



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Τεχνολογίες Αναπαράστασης Γνώσης και Συμπερασμού:  
Η Περίπτωση ενός Έξυπνου Βοηθού Προπονητή  
Ποδοσφαίρου**

**Βασίλειος Ε. Παπαταξιάρχης**

**Επιβλέποντες: Ιζαμπώ Καράλη, Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΚΠΑ  
Παναγιώτης Σταματόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ**

**ΑΘΗΝΑ  
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2008**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Τεχνολογίες Αναπαράστασης Γνώσης και Συμπερασμού: Η Περίπτωση ενός Έξυπνου  
Βοηθού Προπονητή Ποδοσφαίρου

**Βασίλειος Ε. Παπαταξιάρχης**

A.M.: M833

### **ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ:**

**Ιζαμπώ Καράλη**, Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΚΠΑ  
**Παναγιώτης Σταματόπουλος**, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ

### **ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

**Ιζαμπώ Καράλη**, Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΚΠΑ  
**Παναγιώτης Σταματόπουλος**, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ  
**Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης**, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ

Νοέμβριος 2008

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι μεθοδολογίες αναπαράστασης γνώσης που έχουν προταθεί στα πλαίσια ανάπτυξης συστημάτων βασισμένων σε γνώση (knowledge-based systems) μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες. Η πρώτη οικογένεια αφορά τις γλώσσες που είναι προσανατολισμένες στο πεδίο της κλασικής λογικής (classical logic), ενώ η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει μεθοδολογίες βασισμένες στο λογικό προγραμματισμό (logic programming). Ένα πλήθος φορμαλισμών με τα αντίστοιχα εργαλεία συμπερασμού έχει προταθεί και στις δύο περιπτώσεις, προσφέροντας διαφορετικά επίπεδα εκφραστικής δύναμης και δυνατότητες συμπερασμού. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα η ανάπτυξη τέτοιων εφαρμογών να γίνει μία περίπλοκη διαδικασία επιλογής κατάλληλης γλώσσας και εργαλείων. Η παρούσα διπλωματική εργασία αξιολογεί ποιοτικά και πειραματικά τις υπάρχουσες τεχνολογίες αναπαράστασης γνώσης και συμπερασμού στα πλαίσια ανάπτυξης ενός συστήματος βασισμένου σε γνώση με καθορισμένες απαιτήσεις.

Συγκεκριμένα, σε αυτή την εργασία προτείνεται ένα επεκτάσιμο σύστημα βασισμένο σε τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού (Semantic Web) που επιτρέπει την ανάπτυξη υπηρεσιών αξιοποιήσιμων από έναν προπονητή ποδοσφαίρου. Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση του συστήματος βασίζονται στα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη διαδικασία αξιολόγησης των διαφόρων γλωσσών και εργαλείων. Το σύστημα κάνει χρήση σύγχρονων τεχνολογιών που επιτρέπουν την αναπαράσταση γνώσης μέσω εκφραστικών λογικών και την εφαρμογή αποδοτικών μεθόδων συμπερασμού. Συνοπτικά, η βασική λειτουργικότητα του συστήματος είναι να προτείνει στον εκάστοτε χρήστη έναν «καλό» τακτικό σχηματισμό για την ομάδα του, μία αποτελεσματική σύνθεση παικτών, καθώς και συγκεκριμένες οδηγίες τακτικής προς τους παίκτες, αλλά και την ομάδα συνολικά. Το σύνολο αυτών των προτάσεων βασίζεται στην τακτική της αντίπαλης ομάδας, στα χαρακτηριστικά των παικτών που τη συνθέτουν, καθώς και στα χαρακτηριστικά των διαθέσιμων παικτών της ομάδας του χρήστη. Τέλος, η λειτουργικότητα και οι επιδόσεις του συστήματος δοκιμάστηκαν σε επίπεδο προσομοίωσης.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Τεχνολογίες γνώσης

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: σύστημα βασισμένο σε γνώση, αναπαράσταση γνώσης, μέθοδοι συλλογιστικής, οντολογία, κανόνες

## **ABSTRACT**

Knowledge representation methods that have been proposed for developing knowledge-based systems can be classified in two main categories. The first family concerns the languages that are based on classical logic, while the second involves the logic programming languages. In both cases, a wide range of languages has been proposed, offering different levels of expressiveness and reasoning capabilities. This fact has led the development of such applications to become a complex task of appropriate language and tool selection. The present work offers a qualitative and quantitative evaluation of existing knowledge representation technologies and reasoning modules, as well, in the context of developing a knowledge-based system with settled requirements.

