFS. Η OWL μπορεί, επίσης, να δηλώνει ιδιότητες, να οργανώνει αυτές τις ιδιότητες σε μια ιεραρχία «υπό-ιδιοτήτων», και να παρέχει τομείς και εύρος για αυτές τις ιδιότητες, και πάλι όπως το RDFS. Οι τομείς των ιδιοτήτων της OWL είναι οι κλάσεις της OWL, και το εύρος μπορεί να είναι είτε κλάσεις της OWL ή εξωτερικά καθορισμένοι τύποι δεδομένων, όπως συμβολοσειρές ή ακέραιοι αριθμοί. Η OWL μπορεί να δηλώσει ότι μια ιδιότητα είναι μεταβατική, συμμετρική, λειτουργική, ή είναι η αντίστροφη μιας άλλης ιδιότητας, επεκτείνοντας, εδώ, και πάλι το RDFS.

Η OWL μπορεί να εκφράσει ποια αντικείμενα ανήκουν σε ποιες κλάσεις, και ποιες είναι οι τιμές των ιδιοτήτων για συγκεκριμένα αντικείμενα. Οι δηλώσεις ισοδυναμίας ισχύουν για τις κλάσεις και τις ιδιότητες, οι δηλώσεις ασυνδετότητας (disjointness) μπορούν να εφαρμοστούν μεταξύ των κλάσεων, και η ισότητα και η ανισότητα μπορεί να υποστηριχθεί από τα αντικείμενα.

Ωστόσο, η σημαντική επέκταση του RDFS είναι η ικανότητα της OWL να παρέχει περιορισμούς σχετικά με την συμπεριφορά των ιδιοτήτων τοπικά σε μια κλάση. Η OWL μπορεί να καθορίσει κλάσεις όπου μια συγκεκριμένη ιδιότητα είναι περιορισμένη έτσι, ώστε όλες οι τιμές για την ιδιότητα στα στιγμιότυπα της κλάσης να πρέπει να ανήκουν σε μια συγκεκριμένη κλάση (ή τύπο δεδομένων). Τουλάχιστον μία τιμή πρέπει να προέρχεται από μια συγκεκριμένη κλάση (ή τύπο δεδομένων). Πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον ορισμένες συγκεκριμένες τιμές και πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον ή το πολύ ορισμένες διακριτές τιμές⁵³.

Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας RDFS μπορούμε:

- Να δηλώσουμε κατηγορίες όπως Country, Person, Student και Canadian,
- Να δηλώσουμε ότι το Student είναι μια υπό-κλάση του Person,
- Να δηλώσουμε ότι τα Canada και England είναι δύο στιγμιότυπα της κλάσης Country,
- Να δηλώσουμε το Nationality ως ιδιότητα που σχετίζεται με τις κλάσεις Person (τον τομέα του) και Country (το εύρος του),
- Να δηλώσουμε ότι το age είναι μια ιδιότητα, με το Person ως τομέα της και ακέραιος ως το εύρος της, και
- Να δηλώσουμε ότι ο Πέτρος είναι ένα στιγμιότυπο της κλάσης Canadian, και ότι το age του έχει τιμή 48.

Με την OWL μπορούμε επιπρόσθετα:

- Να δηλώσουμε ότι τα Country και Person είναι ασύνδετες κλάσεις,
- Να δηλώσουμε ότι τα Canada και England είναι διακριτά αντικείμενα,
- Να δηλώσουμε το HasCitizen ως την αντίστροφη ιδιότητα του Nationality,
- Να δηλώσουμε ότι η κλάση Stateless ορίζεται ακριβώς ως εκείνα τα μέλη της κλάσης Person που δεν έχουν τιμές για την ιδιότητα Nationality,
- Να δηλώσουμε ότι η κλάση MultipleNationals ορίζεται ακριβώς ως εκείνα τα μέλη της κλάσης Person που έχουν τουλάχιστον δύο τιμές για την ιδιότητα Nationality,
- Να δηλώσουμε ότι η κλάση Canadian ορίζεται ακριβώς ως εκείνα τα μέλη της κλάσης Person που έχουν το Canada ως τιμή για την ιδιότητα Nationality και
- Να δηλώσουμε ότι το age είναι μια λειτουργική ιδιότητα.

Τα παραπάνω δείχνουν ότι η OWL είναι μια αρκετά δύσκολη γλώσσα. Η OWL έχει τόσο RDF / XML σύνταξη, όσο και μια αφηρημένη σύνταξη παρόμοια πλαισίου και έχει τρεις

⁵³ "Ontology Languages for the Semantic Web", Asunción Gómez-Pérez and Oscar Corcho, <http://oa.upm.es/2646/1/JCR01.pdf>

ονομασμένες υπό-γλώσσες. Αυτή η πολλαπλότητα είναι το άμεσο αποτέλεσμα της προσπάθειας να ικανοποιήσει μεγάλο αριθμό ενίοτε αλληλοσυγκρουόμενων επιρροών και απαιτήσεων.

4.5.1. Web Ontology Language (OWL)

Όπως προαναφέρθηκε, ο σχεδιασμός της OWL αποτέλεσε αντικείμενο μιας ποικιλίας επιρροών. Αυτές περιλαμβάνουν επιρροές από καθιερωμένους formalismούς και παραδείγματα αναπαράστασης γνώσης, επιρροές από τις υπάρχουσες γλώσσες οντολογίας, και επιρροές από τις υπάρχουσες γλώσσες του Σημασιολογικού Ιστού.

Μερικές από τις πιο σημαντικές επιρροές στο σχεδιασμό της OWL προέρχονται από τον προκάτοχο της DAML + OIL, από τις Περιγραφικές Λογικές, από το παράδειγμα πλαισίων και από το RDF. Πιο συγκεκριμένα, η επίσημη προδιαγραφή της γλώσσας επηρεάστηκε από τις Περιγραφικές Λογικές, η δομή της επιφάνειας της γλώσσας (όπως φαίνεται στην αφηρημένη σύνταξη) επηρεάστηκε από το παράδειγμα πλαισίων, και η RDF / XML σύνταξη ανταλλαγής επηρεάστηκε από την απαίτηση για την προς τα πάνω συμβατότητα με το RDF.

Κάθε μία από αυτές τις επιρροές εξετάζεται εκτενέστερα παρακάτω⁵⁴.

4.5.2. Περιγραφικές Λογικές

Οι Περιγραφικές Λογικές είναι μια οικογένεια formalismών αναπαράστασης γνώσης βασισμένων σε κλάσεις. Χαρακτηρίζονται από τη χρήση διαφόρων κατασκευαστών για την κατασκευή πολύπλοκων κλάσεων από απλούστερες, την έμφαση στην ικανότητα λήψης αποφάσεων σε βασικά προβλήματα αιτιολόγησης, και την παροχή ορθών, πλήρων και (εμπειρικά) ήπιων υπηρεσιών αιτιολόγησης. Οι Περιγραφικές Λογικές, καθώς και στοιχεία που προέκυψαν από την έρευνα της Περιγραφικής Λογικής, είχαν ισχυρή επιρροή στον σχεδιασμό της OWL, ιδίως όσον αφορά την τυποποίηση της σημασιολογίας, την επιλογή των γλωσσών κατασκευαστών και την ολοκλήρωση των τύπων δεδομένων και των τιμών δεδομένων. Στην πραγματικότητα, οι OWL DL και OWL Lite (δύο από τα τρία είδη της OWL) μπορούν να θεωρηθούν ως εκφραστικές Περιγραφικές Λογικές, με μια οντολογία να είναι ισοδύναμη με μια βάση γνώσεων Περιγραφικής Λογικής.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των Περιγραφικών Λογικών είναι ότι είναι λογικές, δηλαδή, η επίσημη γλώσσα με σαφώς καθορισμένη σημασιολογία. Η τυποποιημένη τεχνική για τον προσδιορισμό της έννοιας μιας Περιγραφικής Λογικής είναι μέσω ενός θεωρητικού μοντέλου σημασιολογίας, σκοπός του οποίου είναι να εξηγήσει την σχέση ανάμεσα στην σύνταξη της γλώσσας και το επιδιωκόμενο μοντέλο(α) του τομέα. Ένα μοντέλο αποτελείται από έναν τομέα και μία λειτουργία διερμηνείας, όπου ο τομέας είναι ένα σύνολο αντικειμένων και η λειτουργία διερμηνείας είναι μια χαρτογράφηση από τα ονόματα των αντικειμένων, των κλάσεων και των ιδιοτήτων προς τα στοιχεία του τομέα, τα υποσύνολα του τομέα και τις δυαδικές σχέσεις στον τομέα, αντίστοιχα.