In particular, this thesis proposes an extendable knowledge based system implemented with Semantic Web technologies. The system allows the development of services that can be used by football managers. The design and implementation of the system are based on the aforementioned evaluation results. Specifically, it exploits modern technologies that allow the knowledge representation through expressive languages and the application of efficient reasoning methods. Briefly, the basic system functionality is to suggest a “good” tactical formation for the team, an efficient selection of starting players and specific tactical instructions to the players and the team, as well. The abovementioned suggestions are based on the opponent team’s formation, the opponent players’ features and the characteristics of the players belonging to the user’s team. Finally, a functionality and performance evaluation has been performed in a simulated environment.

SUBJECT AREA: Knowledge technologies

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: knowledge-based system, knowledge representation, reasoning methods, ontology, rules

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>8</b>
1.1 Γενικά.....	8
1.2 Αντικείμενο και Στόχοι της Εργασίας.....	9
1.3 Συστήματα Βασισμένα στη Γνώση.....	9
1.4 Αναπαράσταση Γνώσης στον Παγκόσμιο Ιστό.....	10
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΓΝΩΣΗΣ.....</b>	<b>13</b>
2.1 Σημασιολογικός Ιστός.....	13
2.2 Οντολογίες Σημασιολογικού Ιστού.....	14
2.3 Μεθοδολογίες Αναπαράστασης Γνώσης.....	14
2.4 Ποιοτική Σύγκριση Λογικού Προγραμματισμού και Κλασικής Λογικής.....	20
2.5 Συνδυασμός Οντολογιών με Κανόνες.....	22
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΟΥ.....</b>	<b>24</b>
3.1 Μηχανές Συμπερασμού και Εκτέλεσης Κανόνων.....	24
3.2 Πειραματική Αξιολόγηση των Εργαλείων Συμπερασμού.....	30
3.3 Συμπεράσματα – Προβλήματα Εργαλείων Συμπερασμού.....	36
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ.....</b>	<b>39</b>
4.1 Σχετικές Προσπάθειες.....	39
4.2 Ανάλυση Απαιτήσεων του Συστήματος.....	40
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....</b>	<b>43</b>
5.1 Γενική Αρχιτεκτονική του Συστήματος.....	43
5.2 Η Οντολογία Παικτών Ποδοσφαίρου.....	45
5.3 Η Οντολογία Ομάδων Ποδοσφαίρου.....	50
5.4 Οι Κανόνες Επιλογής.....	53
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ.....</b>	<b>56</b>
6.1 Ontology Web Language (OWL).....	56
6.2 Semantic Web Rule Languages (SWRL).....	59
6.3 Java APIs.....	62

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....</b>	<b>64</b>
7.1 Σενάρια Αξιολόγησης.....	64
7.2 Αποτελέσματα Αξιολόγησης.....	66
7.2.1 Ποιοτική Αξιολόγηση.....	66
7.2.2 Αξιολόγηση Επιδόσεων.....	69
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΟΙΚΤΑ ΘΕΜΑΤΑ.....</b>	<b>72</b>
8.1 Συμπεράσματα.....	72
8.2 Ανοικτά Θέματα.....	73
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>	<b>76</b>
<b>ΟΡΟΛΟΓΙΑ.....</b>	<b>88</b>
<b>ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ - ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ.....</b>	<b>89</b>
<b>ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....</b>	<b>90</b>

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών (ειδίκευση «Προηγμένα Πληροφοριακά Συστήματα») του Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (ΕΚΠΑ). Το αντικείμενο μελέτης της είναι η αξιολόγηση των τεχνολογιών γνώσης, καθώς και η ανάπτυξη ενός βοηθητικού εργαλείου για προπονητές ποδοσφαίρου που βασίζεται σε γνώση. Η αξιολόγηση των τεχνολογιών γνώσης αφορά τόσο τα χαρακτηριστικά των διαφόρων γλωσσών αναπαράστασης γνώσης όσο και τα εργαλεία συμπερασμού που τις συνοδεύουν. Η ανάπτυξη του προτεινόμενου συστήματος βασίστηκε στην αξιολόγηση που προηγήθηκε με σκοπό την επιλογή των κατάλληλων τεχνολογιών για τη διαχείριση γνώσης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους επιβλέποντες της εργασίας, επίκουρους καθηγητές κα. Ιζαμπώ Καράλη και κ. Παναγιώτη Σταματόπουλο, για την καθοδήγηση και την πολύτιμη συνεισφορά τους σε όλη τη διάρκεια εκπόνησής της. Η συνεχής παρακολούθηση της προόδου της διπλωματικής εργασίας και οι εύστοχες επισημάνσεις τους συνετέλεσαν στη διαμόρφωση του τελικού αποτελέσματος. Επίσης, ευχαριστώ θερμά το Βασίλειο Τσέτσο, υποψήφιο διδάκτορα του Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών ΕΚΠΑ, για τις πολύτιμες συμβουλές του κατά τη φάση σχεδιασμού του συστήματος. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους αρμόδιους στον τομέα του ποδοσφαίρου, προπονητές κυρίως Παναγιώτη Λεμονή και Νικόλαο Νιόπλια, που βοήθησαν στην κατανόηση του πεδίου εφαρμογής και στην καταγραφή της απαιτούμενης γνώσης.