Τα αντικείμενα στον τομέα δεν έχουν καθαυτά κάποιο νόημα, ούτε η επιλογή ενός συγκεκριμένου συνόλου αντικειμένων που απαρτίζουν τον τομέα. Αυτό που είναι σημαντικό είναι οι σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων και των συνόλων αντικειμένων.

Μια βάση γνώσεων Περιγραφικής Λογικής αποτελείται από ένα σύνολο αξιωμάτων, για παράδειγμα, ότι μία κλάση είναι υποκλάση μιας άλλης, ή ότι ένα αντικείμενο είναι ένα στιγμιότυπο της συγκεκριμένης κλάσης. Το νόημα αυτών των αξιωμάτων δίνεται από αντίστοιχους περιορισμούς στα μοντέλα. Αν, για παράδειγμα, η βάση γνώσης περιέχει ένα αξίωμα που δηλώνει ότι το Person είναι υπό-κλάση του Animal, τότε, σε ένα μοντέλο της βάσης γνώσεων, η ερμηνεία του Person πρέπει πάντα να είναι υποσύνολο της ερμηνείας του Animal.

⁵⁴ “Web Ontology Language: OWL”, Grigoris Antoniou and Frank van Harmelen, <http://www.cs.vu.nl/~frank.van.harmelen/postscript/OntoHandbook03OWL.pdf>

Η έννοια μιας βάσης γνώσεων προέρχεται από χαρακτηριστικά και σχέσεις που είναι κοινές σε όλα τα πιθανά μοντέλα. Αν, για παράδειγμα, η ερμηνεία μιας κλάσης πρέπει να είναι πάντα το κενό σύνολο, τότε η κλάση αυτή λέγεται ότι είναι ασυνεπής, ενώ αν δεν υπάρχουν πιθανές ερμηνείες, η ίδια η βάση γνώσης λέγεται ότι είναι ασυνεπής. Αν η σχέση που ορίζεται από ένα συγκεκριμένο αξίωμα πρέπει να ισχύει σε όλες τις ερμηνείες μιας βάσης γνώσεων, τότε, αυτό το αξίωμα λέγεται ότι προκύπτει από τη βάση γνώσεων, και αν μία βάση γνώσεων συνεπάγεται κάθε αξίωμα σε άλλη βάση γνώσεων, τότε η πρώτη βάση γνώσεων λέμε ότι συνεπάγεται τη δεύτερη βάση γνώσεων. Μια βάση γνώσεων που περιέχει το αξίωμα «το Person είναι υπό-κλάση του Animal», για παράδειγμα, συνεπάγεται ότι η τομή του Male και του Person είναι επίσης μια υποκατηγορία του Animal. Αυτή η συνεπαγωγή είναι αρκετά τετριμμένη, αλλά με μια γλώσσα τόσο σύνθετη όσο η OWL, ο έλεγχος των συνεπαγωγών μπορεί, σε γενικές γραμμές, να είναι ένα πολύ δύσκολο έργο.

Όπως η OIL και η DAML + OIL, η OWL χρησιμοποιεί ένα μοντέλο θεωρίας σε στυλ Περιγραφικής Λογικής για να τυποποιήσει την ερμηνεία της γλώσσας. Αυτό αναγνωρίστηκε ως ένα βασικό χαρακτηριστικό και στις τρεις γλώσσες, καθώς επιτρέπει οι οντολογίες, και το λεξιλόγιο που χρησιμοποιεί πληροφορίες που ορίζονται από οντολογίες, να μοιράζονται και να ανταλλάσσονται χωρίς διαφωνίες για την ακριβή έννοια. Η ανάγκη για τέτοιου είδους διατύπωση ενισχύθηκε από την εμπειρία με παλιότερες εκδόσεις προδιαγραφών του RDF και του RDFS, όπου η έλλειψη διατύπωσης σύντομα οδήγησε σε διαφωνίες ως προς την ερμηνεία των γλωσσικών δομών, όπως οι περιορισμοί τομέα και εύρους. Προκειμένου να αποφευχθούν τέτοια προβλήματα, η ερμηνεία του RDF τώρα, επίσης, ορίζεται από την άποψη της θεωρίας μοντέλου.

Ένα άλλο πλεονέκτημα της τυποποίησης της ερμηνείας της γλώσσας με αυτό τον τρόπο είναι ότι οι αυτοματοποιημένες τεχνικές συλλογιστικής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της συνέπειας των κλάσεων και των οντολογιών, και τον έλεγχο των σχέσεων συνεπαγωγής. Αυτό είναι σημαντικό αν πρόκειται να αξιοποιηθεί η πλήρης ισχύς των οντολογιών από ευφυείς πράκτορες, και η δυνατότητα παροχής αυτής της υποστήριξης συλλογιστικής ήταν βασικός στόχος του σχεδιασμού της OWL⁵⁵.

Η εκφραστική ισχύς μιας γλώσσας όπως είναι η OWL καθορίζεται από τους κατασκευαστές κλάσεων (και ιδιοτήτων) που υποστηρίζονται, καθώς και από τα είδη των αξιωμάτων που μπορούν να συμβούν σε μια οντολογία. Φυσικά η αυξημένη εκφραστική ισχύς αναπόφευκτα σημαίνει αύξηση της υπολογιστικής πολυπλοκότητας για βασικά προβλήματα, όπως η συνεπαγωγή.

Ο σχεδιασμός της OWL εμπνεύστηκε από περισσότερο από 10 χρόνια έρευνας της Περιγραφικής Λογικής, η οποία έχει καθορίσει με αρκετή λεπτομέρεια το τοπίο της πολυπλοκότητας για ένα ευρύ φάσμα κατασκευαστών και αξιωμάτων, και των διάφορων συνδυασμών τους. Η γνώση αυτή επέτρεψε να επιλεγούν προσεκτικά το σύνολο των κατασκευαστών και των αξιωμάτων που υποστηρίζονται από την OWL, έτσι ώστε να εξισορροπηθούν οι εκφραστικές απαιτήσεις των τυπικών εφαρμογών με την απαίτηση για την αξιόπιστη και αποτελεσματική υποστήριξη συλλογιστικής.

Ένας ιδιαίτερος στόχος αυτής της διαδικασίας σχεδιασμού ήταν να διασφαλιστεί ότι η συνεπαγωγή της OWL θα ήταν τουλάχιστον ικανή για λήψη αποφάσεων, δηλαδή, ότι θα ήταν δυνατό να σχεδιάσουμε ένα αλγόριθμο που θα μπορούσε να καθορίσει εάν ή όχι μία οντολογία OWL συνεπάγεται μια άλλη (ένας τέτοιος αλγόριθμος συχνά καλείται μία διαδικασία απόφασης). Η διαθεσιμότητα των πρακτικών διαδικασιών αποφάσεων (συνεπαγωγής), και ακόμη και τα συστήματα που εφαρμόζονται, ήταν επίσης μια σημαντική εξέταση.

Εκτός από την αντιμετώπιση «αφηρημένων» κλάσεων όπως Person και Animal, πολλές πρακτικές εφαρμογές χρειάζεται να αναπαριστούν και να αιτιολογούν τύπους δεδομένων και τιμές, όπως ακέραιοι και συμβολοσειρές. Η ολοκλήρωση των τύπων δεδομένων στη γλώσσα OWL είναι και αυτή πολύ επηρεασμένη από την έρευνα της Περιγραφικής Λογικής, η οποία έχει

⁵⁵ “Scientific American: The Semantic Web”, By Tim Berners-Lee, James Hendler and Ora Lassila, <http://semanticcommunity.info/@api/deki/files/4686/=10.1.1.115.9584.pdf>

επιδειξίει ότι απαιτείται προσοχή ώστε να αποφευχθεί η έκρηξη πολυπλοκότητας ή ακόμα και η αδυναμία λήψης αποφάσεων λόγω των τύπων δεδομένων. Στην Περιγραφική Λογική SHOQ(D) φάνηκε πως αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με σαφή διαχωρισμό της ερμηνείας των τύπων δεδομένων και των τιμών από αυτή των κλάσεων και των αντικειμένων.

Αυτό το σχέδιο έχει το πλεονέκτημα ότι η συλλογιστική με τύπους δεδομένων και τιμές μπορούν να διαχωριστούν σχεδόν εξ ολοκλήρου από την συλλογιστική με τις κλάσεις και τα αντικείμενα. Επιπλέον, η γλώσσα εξακολουθεί να έχει την ικανότητα λήψης αποφάσεων εάν η συλλογιστική τύπων δεδομένων και τιμών έχει την ικανότητα λήψης αποφάσεων. Αυτό μπορεί εύκολα να επιτευχθεί, για μια σειρά κοινών τύπων δεδομένων, όπως ακέραιοι αριθμοί, δεκαδικά ψηφία, και συμβολοσειρές.