Αθήνα, Νοέμβριος 2008

Βασίλης Παπαταξιάρχης

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

#### 1.1 Γενικά

Με την πάροδο των χρόνων η απαίτηση για ενσωμάτωση ευφυΐας σε εφαρμογές και πληροφοριακά συστήματα αυξήθηκε σε μεγάλο βαθμό. Με τον όρο ευφυΐα εννοούμε τη δυνατότητα ενός υπολογιστικού συστήματος να συμπεράνει νέα γνώση, να μαθαίνει, να προβλέπει καταστάσεις ή να αντιλαμβάνεται το πλαίσιο στο οποίο λειτουργεί και να προσαρμόζεται σε πιθανές αλλαγές που συμβαίνουν. Η βασική μέθοδος για την προσθήκη νοημοσύνης σε ένα σύστημα είναι η ενσωμάτωση γνώσης και διαδικασιών συμπερασμού σε αυτό. Οι τεχνολογίες γνώσης, αν και γνωστές εδώ και αρκετά χρόνια στην ερευνητική κοινότητα, φαίνεται πως δεν είχαν ωριμάσει αρκετά ώστε να αποτελέσουν σημείο αναφοράς στην ανάπτυξη ανάλογων συστημάτων. Σήμερα όμως, οι τεχνολογίες γνώσης αποτελούν ένα βασικό γνώμονα ανάπτυξης μίας μεγάλης γκάμας εφαρμογών.

Ειδικότερα, με τη ραγδαία ανάπτυξη των τεχνολογιών γνώσης που αφορούν το Διαδίκτυο, παρουσιάστηκε μία έκρηξη των πεδίων εφαρμογής για τις τεχνολογίες γνώσης. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στο μεγάλο πλήθος των υπάρχουσών εφαρμογών Διαδικτύου, καθώς οι περισσότερες εξ αυτών βρήκαν στο πρόσωπο των τεχνολογιών γνώσης ένα βοηθό για τη βελτίωση της λειτουργικότητάς τους. Στρατιωτικές εφαρμογές, συστήματα ιατρικής, οικονομικά συστήματα, εφαρμογές βιολογίας, εφαρμογές Διάχυτου Υπολογισμού (Pervasive Computing και Ambient Intelligence) και πολλά ακόμα πεδία άρχισαν να χρησιμοποιούν γνώση με σκοπό να προσδώσουν στο εκάστοτε σύστημα ή εφαρμογή την απαιτούμενη ευφυΐα και δυνατότητες προσαρμογής.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειώσουμε πως με τον όρο «τεχνολογίες γνώσης» εννοούμε τόσο τις διάφορες γλώσσες αναπαράστασης της γνώσης όσο και τα εργαλεία συμπερασμού που επιτρέπουν τη διαχείρισή της. Η μοντελοποίηση, λοιπόν, των συστημάτων με χρήση τεχνολογιών γνώσης επιτρέπει την προσθήκη σημασιολογίας που μπορεί να οδηγήσει σε ανάπτυξη εφαρμογών με προηγμένη λειτουργικότητα, αποτελεσματικότητα και επιδόσεις. Ωστόσο, το μεγάλο πλήθος φορμαλισμών και εργαλείων που προέρχονται από διαφορετικούς ερευνητικούς χώρους και φορείς



δυσχεραίνει σε κάποιο βαθμό την υιοθέτηση αυτών των τεχνολογιών από τα άτομα που αναπτύσσουν ανάλογες εφαρμογές.

## **1.2 Αντικείμενο και Στόχοι της Εργασίας**

Το βασικό αντικείμενο μελέτης της εργασίας αφορά τις τεχνολογίες γνώσης και τα συστήματα βασισμένα σε γνώση. Πιο συγκεκριμένα, ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι διττός. Σε πρώτη φάση μελετούνται οι υπάρχουσες τεχνολογίες γνώσης που χρησιμοποιούνται σήμερα για την ανάπτυξη συστημάτων βασισμένων σε γνώση. Η σύγκριση αυτή περιλαμβάνει τόσο την ποιοτική αξιολόγηση διαφόρων γλωσσών και φορμαλισμών αναπαράστασης γνώσης όσο και την πειραματική αξιολόγηση των αντίστοιχων εργαλείων συμπερασμού. Συνεπώς, στην παρούσα εργασία μελετάμε τη διαδικασία επιλογής των κατάλληλων και πιο αποτελεσματικών τεχνολογιών γνώσης (γλωσσών αναπαράστασης και εργαλείων συμπερασμού) ανάλογα με τα απαιτούμενα επίπεδα εκφραστικότητας του εκάστοτε πεδίου εφαρμογής.

Η παραπάνω μελέτη πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια ανάπτυξης ενός πραγματικού συστήματος βασισμένο σε γνώση. Έτσι, στην παρούσα εργασία προτείνεται ένα σύστημα βασισμένο σε τεχνολογίες Σηματολογικού Ιστού το οποίο επιτρέπει την ανάπτυξη υπηρεσιών χρήσιμων σε ένα προπονητή ποδοσφαίρου. Βασικός στόχος του συστήματος δεν είναι η καταγραφή όλης της γνώσης που αφορά στο συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογής, αλλά η δυνατότητα επεκτασιμότητας του συστήματος. Το γεγονός αυτό προϋποθέτει κατά τα στάδια ανάπτυξής του την υιοθέτηση κατάλληλων τεχνολογιών που θα επιτρέπουν την εύκολη μελλοντική του επέκταση στο επίπεδο των υπηρεσιών που αυτό προσφέρει.

## **1.3 Συστήματα Βασισμένα σε Γνώση**

Με τον όρο «συστήματα βασισμένα σε γνώση» (knowledge based systems) αναφερόμαστε συνήθως σε υπολογιστικά συστήματα που εκμεταλλευόμενα γνώση που αφορά ένα πεδίο εφαρμογής φιλοδοξούν να παίξουν το ρόλο του ειδικού πάνω στο συγκεκριμένο τομέα. Ο βασικός στόχος αυτών των συστημάτων είναι να μοντελοποιήσουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων του ειδικού και να προσομοιώσουν-

μιμηθούν ανάλογα τη συμπεριφορά του σε καταστάσεις που αφορούν το πεδίο της εφαρμογής.

Ένα βασικό πλεονέκτημα των συστημάτων βασισμένων σε γνώση έγκειται στο γεγονός πως μπορούν να συνδυάσουν γνώση που προέρχεται από περισσότερους του ενός ειδικούς. Αυτό σημαίνει πως έχουν στη διάθεσή τους μεγαλύτερο όγκο γνώσης του πεδίου που μπορεί να οδηγήσει σε ποιοτικότερη και πιο αντικειμενική λήψη αποφάσεων. Επίσης, η καταγραφή της γνώσης αυξάνει τις δυνατότητες διαχείρισης και μεταφοράς της σε μεγαλύτερο πλήθος ανθρώπων. Παράλληλα, μιας και η διαδικασία λήψης αποφάσεων είναι καθορισμένη, τα συστήματα αυτά λαμβάνουν υπόψη τους όλες τις παραμέτρους που έχουν προσδιοριστεί ως κρίσιμες για τη λήψη μίας απόφασης.