Εκτός αυτών των πρακτικών ζητημάτων, μπορεί επίσης να υποστηριχθεί ότι ο διαχωρισμός των κλάσεων και των τύπων δεδομένων είναι λογικός από φιλοσοφική άποψη, καθώς οι τύποι δεδομένων είναι ήδη δομημένοι από ενσωματωμένα κατηγορήματα, όπως το μεγαλύτερο-από και λιγότερο-από. Από αυτή την άποψη, δεν έχει νόημα η χρήση των αξιωμάτων οντολογιών για την πρόσθεση επιπλέον δόμησης στους τύπους δεδομένων ή για την κατασκευή «υβριδικών» κλάσεων⁵⁶.

4.5.3. Πρότυπο Πλαισίων

Στα πλαίσια του Σημασιολογικού Ιστού, όπου οι χρήστες με ευρύ φάσμα γνώσεων αναμένεται να δημιουργήσουν ή να τροποποιήσουν οντολογίες, η αναγνωσιμότητα και η γενική ευκολία στη χρήση αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για μια γλώσσα οντολογίας. Κατά τον σχεδιασμό της OIL, μίας από τις γλώσσες στις οποίες βασίζεται η OWL, οι απαιτήσεις αυτές καλύφθηκαν από την παροχή σύνταξης επιφάνειας βασισμένης στο πρότυπο πλαισίων. Τα πλαίσια συγκεντρώνουν πληροφορίες για κάθε κλάση, κάνοντας τις οντολογίες πιο εύκολα αναγνώσιμες και κατανοητές, ιδίως για τους χρήστες που δεν είναι εξοικειωμένοι με τις (Περιγραφικές) Λογικές. Το πρότυπο πλαισίων έχει χρησιμοποιηθεί σε μια σειρά από γνωστά συστήματα αναπαράστασης γνώσης, συμπεριλαμβανομένου του εργαλείου σχεδιασμού οντολογιών Protégé και το μοντέλο γνώσεων OKBC. Ο σχεδιασμός της OIL επηρεάστηκε από την XOL.

Στις γλώσσες που είναι βασισμένες σε πλαίσια, κάθε κλάση περιγράφεται από ένα πλαίσιο. Το πλαίσιο περιλαμβάνει το όνομα της κλάσης, αναγνωρίζει τη γενικότερη κλάση (ή κλάσεις) που εξειδικεύει, και απαριθμεί μια σειρά από " slots ". Ένα slot μπορεί να αποτελείται από ένα ζεύγος τιμών ιδιοτήτων, ή έναν περιορισμό στις τιμές που μπορούν να λειτουργήσουν ως «fillers» (στο πλαίσιο αυτό, η τιμή σημαίνει είτε ένα αντικείμενο ή μια τιμή δεδομένων). Η δομή αυτή χρησιμοποιήθηκε στη γλώσσα OIL, με κάποιον εμπλουτισμό της σύνταξης για τον καθορισμό κλάσεων και τους περιορισμούς στα slots έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η πλήρης ισχύς μιας γλώσσας σε στυλ Περιγραφικής Λογικής. Επιπλέον, πλαίσια ιδιοτήτων χρησιμοποιούνται για την περιγραφή ιδιοτήτων, π.χ., προσδιορισμός πιο γενικών ιδιοτήτων, περιορισμοί εύρους και τομέα, μεταβατικότητα και σχέσεις αντίστροφων ιδιοτήτων.

Ένα πλαίσιο κλάσης είναι σημασιολογικά ισοδύναμο με ένα αξίωμα Περιγραφικής Λογικής που υποστηρίζει ότι η κλάση που περιγράφεται από το πλαίσιο είναι μια υποκλάση καθεμιάς από τις κλάσεις που ειδικεύει και καθενός από τους περιορισμούς ιδιοτήτων που αντιστοιχούν στα slots. Εκτός από μια πιο πλούσια σύνταξη για slot, η OIL προσέφερε επίσης τη δυνατότητα ισχυρισμού ότι η κλάση που περιγράφεται από το πλαίσιο ήταν ακριβώς ισοδύναμο με την σχετική κλάση τομής. Ένα πλαίσιο ιδιοτήτων είναι ισοδύναμο με ένα σύνολο αξιωμάτων που ισχυρίζονται τους περιορισμούς σχετικά με τις σχέσεις υπο-ιδιοτήτων, το εύρος και του τομέα κ.λπ. Η OIL έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε τα πλαίσιά της να μπορούν εύκολα να αντιστοιχηθούν σε ισοδύναμα αξιώματα στην Περιγραφική Λογική SHOQ (Δ).

Η επίσημη προδιαγραφή και η σημασιολογία της OWL δίνονται από μια αφηρημένη σύνταξη που έχει επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από τα πλαίσια γενικότερα και από τον

⁵⁶ Semantic Web Services, Sheila A. McIlraith, Tran Cao Son, and Honglei Zeng, <http://o2k.stanford.edu/people/sam/ieee01.pdf>

σχεδιασμό της OIL ειδικότερα. Στην αφηρημένη σύνταξη, τα αξιώματα είναι σύνθετες κατασκευές που μοιάζουν πολύ σε ένα πλαίσιο όπως η OIL. Για τις κλάσεις, αποτελούνται από το όνομα της κλάσης που περιγράφεται, μία τροπικότητα «μερική» ή «πλήρης» (που δηλώνει ότι το αξίωμα ισχυρίζεται μια υποκλάση ή μια σχέση ισοδυναμίας, αντίστοιχα), και μια ακολουθία περιορισμών ιδιοτήτων και ονομάτων των γενικότερων κλάσεων. Ομοίως, ένα αξίωμα ιδιότητας καθορίζει το όνομα της ιδιότητας και διάφορα χαρακτηριστικά του⁵⁷.

Το ύφος πλαισίου της αφηρημένης σύνταξης το καθιστά πολύ ευκολότερο στην ανάγνωση (σε σύγκριση με την RDF / XML σύνταξη), και επίσης ευκολότερο στην κατανόηση και τη χρήση. Επιπλέον, τα αξιώματα της αφηρημένης σύνταξης έχουν άμεση αντιστοιχία με τα αξιώματα της Περιγραφικής Λογικής και μπορούν, επίσης, να αντιστοιχιστούν σε ένα σύνολο RDF τριάδων.

4.5.4.Σύνταξη RDF

Η τρίτη σημαντική επιρροή στον σχεδιασμό της OWL ήταν η απαίτηση διατήρησης της μέγιστης συμβατότητα προς τα πάνω με τις υπάρχουσες γλώσσες ιστού, και ιδίως με το RDF. Εκ πρώτης όψεως αυτή η απαίτηση είχε λογική καθώς το RDF (και ιδίως το RDF Schema) περιλάμβανε ήδη αρκετά από τα βασικά χαρακτηριστικά μιας γλώσσας οντολογίας στηριγμένης σε κλάσεις και ιδιότητες, π.χ., υποστηρίζει τις σχέσεις υποκλάσεων και υποιδιοτήτων. Επιπλέον, η ανάπτυξη του RDF προηγήθηκε αυτής της OWL, και φαινόταν λογικό να προσπαθήσουν να προσελκύσουν κάθε κοινότητα χρηστών που είχε ήδη καθιερωθεί από το RDF.

Μπορεί να φαίνεται εύκολη η ικανοποίηση αυτής της απαίτησης, δίνοντας απλά στην OWL μια σύνταξη βασισμένη σε RDF. Προκειμένου να παρέχει τη μέγιστη συμβατότητα προς τα πάνω, όμως, θεωρήθηκε επίσης αναγκαίο να διασφαλισθεί ότι η σημασιολογία των οντολογιών της OWL ήταν επίσης συνεπείς με την σημασιολογία του RDF. Αυτό αποδείχθηκε ότι είναι δύσκολο, δεδομένης της μεγάλης αύξησης εκφραστικής ισχύος που παρέχεται από την OWL.

4.5.5.Προκάτοχοι της OWL

Η OWL δεν ήταν η πρώτη γλώσσα οντολογίας Ιστού, και ο σχεδιασμός της επηρεάστηκε από διάφορες προ-υπάρχουσες γλώσσες, συμπεριλαμβανομένων των RDFS, SHOE, OIL, DAML-ONT και DAML + OIL. Η DAML + OIL, ιδίως, άσκησε μεγάλη επιρροή στην OWL, και το καταστατικό της ομάδας εργασίας Οντολογίας του Παγκοσμίου Ιστού αναφέρει ρητά ότι ο σχεδιασμός της OWL έπρεπε να βασίζεται στη DAML + OIL. Η DAML + OIL με την σειρά της είχε επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από τη γλώσσα OIL, με πρόσθετη επίδραση από την εργασία για τη DAML-ONT και το RDFS⁵⁸.