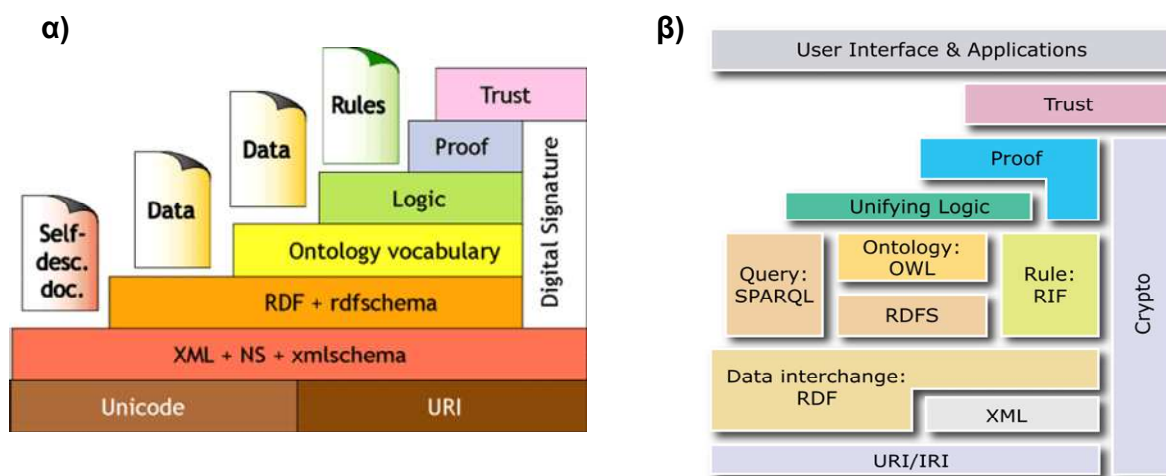
Ιδανικά, ένα σύστημα βασισμένο σε γνώση θα μπορούσε να αντικαταστήσει τον ειδικό του συγκεκριμένου πεδίου. Ωστόσο, η πρακτική εφαρμογή αντίστοιχων συστημάτων έχει δείξει πως υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί για την επίτευξη του παραπάνω στόχου. Συγκεκριμένα, ο άνθρωπος έχει αποδειχθεί ικανότερος από τον υπολογιστή στη συνδυαστική σκέψη, καθώς προσαρμόζεται γρήγορα και επιτυχώς σε αλλαγές καταστάσεων. Επίσης, η γνώση που διαθέτει ένας άνθρωπος δεν περιορίζεται σε ένα συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογής, γεγονός που σε πολλές περιπτώσεις παίζει καθοριστικό ρόλο στη λήψη μίας κρίσιμης απόφασης. Αντίθετα, τα συστήματα αυτά χειρίζονται γνώση περιορισμένη στο πεδίο της εφαρμογής τους. Η γενική ικανότητα της ανθρώπινης αντίληψης δύσκολα προσομοιώνεται από ένα υπολογιστικό σύστημα και ειδικότερα από ένα σύστημα που είναι προσανατολισμένο στην επίλυση συγκεκριμένων προβλημάτων.

#### **1.4 Αναπαράσταση Γνώσης στον Παγκόσμιο Ιστό**

Οι γλώσσες αναπαράστασης γνώσης που έχουν προταθεί για την καταγραφή και χρήση γνώσης στα πλαίσια του Παγκόσμιου Ιστού μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες. Η πρώτη οικογένεια αφορά τις γλώσσες που είναι προσανατολισμένες στο πεδίο της κλασικής λογικής (classical logic), ενώ η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει μεθοδολογίες βασισμένες στο λογικό προγραμματισμό (logic programming). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την έναρξη μίας διαμάχης μεταξύ των ερευνητών που προέρχονταν από τις προαναφερθείσες επιστημονικές κοινότητες που ως στόχο είχε την επικράτηση της αντίστοιχης μεθοδολογίας αναπαράστασης γνώσης. Παράλληλα, ένα πλήθος γλωσσών προτάθηκε και στις δύο κατηγορίες, προσφέροντας διαφορετικά επίπεδα

εκφραστικής δύναμης. Τα παραπάνω είχαν ως αποτέλεσμα η ανάπτυξη εφαρμογών βασισμένων στη γνώση να γίνει μία περίπλοκη διαδικασία. Τα τελευταία χρόνια, με την πρόοδο των τεχνολογιών του Σημασιολογικού Ιστού (Semantic Web), πολλοί ερευνητές έχουν επιχειρήσει να συνδυάσουν τους δύο κόσμους και να προσφέρουν ένα ενιαίο πλαίσιο ανάπτυξης και υποστήριξης εφαρμογών βασισμένων στη γνώση [44] [50] [17] [15] [3] [8] [1].

Παράλληλα, λόγω της επικράτησης των οντολογιών για την αναπαράσταση γνώσης στο Διαδίκτυο, η παραπάνω αντιπαράθεση έγινε εντονότερη στο επίπεδο των γλωσσών για την αναπαράσταση κανόνων [32] [33] [41] [27] [20] [6] [58] [59]. Και σε αυτή την περίπτωση, ένα πλήθος γλωσσών, προερχόμενες και από τους δύο κόσμους, προτάθηκε για την αναπαράσταση γνώσης στο Διαδίκτυο μέσω κανόνων. Το βασικό σημείο διαμάχης των επιμέρους προσπαθειών αφορά το βαθμό στον οποίο θα ενοποιηθούν τα επίπεδα οντολογιών και κανόνων του Semantic Web Layer Cake. Η Εικόνα 1.1 εμφανίζει μία αρχική εκδοχή των διαφόρων στρωμάτων του Σημασιολογικού Ιστού, καθώς και την πλέον πρόσφατη εκδοχή του ίδιου διαγράμματος.