SHOE

Μία από τις πρώτες προσπάθειες για τον καθορισμό μιας γλώσσας οντολογίας για ανάπτυξη στον Ιστό ήταν η SHOE. Η SHOE είναι μια γλώσσα βασισμένη σε πλαίσιο με σύνταξη XML που θα μπορούσε να ενσωματωθεί με ασφάλεια σε υφιστάμενα έγγραφα HTML. Η SHOE χρησιμοποιούσε αναφορές URI για τα ονόματα, μια σημαντική καινοτομία που εφαρμόστηκε στην συνέχεια τόσο από τη DAML-ONT όσο και από τη DAML + OIL. Η SHOE έδωσε, επίσης, έμφαση στο γεγονός ότι οι οντολογίες θα είναι στενά αλληλένδετες και θα υπόκεινται σε αλλαγές. Κατά συνέπεια, η SHOE περιελάμβανε μια σειρά οδηγιών που επέτρεπαν την εισαγωγή άλλων οντολογιών, την τοπική μετονομασία των εισαγόμενων σταθερών, και τη

⁵⁷ "Conceptual Knowledge Markup Language: An Introduction", Robert E. Kent, <http://148.226.12.104/bitstream/123456789/10416/1/Robert%20E.%20Kent%20-%20Conceptual.pdf>

⁵⁸ "Web Ontology Language: OWL", Grigoris Antoniou¹ and Frank van Harmelen, <http://www.cs.vu.nl/~frank.van.harmelen/postscript/OntoHandbook03OWL.pdf>

δήλωση εκδόσεων και πληροφορίες συμβατότητας μεταξύ οντολογιών. Αυτή η γραμμή σκέψης έχει επηρεάσει την λογικό λεξιλόγιο της OWL που έχει σχεδιαστεί για τη μερική αντιμετώπιση τέτοιων ζητημάτων. Η SHOE είχε μικρότερη επιρροή στο συντακτικό και σημασιολογικό σχεδιασμό της OWL, διότι δεν βασίζεται σε RDF, και δεν είχε τυπική σημασιολογία.

DAML-ONT

Το 1999 ξεκίνησε το πρόγραμμα DARPA Agent Markup Language (DAML), με σκοπό να παρέχει τις βάσεις για την επόμενη γενιά "σημασιολογίας" στον Ιστό. Ως πρώτο βήμα, αποφασίστηκε ότι η υιοθέτηση μιας κοινής γλώσσας οντολογίας που θα διευκολύνει την σημασιολογική διαλειτουργικότητα μεταξύ των διαφόρων έργων που απαρτίζουν το πρόγραμμα. RDFS (που είχε ήδη προταθεί ως πρότυπο W3C) θεωρούνταν ως ένα καλό σημείο εκκίνησης, αλλά δεν ήταν αρκετά εκφραστική για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της DAML. Μια νέα γλώσσα με την ονομασία DAML-ONT αναπτύχθηκε, ως εκ τούτου, που επέκτεινε το RDF με κατασκευαστές γλωσσών από γλώσσες αντικειμενοστραφείς και αναπαράστασης γνώσης βασισμένες σε πλαίσιο.

Η DAML-ONT ήταν στενά συνδεδεμένη με το RDFS, και ενώ αυτό ήταν χρήσιμο από την άποψη της συμβατότητας, αυτό οδήγησε σε σοβαρά προβλήματα στον σχεδιασμό της γλώσσας. Όπως και το RDFS, η DAML-ONT υπέφερε από ανεπαρκείς σημασιολογικές προδιαγραφές, και σύντομα συνειδητοποιήθηκε ότι αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε διαφωνίες, τόσο ανάμεσα στους ανθρώπους, όσο και τις μηχανές, ως προς την ακριβή σημασία των όρων στις οντολογίες DAML-ONT. Επιπλέον, οι περιορισμοί ιδιοτήτων της DAML-ONT περιορισμοί ιδιοκτησίας είχαν, όπως αυτές του RDFS, καθολική και όχι τοπική εμβέλεια, και ενώ αυτό ήταν λογικό για τους περιορισμούς τομέα και εύρους που παρέχονταν από το RDFS, οι περιορισμοί καθολικής cardinality, για παράδειγμα, ήταν δύσκολο να κατανοηθούν και αμφίβολης χρησιμότητας.

OIL

Την ίδια περίπου εποχή που αναπτύχθηκε η DAML-ONT, μια ομάδα (κυρίως ευρωπαίων) ερευνητών με στόχους παρόμοιους με εκείνων των ερευνητών της DAML σχεδίασαν μια άλλη γλώσσα οντολογίας προσανατολισμένη στον Ιστό με την ονομασία OIL (το στρώμα Συμπερασμού Οντολογίας). Η OIL ήταν η πρώτη γλώσσα οντολογίας που συνδυάζει στοιχεία από τις Περιγραφικές Λογικές, τις γλώσσες πλαισίων και τα web standards, όπως η XML και το RDF. Η OIL έδωσε μεγάλη έμφαση στην επίσημη αυστηρότητα, και η γλώσσα είχε ρητά σχεδιαστεί έτσι, ώστε η σημασιολογία της να μπορούσε να προσδιοριστεί μέσω χαρτογράφησης με την περιγραφική λογική SHIQ. Η δομή της γλώσσας ήταν, όμως, με βασισμένη στο πλαίσιο, με χρήση σύνθετων ορισμών κλάσεων. Η OIL είχε τόσο XML όσο και RDF συντάξεις, αλλά αν και η σύνταξη RDF είχε σχεδιαστεί για να διατηρεί την συμβατότητα με το RDFS, δεν ασχολούνταν με τις ακριβείς λεπτομέρειες της σημασιολογίας του RDF, η οποία εκείνη την εποχή δεν είχε οριστεί επισήμως.

DAML+OIL

Έγινε φανερό ότι τόσο στην ομάδα DAML-ONT όσο και στην ομάδα της OIL ότι οι στόχοι τους θα μπορούσαν να εξυπηρετηθούν καλύτερα μέσω του συνδυασμού των προσπαθειών τους, με αποτέλεσμα την συγχώνευση των DAML-ONT και OIL για την πραγματοποίηση της DAML + OIL. Η ανάπτυξη της DAML + OIL αναλήφθηκε από μια επιτροπή που αποτελούνταν κυρίως από τα μέλη των δύο ομάδων σχεδιασμού γλώσσας.

Η νέα γλώσσα έχει μια επίσημη σημασιολογία που δίνεται από το δικό της μοντέλο θεωρίας Περιγραφικής Λογικής, αντί μέσω της μετάφρασης σε μια κατάλληλη Περιγραφική Λογική. Οι κατασκευαστές γλωσσών που προέρχονται από τις Περιγραφικές Λογικές της OIL διατηρούνται στη DAML + OIL, αλλά η δομή του πλαισίου είχε σε μεγάλο βαθμό απορριφθεί υπέρ των αξιωμάτων συγλ Περιγραφικής Λογικής, που ήταν πιο εύκολα στην ολοκλήρωση με την σύνταξη RDF.

Επηρεασμένη από τη DAML-ONT, η DAML + OIL είναι πιο στενά συνδεδεμένη με το RDF. Η DAML + OIL, όμως, παρείχε μια έννοια μόνο για τα μέρη του RDF που ήταν σύμφωνα με τη δική του σύνταξη και το μοντέλο θεωρίας σε συγλ Περιγραφικής Λογικής. Αυτό δε φάνηκε

να είναι μεγάλο πρόβλημα, δεδομένου ότι το RDF δεν διέθετε τότε μια επίσημα ορισμένη δική της σημασία, αλλά ήταν η αιτία σοβαρών δυσκολιών όταν η DAML + OIL χρησιμοποιήθηκε ως βάση για την OWL.

4.5.6. Περιγραφή της OWL

Για διάφορους λόγους, που περιγράφονται στις προηγούμενες ενότητες, υπάρχουν δύο μορφές χρήσης της OWL. Στην πρώτη μορφή, ενσωματωμένη στην OWL DL και την OWL Lite, μόνο ορισμένες δομές επιτρέπονται, και οι δομές αυτές μπορούν να συνδυαστούν μόνο με συγκεκριμένους τρόπους. Τα οφέλη της παραμονής μεταξύ αυτών των ορίων περιλαμβάνουν την ικανότητα εξαγωγής συμπερασμάτων και τη δυνατότητα της σκέψης της OWL με ένα πιο τυπικό τρόπο, κυρίως ως εκφραστική Περιγραφική Λογική. Στη δεύτερη μορφή, που ενσωματώνεται στην OWL Full, επιτρέπονται όλα τα γραφήματα RDF. Τα οφέλη από αυτή την επεκτατική μορφή περιλαμβάνουν συνολική προς τα πάνω συμβατότητα με το RDF και μεγαλύτερη εκφραστική ισχύ.