Εικόνα 1.1: α) Το αρχικό (κατά Tim Berners Lee) Semantic Web Layer Cake και β) η τρέχουσα εκδοχή του [70]

Τα παραπάνω γεγονότα δημιούργησαν σύγχυση στην κοινότητα που ασχολείται με το Διαδίκτυο και τις τεχνολογίες του. Αν οι ειδικοί (δλδ. οι επιστήμονες που ασχολούνται με τη λογική προερχόμενοι είτε από τον τομέα των Βάσεων Δεδομένων ή από την Τεχνητή Νοημοσύνη) δεν μπορούν να αποφασίσουν και να προτείνουν έναν ενοποιημένο πλαίσιο αναπαράστασης της γνώσης, πώς οι χρήστες και τα άτομα που αναπτύσσουν σχετικές εφαρμογές θα επιλέξουν την κατάλληλη γλώσσα; Αυτό που μπορεί να κάνει κάποιος σήμερα είναι είτε να εξετάσει την τεράστια γκάμα διαθέσιμων φορμαλισμών και

τις δυνατότητές τους (εκφραστικότητα γλώσσας, υποστηριζόμενα εργαλεία για καταγραφή της γνώσης και συμπερασμό, δυνατότητες συμπερασμού σε εύλογο χρόνο, κλπ.) ή να απορρίψει τη χρήση φορμαλισμών γνώσης στα πλαίσια της εφαρμογής που αναπτύσσει.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΓΝΩΣΗΣ

#### 2.1 Σημασιολογικός Ιστός

Η αξία και η σημασία του Παγκόσμιου Ιστού (World Wide Web ή WWW ή απλά Web) στην σχέση του ανθρώπου με τον υπολογιστή είναι πάρα πολύ μεγάλη. Παρόλα αυτά, το WWW έχει ένα βασικό μειονέκτημα: βασίζεται στην συντακτική περιγραφή του περιεχομένου (content), κύριος στόχος της οποίας είναι η καταληπτότητά του από τον άνθρωπο. Το χαρακτηριστικό αυτό του WWW δεν επιτρέπει την αυτόματη επεξεργασία του περιεχομένου. Τέτοια επεξεργασία προϋποθέτει μια καταλληλότερη περιγραφή του δημοσιευμένου περιεχομένου και αλγόριθμους που να προσδίδουν την επιθυμητή «ευφυΐα» στο υπολογιστικό περιβάλλον.

Τον παραπάνω περιορισμό του WWW, καθώς και τη λύση για την άρση του, συνέλαβε πρώτος ο ιδρυτής του, Tim Berners-Lee, ο οποίος όρισε ένα εξελικτικό στάδιο του WWW: το «Σημασιολογικό Ιστό» (Semantic Web). Ο Σημασιολογικός Ιστός έχει σαν στόχο να προσδώσει δομή στο νόημα του περιεχομένου των ιστοσελίδων, δημιουργώντας ένα περιβάλλον όπου οι πράκτορες λογισμικού (software agents) περιπλανώμενοι από σελίδα σε σελίδα θα μπορούν να εκτελούν προηγμένες εργασίες για τους χρήστες.

Ο Σημασιολογικός Ιστός (ΣΙ) [4] αποτελεί τη βάση για μια πλήρως κατανεμημένη μορφή τεχνητής νοημοσύνης. Όπως είναι γνωστό, η τεχνητή νοημοσύνη ασχολείται κυρίως με δύο θέματα: την αναπαράσταση γνώσης (knowledge representation) και τις μεθόδους αναζήτησης και συμπερασμού (reasoning). Έτσι, για να λειτουργήσει ο Σημασιολογικός Ιστός θα πρέπει οι υπολογιστές να έχουν πρόσβαση σε δομημένες βάσεις γνώσης και σε κανόνες συμπερασμού τους οποίους να μπορούν να χρησιμοποιήσουν για να διενεργήσουν αυτόματη συλλογιστική (reasoning/inference).

Όσον αφορά στην αναπαράσταση γνώσης, το κύριο «εργαλείο» για την αναπαράσταση γνώσης στον ΣΙ είναι οι οντολογίες. Μάλιστα, η μεγαλύτερη συμβολή της πρωτοβουλίας του ΣΙ μέχρι σήμερα είναι η προτυποποίηση που παρείχε σε γλώσσες και τεχνολογίες ανάπτυξης και χρήσης οντολογιών. Πιο συγκεκριμένα, σήμερα η πιο διαδεδομένη γλώσσα για δημιουργία οντολογιών είναι η Web Ontology Language (OWL). Το συντακτικό της γλώσσας αυτής βασίζεται στην XML και στην RDF/RDF Schema (Resource Description Framework). Η εκφραστικότητα και η σημασιολογία της OWL

καθορίζεται κυρίως από τις Περιγραφικές Λογικές (Description Logics). Τέλος, ο συμπερασμός γίνεται με τεχνολογίες κανόνων (σε συνδυασμό με οντολογίες) και με κυριότερη την Semantic Web Rule Language (SWRL). Πιο πολλές λεπτομέρειες για τα παραπάνω δίνονται στις επόμενες παραγράφους.