Ακόμη και οι πιο περιορισμένες εκδόσεις της OWL έχουν κάποιες διαφορές από τις τυπικές Περιγραφικές Λογικές. Οι διαφορές αυτές κινούν τις εκδόσεις της OWL από τον κόσμο της επίσημης Περιγραφικής Λογικής στον κόσμο του Σημασιολογικού Ιστού⁵⁹.

- Η OWL χρησιμοποιεί αναφορές URI ως ονόματα, και κατασκευάζει αυτές τις αναφορές URI με τον ίδιο τρόπο με αυτόν που χρησιμοποιείται από το RDF. Είναι, επομένως, κοινή στην OWL η χρήση αναγνωρισμένων ονομάτων όπως συντομώσεις για αναφορές URI, χρησιμοποιώντας, για παράδειγμα, το όνομα owl:Thing για τη αναφορά URI <http://www.w3.org/2002/07/owl#Thing>.
- Η OWL συγκεντρώνει πληροφορίες σε οντολογίες, οι οποίες γενικά αποθηκεύονται ως έγγραφα του Ιστού γραμμένα σε RDF / XML. Οι οντολογίες μπορούν να εισάγουν άλλες οντολογίες, προσθέτοντας τις πληροφορίες από την οντολογία που εισάγεται στην τρέχουσα οντολογία.
- Ακόμη και οι DL / Lite μορφές χρήσης της OWL επιτρέπουν στις RDF ιδιότητες σχολιασμού να χρησιμοποιηθούν για την επισύναψη πληροφοριών στις κλάσεις, τις ιδιότητες και τις οντολογίες, όπως owl:DeprecatedClass. Αυτά τα σχόλια είναι RDF τριάδες, και κατά συνέπεια απαιτούνται για τη μεταφορά ενός πλήρους σημασιολογικού βάρους. Δε μπορούν να αντιμετωπίζονται ως ανεπίσημα σχόλια χωρίς μια επίσημη έννοια. Αυτό εν μέρει διασπά τη διάκριση της Περιγραφικής Λογικής μεταξύ των αντικειμένων, αφενός, και των κλάσεων και ιδιοτήτων, από την άλλη.
- Η OWL χρησιμοποιεί τις ευκολίες των τύπων δεδομένων των RDF και XML Schema για να παρέχουν τύπους δεδομένων και τιμές δεδομένων.
- Οι εκδόσεις DL και Lite της OWL έχουν μια αφηρημένη σύνταξη που μοιάζει με πλαίσιο, ενώ η RDF / XML είναι η επίσημη σύνταξη ανταλλαγής για το σύνολο της OWL.

Η OWL DL, η χρήση της OWL σε μορφή Περιγραφικής Λογικής, είναι πολύ κοντά στην Περιγραφική Λογική SHOIN(D) η οποία είναι η ίδια μια επέκταση της Περιγραφικής Λογικής SHOQ(D). Η OWL DL μπορεί να σχηματίσει περιγραφές κλάσεων, αντικειμένων και τιμών δεδομένων χρησιμοποιώντας τους κατασκευαστές που φαίνονται στον Πίνακα 1. Σε αυτόν τον πίνακα η πρώτη στήλη δίνει την αφηρημένη σύνταξη της OWL για την κατασκευή, ενώ η δεύτερη στήλη δείχνει τη βασική σύνταξη της Περιγραφικής Λογικής.

⁵⁹ “Web Ontology Language: OWL”, Grigoris Antoniou¹ and Frank van Harmelen, <http://www.cs.vu.nl/~frank.van.harmelen/postscript/OntoHandbook03OWL.pdf>

Abstract Syntax	DL Syntax	Semantics
Descriptions (C)		
A (URI reference)	A	$A^I \subseteq \Delta^I$
<code>owl:Thing</code>	\top	$\text{owl:Thing}^I = \Delta^I$
<code>owl:Nothing</code>	\perp	$\text{owl:Nothing}^I = \{\}$
<code>intersectionOf($C_1 C_2 \dots$)</code>	$C_1 \sqcap C_2$	$(C_1 \sqcap C_2)^I = C_1^I \cap C_2^I$
<code>unionOf($C_1 C_2 \dots$)</code>	$C_1 \sqcup C_2$	$(C_1 \sqcup C_2)^I = C_1^I \cup C_2^I$
<code>complementOf(C)</code>	$\neg C$	$(\neg C)^I = \Delta^I \setminus C^I$
<code>oneOf($o_1 \dots$)</code>	$\{o_1, \dots\}$	$\{o_1, \dots\}^I = \{o_1^I, \dots\}$
<code>restriction(R someValuesFrom(C))</code>	$\exists R.C$	$(\exists R.C)^I = \{x \mid \exists y. \langle x, y \rangle \in R^I \text{ and } y \in C^I\}$
<code>restriction(R allValuesFrom(C))</code>	$\forall R.C$	$(\forall R.C)^I = \{x \mid \forall y. \langle x, y \rangle \in R^I \rightarrow y \in C^I\}$
<code>restriction(R hasValue(o))</code>	$R : o$	$(R : o)^I = \{x \mid \langle x, o^I \rangle \in R^I\}$
<code>restriction(R minCardinality(n))</code>	$\geq n R$	$(\geq n R)^I = \{x \mid \#\{y. \langle x, y \rangle \in R^I\} \geq n\}$
<code>restriction(R maxCardinality(n))</code>	$\leq n R$	$(\leq n R)^I = \{x \mid \#\{y. \langle x, y \rangle \in R^I\} \leq n\}$
<code>restriction(U someValuesFrom(D))</code>	$\exists U.D$	$(\exists U.D)^I = \{x \mid \exists y. \langle x, y \rangle \in U^I \text{ and } y \in D^D\}$
<code>restriction(U allValuesFrom(D))</code>	$\forall U.D$	$(\forall U.D)^I = \{x \mid \forall y. \langle x, y \rangle \in U^I \rightarrow y \in D^D\}$
<code>restriction(U hasValue(v))</code>	$U : v$	$(U : v)^I = \{x \mid \langle x, v^D \rangle \in U^I\}$
<code>restriction(U minCardinality(n))</code>	$\geq n U$	$(\geq n U)^I = \{x \mid \#\{y. \langle x, y \rangle \in U^I\} \geq n\}$
<code>restriction(U maxCardinality(n))</code>	$\leq n U$	$(\leq n U)^I = \{x \mid \#\{y. \langle x, y \rangle \in U^I\} \leq n\}$
Data Ranges (D)		
D (URI reference)	D	$D^D \subseteq \Delta_D^I$
<code>oneOf($v_1 \dots$)</code>	$\{v_1, \dots\}$	$\{v_1, \dots\}^I = \{v_1^D, \dots\}$
Object Properties (R)		
R (URI reference)	R	$R^I \subseteq \Delta^I \times \Delta^I$
	R^-	$(R^-)^I = (R^I)^-$
Datatype Properties (U)		
U (URI reference)	U	$U^I \subseteq \Delta^I \times \Delta_D^I$
Individuals (o)		
o (URI reference)	o	$o^I \in \Delta^I$
Data Values (v)		
v (RDF literal)	v	$v^D = v^D$

Πίνακας 1: Περιγραφές, πεδία δεδομένων, ιδιότητες, αντικείμενα και τιμές δεδομένων της OWL DL

Η OWL DL χρησιμοποιεί αυτές τις δομές σχηματισμού περιγραφών σε αξιώματα που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με κλάσεις, ιδιότητες και αντικείμενα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2. Και πάλι, η αφηρημένη σύνταξη μορφής πλαισίου δίδεται στην πρώτη στήλη, και η τυπική σύνταξη Περιγραφικής Λογικής δίνεται στη δεύτερη στήλη.

Abstract Syntax	DL Syntax	Semantics
Class(<i>A</i> partial $C_1 \dots C_n$)	$A \sqsubseteq C_1 \sqcap \dots \sqcap C_n$	$A^I \subseteq C_1^I \cap \dots \cap C_n^I$
Class(<i>A</i> complete $C_1 \dots C_n$)	$A = C_1 \sqcap \dots \sqcap C_n$	$A^I = C_1^I \cap \dots \cap C_n^I$
EnumeratedClass(<i>A</i> $o_1 \dots o_n$)	$A = \{o_1, \dots, o_n\}$	$A^I = \{o_1^I, \dots, o_n^I\}$
SubClassOf($C_1 C_2$)	$C_1 \sqsubseteq C_2$	$C_1^I \subseteq C_2^I$
EquivalentClasses($C_1 \dots C_n$)	$C_1 = \dots = C_n$	$C_1^I = \dots = C_n^I$
DisjointClasses($C_1 \dots C_n$)	$C_i \sqcap C_j = \perp, i \neq j$	$C_i^I \cap C_j^I = \emptyset, i \neq j$
Datatype(<i>D</i>)		$D^I \subseteq \Delta_D^I$
DatatypeProperty(<i>U</i> super(U_1)...super(U_n))	$U \sqsubseteq U_i$	$U^I \subseteq U_i^I$
domain(C_1) ...domain(C_m)	$\geq 1 U \sqsubseteq C_i$	$U^I \subseteq C_i^I \times \Delta_D^I$
range(D_1) ...range(D_l)	$\top \sqsubseteq \forall U.D_i$	$U^I \subseteq \Delta_D^I \times D_i^I$
[Functional])	$\top \sqsubseteq \leq 1 U$	U^I is functional
SubPropertyOf($U_1 U_2$)	$U_1 \sqsubseteq U_2$	$U_1^I \subseteq U_2^I$
EquivalentProperties($U_1 \dots U_n$)	$U_1 = \dots = U_n$	$U_1^I = \dots = U_n^I$
ObjectProperty(<i>R</i> super(R_1)...super(R_n))	$R \sqsubseteq R_i$	$R^I \subseteq R_i^I$
domain(C_1) ...domain(C_m)	$\geq 1 R \sqsubseteq C_i$	$R^I \subseteq C_i^I \times \Delta^I$
range(C_1) ...range(C_l)	$\top \sqsubseteq \forall R.C_i$	$R^I \subseteq \Delta^I \times C_i^I$
[inverseOf(R_0)	$R = (\neg R_0)$	$R^I = (R_0^I)^-$
[Symmetric]	$R = (\neg R)$	$R^I = (R^I)^-$
[Functional]	$\top \sqsubseteq \leq 1 R$	R^I is functional
[InverseFunctional]	$\top \sqsubseteq \leq 1 R^-$	$(R^I)^-$ is functional
[Transitive])	$Tr(R)$	$R^I = (R^I)^+$
SubPropertyOf($R_1 R_2$)	$R_1 \sqsubseteq R_2$	$R_1^I \subseteq R_2^I$
EquivalentProperties($R_1 \dots R_n$)	$R_1 = \dots = R_n$	$R_1^I = \dots = R_n^I$
AnnotationProperty(<i>S</i>)		
Individual(<i>o</i> type(C_1) ...type(C_n))	$o \in C_i$	$o^I \in C_i^I$
value($R_1 o_1$)...value($R_n o_n$)	$\langle o, o_i \rangle \in R_i$	$\langle o^I, o_i^I \rangle \in R_i^I$
value($U_1 v_1$)...value($U_n v_n$)	$\langle o, v_i \rangle \in U_i$	$\langle o^I, v_i^I \rangle \in U_i^I$
SameIndividual($o_1 \dots o_n$)	$o_1 = \dots = o_n$	$o_1^I = o_2^I$
DifferentIndividuals($o_1 \dots o_n$)	$o_i \neq o_j, i \neq j$	$o_i^I \neq o_j^I, i \neq j$

Πίνακας 2: Αξιώματα της OWL DL

Μια τυπική σημασιολογία, πολύ παρόμοια με την σημασιολογία που παρέχεται στις Περιγραφικές Λογικές, προβλέπεται για αυτή τη μορφή χρήσης της OWL. Πλήρεις λεπτομέρειες σχετικά με αυτό το μοντέλο θεωρίας μπορεί να βρεθεί στην σημασιολογία της OWL και την αφηρημένη σύνταξη.

Επειδή η OWL περιλαμβάνει τύπους δεδομένων, η σημασιολογία για την OWL είναι πολύ παρόμοια με αυτή των Περιγραφικών Λογικών, που ενσωματώνουν, επίσης, τύπους δεδομένων, ιδίως η SHOQ(D). Ωστόσο, οι συγκεκριμένοι τύποι δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην OWL έχουν ληφθεί από τους τύπους δεδομένων των RDF και XML Schema.

Η σημειολογία για την OWL DL περιλαμβάνει μερικές ασυνήθιστες (για Περιγραφικές Λογικές) πτυχές. Στους σχολιασμούς δίνεται μια απλή ξεχωριστή σημασία, που δε φαίνεται εδώ, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συσχετίσει πληροφορίες με κλάσεις, ιδιότητες και αντικείμενα με έναν τρόπο συμβατό με την σημασιολογία του RDF. Οι οντολογίες, επίσης, ζουν μέσα στην σημασιολογία και μπορούν να έχουν πληροφορίες σχολιασμών. Τέλος, στο owl:imports δίνεται μια έννοια που περιλαμβάνει την εύρεση της αναφερόμενης οντολογίας (αν είναι δυνατό) και την πρόσθεση της έννοιας της στην έννοια της τρέχουσας οντολογίας.

Αυτό που κάνει την OWL DL μια γλώσσα οντολογίας Σημασιολογικού Ιστού, ως εκ τούτου, δεν είναι η σημασιολογία της, που είναι αρκετά τυπική για μια Περιγραφική Λογική, αλλά η χρήση των αναφορών URI για ονόματα, η χρήση των τύπων δεδομένων της XML Schema για τις τιμές των δεδομένων, καθώς και η δυνατότητα σύνδεσης με έγγραφα του Παγκόσμιου Ιστού.

Η OWL DL σχετίζεται με τη SHOIN(D), μια πολύ εκφραστική Περιγραφική Λογική. Αυτή η Περιγραφική Λογική είναι κάπως δύσκολη στην παρουσίαση σε άπειρους χρήστες, δεδομένου ότι είναι δυνατή η δόμηση πολύπλοκων boolean περιγραφών χρησιμοποιώντας, για παράδειγμα, ένωση και συμπλήρωμα. Η SHOIN(D) είναι επίσης δύσκολη στην συλλογιστική, καθώς βασικά προβλήματα σχετικά με την συμπερασματολογία έχουν πολυπλοκότητα NExpTime.

Για τους λόγους αυτούς, έχει προσδιοριστεί ένα υποσύνολο της OWL DL που πρέπει να είναι ευκολότερο για όλες τις παραπάνω μετρήσεις. Αυτό το υποσύνολο ονομάζεται OWL Lite. Η OWL Lite απαγορεύει τις ενώσεις και τα συμπληρώματα, περιορίζει τις τομές των εξυπακουόμενων τομών στα αξιώματα των κλάσεων που μοιάζουν με πλαίσια, περιορίζει όλες τις ενσωματωμένες περιγραφές στα ονόματα εννοιών, δεν επιτρέπει στα αντικείμενα να εμφανίζονται σε περιγραφές ή αξιώματα κλάσεων, και περιορίζει τα cardinalities σε 0 ή 1.

Οι περιορισμοί αυτοί καθιστούν την OWL Lite παρόμοια με την Περιγραφική Λογική SHIF(D). Όπως η SHIF(D), η βασική συμπερασματολογία στην OWL Lite μπορεί να υπολογιστεί στη χειρότερη περίπτωση εκθετικού χρόνου (ExpTime), και υπάρχουν ήδη αρκετοί βελτιστοποιημένοι reasoners για λογικές ισοδύναμες με την OWL Lite. Η βελτίωση αυτή στην βολικότητα έρχεται με σχετικά μικρή απώλεια σε εκφραστική ισχύ αν και η σύνταξη της OWL Lite είναι πιο περιορισμένη από αυτή της OWL DL, είναι ακόμα δυνατό να εκφραστούν πολύπλοκες περιγραφές με την εισαγωγή νέων ονομάτων κλάσεων και την αξιοποίηση των αρνήσεων που εισάγονται από τα αξιώματα ασυνδετότητας. Χρησιμοποιώντας αυτές τις τεχνικές, όλες οι περιγραφές της OWL DL μπορούν να συλληφθούν στην OWL Lite, εκτός από εκείνες που περιέχουν είτε ονόματα αντικειμένων είτε cardinalities μεγαλύτερα από 1⁶⁰.

Οι OWL DL και OWL Lite είναι επεκτάσεις μιας περιορισμένης χρήσης των RDF και RDFS, διότι, σε αντίθεση με τα RDF και RDFS, δεν επιτρέπουν να χρησιμοποιούνται οι κλάσεις ως αντικείμενα, και οι κατασκευαστές γλώσσας δε μπορούν να εφαρμοστούν στην ίδια τη γλώσσα. Για τους χρήστες που χρειάζονται αυτές τις δυνατότητες, έχει σχεδιαστεί μια έκδοση της OWL που είναι συμβατή προς τα πάνω με τα RDF και RDFS. Αυτή η έκδοση ονομάζεται OWL Full. Η OWL Full, επιτρέπει όλους τους συνδυασμούς RDF και RDFS.