## 2.2 Οντολογίες Σημασιολογικού Ιστού

Οι οντολογίες αποτελούν μία σχετικά σύγχρονη μέθοδος αναπαράστασης γνώσης, αλλά και ερευνητικό πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης γενικότερα. Ένας εύστοχος και περιεκτικός ορισμός της οντολογίας είναι ο εξής:

*«Ontology is a formal, explicit specification of a shared conceptualization»*

(R. Studer 1998, πρωτότυπος ορισμός από τον T. Gruber το 1993)

Ο ορισμός αυτός θα μπορούσε να αποδοθεί στα ελληνικά ακολούθως:

*«Οντολογία είναι μια τυπική, ρητή προδιαγραφή μιας κοινής εννοιολογικής θεώρησης ενός φαινομένου».*

Μια οντολογία (*ontology*) είναι η αυστηρά μαθηματική περιγραφή ενός πεδίου γνώσης και περιλαμβάνει ένα σύνολο από όρους και συσχετίσεις μεταξύ τους. Οι όροι περιγράφουν κλάσεις αντικείμενων, δηλαδή έννοιες σχετικές με αντικείμενα. Οι συσχετίσεις συνήθως αφορούν ιεραρχικές εξαρτήσεις μεταξύ των όρων. Άλλες πληροφορίες που μπορεί να υπάρχουν σε μία οντολογία είναι οι ιδιότητες των εννοιών, περιορισμοί γύρω από αυτές, σχέσεις ισοδυναμίας, καθώς και σημασιολογικοί συσχετισμοί μεταξύ των εννοιών με τη χρήση της λογικής.

Η οντολογία που σχεδιάζουμε για ένα πεδίο ενδιαφέροντος (*domain*), χρησιμοποιείται τόσο για να υπάρχει ένα κοινά αποδεκτό λεξιλόγιο του πεδίου όσο και για να μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα εκμεταλλευόμενοι τα στοιχεία μοντελοποίησης και τη σημασιολογία τους.

## 2.3 Μεθοδολογίες Αναπαράστασης Γνώσης

### Περιγραφικές Λογικές

Με τον όρο Περιγραφικές Λογικές (Description Logics - DL) [5] αναφερόμαστε σε μια δομημένη μέθοδο αναπαράστασης γνώσης, με τη βοήθεια της οποίας μπορούμε να αναπαραστήσουμε τις έννοιες και τις συσχετίσεις ενός πεδίου εφαρμογής με

φορμαλιστικό τρόπο που επιτρέπει εξαγωγή συμπερασμάτων μέσω συλλογισμού (reasoning). Οι Περιγραφικές Λογικές [5] αποτελούν υποσύνολα της λογικής πρώτης τάξης και έχουν ως προέλευση τα σημασιολογικά δίκτυα και τα συστήματα πλαισίου (frame systems). Αποτελούν μία οικογένεια γλωσσών (και όχι μία μοναδική γλώσσα) για τον ορισμό του λεξιλογίου και την περιγραφή των εννοιών και των συσχετίσεων που συνθέτουν ένα πεδίο εφαρμογής (application domain). Για το σκοπό αυτό, οι Περιγραφικές Λογικές είναι εφοδιασμένες σε τυπικά ορισμένη σημασιολογία, η οποία είναι βασισμένη στη λογική και προσανατολισμένη στις διαδικασίες συμπερασμού (reasoning). Τέτοιες τυπικές διαδικασίες συμπερασμού είναι ο έλεγχος συνέπειας (consistency checking) της βάσης γνώσης, ικανοποιησιμότητας (satisfiability checking) και στιγμιοτύπων (instance checking).

Τα βασικά στοιχεία που απαρτίζουν μια τέτοια γλώσσα είναι οι έννοιες, οι ρόλοι, τα χαρακτηριστικά και τα στιγμιότυπά τους. Μία έννοια είναι μία περιγραφή των κοινών χαρακτηριστικών που περιγράφουν τα στιγμιότυπα που ανήκουν σε αυτή την έννοια. Το συντακτικό και η σημασιολογία που διέπει μία τέτοια γλώσσα φαίνεται στην Εικόνα 2.1.