Η OWL Full περιέχει την OWL DL, αλλά ξεφεύγει πολύ από το τυποποιημένο πλαίσιο της Περιγραφικής Λογικής. Το τίμημα που πρέπει να πληρωθεί εδώ είναι διπλό. Πρώτον, η συλλογιστική στην OWL Full είναι ανίκανη για λήψεις αποφάσεων (λόγω περιορισμών που απαιτούνται για να διατηρηθεί η ικανότητα λήψης αποφάσεων της OWL DL, δεν ισχύουν για την OWL Full). Δεύτερον, η αφηρημένη σύνταξη της OWL DL είναι ανεπαρκής για την OWL Full, καθώς και πρέπει να χρησιμοποιείται η επίσημη σύνταξη ανταλλαγής της OWL η RDF / XML.

Στην OWL Full έχει δοθεί ένα μοντέλο σημασιολογίας που είναι η επέκταση ενός λεξιλογίου του θεωρητικού μοντέλου του RDF. Η αντιστοιχία μεταξύ αυτής της σημασιολογίας και της σημασιολογίας της OWL DL έχει επίσης καθιερωθεί. Έχει αποδειχθεί ότι το μοντέλο θεωρίας για την OWL DL έχει τις ίδιες συνέπειες με αυτό το μοντέλο θεωρίας τύπου RDF για εκείνες τις οντολογίες OWL που μπορούν να γραφτούν στην αφηρημένη σύνταξη της OWL DL.

Η αντιστοιχία σημαίνει ότι, δεδομένων δύο οντολογιών OWL DL O1 και O2, γραμμένες σε αφηρημένη σύνταξη, η O1 συνεπάγεται την O2, σύμφωνα με το μοντέλο θεωρίας της OWL DL αν και μόνο αν η αντιστοίχιση της O1 στις τριάδες RDF συνεπάγεται την αντιστοίχιση της O2 στις τριάδες RDF σύμφωνα με το μοντέλο θεωρίας της OWL Full. Η απόδειξη αυτής της αντιστοιχίας είναι αρκετά πολύπλοκη και θα μπορούσε να διασπαστεί, για παράδειγμα, ως αποτέλεσμα (προφανώς) μικρών αλλαγών στις προδιαγραφές του RDF ή της OWL. Λόγω της σχετικής αστάθειας αυτής της αντιστοιχίας, και προκειμένου να αποφευχθεί ενδεχόμενη σύγχυση ως προς την έννοια της OWL DL, το μοντέλο θεωρίας της OWL Full έχει "μη κανονιστικό" χαρακτήρα (δηλαδή, δεν είναι μόνο πληροφοριακό) για τις οντολογίες OWL που

⁶⁰ "SHOE: A Blueprint for the Semantic Web", Je_ Hein, James Hendler, Sean Luke, February 21, 2003, <http://www.cse.lehigh.edu/~heflin/pubs/swbook03.pdf>

μπορούν να γραφτούν σε αφηρημένη σύνταξη. Αυτό σημαίνει ότι το μοντέλο θεωρίας της OWL DL θα λαμβάνεται ως οριστικό αν η αντιστοιχία διαλυθεί ή αποδειχθεί ότι είναι ελλιπής⁶¹.

⁶¹ “Ontology Languages for the Semantic Web”, Asunción Gómez-Pérez and Oscar Corcho, <http://oa.upm.es/2646/1/JCR01.pdf>

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πλέον στον Παγκόσμιο Ιστό υπάρχουν αποθηκευμένες άπειρες πληροφορίες και τα άτομα που ψάχνουν και μπορούν να έχουν πρόσβαση σε αυτές είναι παγκοσμίως πάρα πολλά. Οι συνεχώς αυξανόμενες πληροφορίες που δημιουργούνται και πρέπει να αποθηκεύονται καθιστούν δύσκολη την εύρεση, την πρόσβαση, την οργάνωση και την διατήρηση αυτών των πληροφοριών από τους χρήστες. Η λύση στα προβλήματα αυτά δίνεται από τον Σημασιολογικό Ιστό και την ικανότητά του να παρέχει βελτιωμένη πρόσβαση σε πληροφορίες παρέχοντας μεταδεδομένα επεξεργάσιμα από τους υπολογιστές. Στην εργασία τονίσαμε πώς ένα από τα σημαντικά περιουσιακά στοιχεία μίας εταιρία, η Γνώση επηρεάζεται από τον Σημασιολογικό Ιστό και πώς αυτή καταγράφεται με τη βοήθεια των οντολογιών.

Όπως έχουμε είδη πει, οι Οντολογίες είναι μία σειρά από όρους που παρουσιάζουν έννοιες και διευκρινίσεις μεταξύ των εννοιών. Οι Οντολογίες προάγουν και διευκολύνουν την διαλειτουργικότητα μεταξύ πληροφοριακών συστημάτων, την ευφυή επεξεργασία από τους πράκτορες, αλλά και τον διαμοιρασμό και την επαναχρησιμοποίηση της γνώσης μεταξύ των συστημάτων. Ένας τομέας γίνεται κατανοητός και διαμοιράζεται μεταξύ των ανθρώπων, αλλά και μεταξύ ετερογενών εφαρμογών.

Οι οντολογίες ήταν η εξέλιξη των προηγούμενων θεωριών λογικής και είναι το σημείο που βρισκόμαστε σήμερα. Μια οντολογία περιέχει την τυπική προδιαγραφή μιας περιοχής της γνώσης. Παρέχει τις βασικές έννοιες και την ορολογία του πεδίου που περιγράφουν και τις μεταξύ τους σχέσεις. Μια οντολογία περιέχει λεξιλόγια και σχήματα οργάνωσης της γνώσης τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν στην επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων, συστημάτων και οργανισμών διευκολύνοντας το διαμοιρασμό, την διαλειτουργικότητα και την επαναχρησιμοποίηση των πόρων. Οι οντολογίες όμως δεν έχουν αναπτυχθεί στην πλήρη μορφή τους και αναμένεται να παίξουν κυρίαρχο ρόλο στο δρόμο προς τον Σημασιολογικό Ιστό.

Σήμερα αναμένουμε την εξέλιξη που θα έχουν τα εργαλεία που θα χρησιμοποιούνται στο Σημασιολογικό Ιστό. Αναμένουμε τα υπάρχοντα εργαλεία να επεκταθούν ώστε να γίνουν πιο χρήσιμα και σημασιολογικά. Οι επόμενες εκδόσεις των εργαλείων σχεδιάζονται και τίθενται οι στόχοι που καλεί κάθε έκδοση να πραγματοποιήσει.

Η ομάδα του Amaya σχεδιάζει να συνεχίσει την προσπάθεια στην επεξεργασία γενικών εγγράφων XML και στον συνδυασμό αυτών με τα φύλλα CSS. Επιπλέον η ομάδα του W3C θα δοκιμάσει να συνεργαστεί για άλλες δραστηριότητες σε διαφορετικούς τομείς εκτός του κειμένου (XML) και να ακολουθήσει την εξέλιξη του Παγκόσμιου Ιστού στην προσπάθεια να γίνει σημασιολογικός.

Επιπλέον υπάρχουν βελτιώσεις στους διαλόγους και τα σημαντικότερα νέα χαρακτηριστικά (π.χ. πιο καθαρός διαχωρισμός μεταξύ στοιχείων και ροής διαλόγου) για να διευκολυνθεί η διαλειτουργικότητα με εφαρμογές εξωτερικών χώρων και μέσων ενημέρωσης. Ένα άλλο εργαλείο που δεν αναφερθήκαμε σε αυτό πριν, αλλά είναι χρήσιμο είναι το Protégé. Το Protégé είναι μια εφαρμογή με σκοπό την ανάπτυξη και αναπαράσταση οντολογιών OWL και προωθεί το όραμα του Σημασιολογικού Ιστού. Αποτελεί ένα αξιόπιστο 'ανοιχτού κώδικα' (open source) εργαλείο βασισμένο σε Java, το οποίο παρέχει μια αρχιτεκτονική για την κατασκευή άλλων εργαλείων βάσεων γνώσης.

Το όραμα το οποίο επιδιώκουν να πραγματοποιήσουν όσοι ασχολούνται με τον Παγκόσμιο Ιστό, είναι να φτάσουν στον πλήρη Σημασιολογικό Ιστό. Οι οντολογίες συνδέονται στενά με το Semantic Web, το οποίο αναφέρεται στη σημασιολογική διασύνδεση των πληροφοριών που υπάρχουν στον Παγκόσμιο Ιστό.

Προς αυτή την κατεύθυνση οδηγούνται όλες οι τεχνολογίες και θεωρίες που αφορούν τη λογική, άρα και τις οντολογίες. Το επόμενο σχήμα είναι χαρακτηριστικό της εξέλιξης της λογικής.

Σταδιακά, η χρήση του Σημασιολογικού Ιστού επεκτείνεται σε συσκευές (π.χ. τηλεοράσεις, κινητά τηλέφωνα κ.α.) που συνδέονται στο Διαδίκτυο. Καθώς οι συσκευές αυτές

θα χρησιμοποιούν τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού, θα περιγράψουν τις λειτουργίες τους και θα τις ανακοινώνουν στο Διαδίκτυο. Έτσι, θα προκύψουν νέες δυνατότητες και αποδοτικότερη συνεργασία μεταξύ των συσκευών αυτών και του Web. Για παράδειγμα, στο μέλλον η τηλεόραση θα μας προτείνει προγράμματα σύμφωνα με κριτήρια που θέσαμε στον Σημασιολογικό Ιστό. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των μελλοντικών συστημάτων διαχείρισης πελατειακών σχέσεων (CRM) θα είναι οι «συσκευές διεπαφής χρήστη», οι οποίες θα μπορούν να «αναγνωρίζουν» τον χρήστη και να «κατανοούν» τη διάθεση και τα συναισθήματά του. Στη συνέχεια, θα του προτείνουν εξατομικευμένες υπηρεσίες και προϊόντα.

Οι τεχνολογίες του Σημασιολογικού Ιστού προσφέρουν αντιπροσώπευση, εξατομίκευση, μοντελοποίηση κάθε είδους συναλλαγών μέσω του Web, παράδοση περιεχομένου και αυτοματοποίηση. Οι δυνατότητες αυτές μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά τις επιδόσεις της τεχνολογίας στο ηλεκτρονικό επιχειρείν, στον ηλεκτρονικό τουρισμό κα.

Βιβλιογραφία

- Ι. Βλαχάβας, Π. Κεφαλάς, Ν. Βασιλειάδης, Φ. Κόκκορας, Η. Σακελλαρίου. Τεχνητή Νοημοσύνη – Γ' Έκδοση, Έκδοση Πανεπιστημίου Μακεδονίας, 2011
- G.F. Luger και W.A. Stubblefield, Artificial Intelligence: structures and strategies for complex problem solving , τρίτη έκδοση, Addison–Wesley, 1998
- E. Rich και K. Knight, Artificial Intelligence , δεύτερη έκδοση, McGraw–Hill, 1991
- T.J.K. Bench–Capon, Knowledge Representation: An Approach to Artificial Intelligence, Academic Press, 1990
- J. Giarratano και G. Riley, Expert Systems: Principles and Programming ,δεύτερη έκδοση, International Thomson Publishing, 1994
- N.J. Nilsson, Principles of Artificial Intelligence, Tioga Publishing Co, 1980
- Γ. Μητακίδης (σε συνεργασία με Α. Συναχοπούλου–Σβάρνα), Από τη Λογική στο Λογικό Προγραμματισμό και την Prolog, Εκδόσεις Καρδαμίτσα, 1992
- N.V. Findler (συντάκτης), Associative Networks – Representation and Use of Knowledge by Computers, Academic Press, 1979
- M.Minsky, «A Framework for Representing Knowledge», in The Psychology of Computer Vision, P.H.Winston (ed.), McGraw–Hill, 1975
- P.H.Winston, Artificial Intelligence, τρίτη έκδοση, Addison Wesley, 1992
- P. Jackson, Introduction to Expert Systems, τρίτη έκδοση, Addison–Wesley, 1999
- A.J. Gonzalez και D.D. Dankel, The Engineering of Knowledge–Based Systems: Theory and Practice, Prentice–Hall, 1993
- J. Ferber, Multi–Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence, Addison–Wesley, 1995
- Δουκίδης, Γεώργιος Ι, Έμπειρα Συστήματα, τεχνητή νοημοσύνη και LISP, Εκδόσεις Ι. Σιδέρης, 1998
- Σπύρος Γ. Τζαφέστας, Έμπειρα Συστήματα και Εφαρμογές, ΑΘΗΝΑ 2005
- Cornelius T. Leondes (2002). Expert systems: the technology of knowledge management and decision making for the 21st century
- Walker, Adrian et al. (1990). Knowledge Systems and Prolog. Addison-Wesley

Παραπομπές

- “Semantic Networks”, by John F. Sowa, <http://www.jfsowa.com/pubs/semnet.htm>
- “Logic and Semantic Networks”, by Amaryllis Deliyanni, Robert A. Kowalski
- “Scientific American: The Semantic Web”, By Tim Berners-Lee, James Hendler and Ora Lassila, <http://semanticcommunity.info/@api/deki/files/4686/=10.1.1.115.9584.pdf>
- “Agents and the Semantic Web”, James Hendler, <http://hcs.science.uva.nl/Capita-AI/2002/papers/hendler.pdf>
- Semantic Web Services, Sheila A. McIlraith, Tran Cao Son, and Honglei Zeng, <http://o2k.stanford.edu/people/sam/ieee01.pdf>
- "NCSA Mosaic — September 10, 1993 Demo". Totic.org. Retrieved July 27, 2009. <http://www.niso.org/publications/press/UnderstandingMetadata.pdf>
- “Learning to match ontologies on the SemanticWeb”, AnHai Doan, Jayant Madhavan, Robin Dhamankar, Pedro Domingos, Alon Halevy, published September 17, 2003, <http://osm7.cs.byu.edu/CS652s04/DMD%2B03Learning.pdf>
- “XML, RDF and the Relatives”, by Michel Klein, <http://ebiz.u-aizu.ac.jp/~paikic/lecture/2005-2/CFS/SemanticWeb-1/RDFXML.pdf>
- “OIL: Ontology Infrastructure to Enable the Semantic Web”, Dieter Fensel, Ian Horrocks, Frank van Harmelen, Deborah McGuinness, and Peter F. Patel-Schneider, <http://www.informatik.uni-leipzig.de/~brewka/papers/semweb/6.OILintro.pdf>
- “Web Ontology Language: OWL”, Grigoris Antoniou¹ and Frank van Harmelen, <http://www.cs.vu.nl/~frank.van.harmelen/postscript/OntoHandbook03OWL.pdf>
- “XOL: An XML-Based Ontology Exchange Language”, Peter D. Karp, Vinay K. Chaudhri and Jerome Thomere, <http://www.sri.com/sites/default/files/uploads/publications/pdf/676.pdf>
- “SHOE: A Blueprint for the Semantic Web”, Je_ Hein, James Hendler, Sean Luke, February 21, 2003, <http://www.cse.lehigh.edu/~heflin/pubs/swbook03.pdf>
- “Ontology Languages for the Semantic Web”, Asunción Gómez-Pérez and Oscar Corcho, <http://oa.upm.es/2646/1/JCR01.pdf>
- “Conceptual Knowledge Markup Language: An Introduction”, Robert E. Kent, <http://148.226.12.104/bitstream/123456789/10416/1/Robert%20E.%20Kent%20-%20Conceptual.pdf>
- “Ontologies and Semantic Web”, <http://www.obitko.com/tutorials/ontologies-semantic-web/description-logics.html>
- “Resource Description Framework (RDF): Concepts and Abstract Syntax”, W3C Recommendation, 10 February 2004, <http://travesia.mcu.es/portaln/jspui/bitstream/10421/2427/1/rdf-concepts%20and%20abstract%20syntax.pdf>
- “The Semantic Web: The roles of XML and RDF”, STEFAN DECKER AND SERGEY MELNIK, FRANK VAN HARMELEN, DIETER FENSEL, MICHEL KLEIN, JEEN BROEKSTRA, MICHAEL ERDMANN, IAN HORROCKS, http://classweb.gmu.edu/kersch/infos770/Semantic_Web_16_2/Semantic%20Web.pdf

“OIL in a Nutshell”, D. Fensel, I. Horrocks, F. Van Harmelen, S. Decker, M. Erdmann, and M. Klein, <http://www.cs.ox.ac.uk/people/ian.horrocks/Publications/download/2000/oilnutshell.pdf>

“OIL: Ontology Infrastructure to Enable the Semantic Web”, Dieter Fensel, Ian Horrocks, Frank van Harmelen, Deborah McGuinness, and Peter F. Patel-Schneider, <http://www.informatik.uni-leipzig.de/~brewka/papers/semweb/6.OILintro.pdf>

“The Ontology Inference Layer OIL”, I. Horrocks, D. Fensel, J. Broekstra, S. Decker, M. Erdmann, C. Goble, F. van Harmelen, M. Klein, S. Staab, R. Studer, and E. Motta, 30 June 2000

“A Comparative Study of Ontology Languages and Tools”, Xiaomeng Su, Lars Ilebrikke

“From SHIQ and RDF to OWL: The Making of a Web Ontology Language”, Ian Horrocks, Peter F. Patel-Schneider, and Frank van Harmelen

M. Greaves, P. Mika, SemanticWeb and Web 2.0, Web Semantics Sci Serv Agents World Wide Web (2008), doi:10.1016/j.websem.2007.12.002

“Semantic Web Architectures”, Renato Iannella, September 2010

“The Semantic Web and its Languages”, Dieter Fensel