Constructor	Syntax	Semantics
Concept	$A$	$A^I \subseteq \Delta^I$
Role name	$R$	$R^I \subseteq \Delta^I \times \Delta^I$
Conjunction	$C \cap D$	$C^I \cap D^I$
Value restriction	$\forall R.C$	$\{X \in \Delta^I \mid \forall y.(x,y) \in R^I \Rightarrow y \in C^I\}$
Existential quantification	$\exists R$	$\{X \in \Delta^I \mid \exists y.(x,y) \in R^I\}$
Top	$\top$	$\Delta^I$
Bottom	$\perp$	$\emptyset$
Negation(C)	$\neg A \neg C$	$\Delta^I \setminus C^I$
Disjunction(U)	$C \cup D$	$C^I \cup D^I$
Existential restriction(E)	$\exists R.C$	$\{X \in \Delta^I \mid \exists y.(x,y) \in R^I \wedge y \in C^I\}$
Inverse role	$R$	$\{(y,x) \mid (x,y) \in R^I\}$

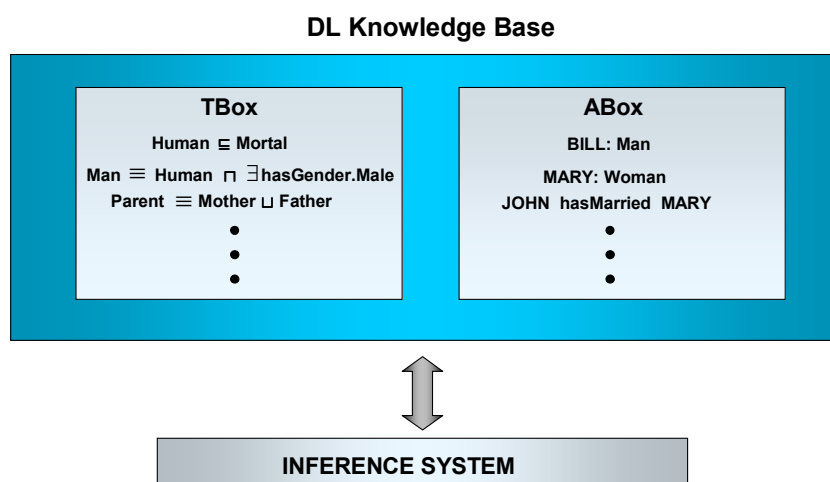
Εικόνα 2.1: Συντακτικό και σημασιολογία σε DL [5]

Σε αυτή την εικόνα παρουσιάζονται οι «έννοιες» (C και D) που αποτελούνται από «ατομικές έννοιες» (A), οι «ρόλοι» (R), καθώς και τα «χαρακτηριστικά». Οι «ρόλοι» αποτελούνται από «ατομικούς ρόλους» και «χαρακτηριστικά». Μία τέτοια γλώσσα παρέχει τη δυνατότητα περιγραφής των διαφόρων ρόλων των εννοιών και τη δυνατότητα αναπαράστασης πολύπλοκων εννοιών και συσχετίσεων, οι οποίες

αποτελούνται από επιμέρους απλούστερες. Οι «έννοιες» της DL αναπαριστούν ουσιαστικά κλάσεις αντικειμένων, δηλαδή σύνολα στιγμιοτύπων, ενώ οι «ρόλοι» αναπαριστούν δυαδικές συσχετίσεις μεταξύ στιγμιοτύπων και ουσιαστικά περιγράφουν τις ιδιότητες των «εννοιών».

Ο φορμαλισμός και η σημασιολογία των DL γλωσσών είναι βασισμένα στην επιστήμη της λογικής. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό τους, που προέρχεται από το γεγονός ότι είναι βασισμένες στη λογική, είναι η έμφαση που δίνουν στο μηχανισμό εξαγωγής συμπερασμάτων. Επίσης, επιτρέπουν κατηγοριοποίηση των εννοιών (υποκλάσεις, υπερκλάσεις) οδηγώντας σε μία ιεραρχική δόμηση των εννοιών. Η ιεραρχία αυτή βοηθά τόσο στη μοντελοποίηση ενός πεδίου γνώσης όσο και στη διαδικασία εξαγωγής νέας γνώσης.

Ένα σύστημα αναπαράστασης γνώσης βασισμένο σε DL, παρέχει ευκολίες στη δυνατότητα διαχείρισης της βάσης γνώσης (Knowledge Base-KB). Η Εικόνα 2.2 παρουσιάζει την αρχιτεκτονική ενός συστήματος αναπαράστασης γνώσης βασισμένο σε DL.



Εικόνα 2.2: Αρχιτεκτονική ενός συστήματος αναπαράστασης γνώσης βασισμένο σε Περιγραφικές Λογικές

Όπως φαίνεται σε αυτή την εικόνα, η βάση γνώσης ενός τέτοιου συστήματος αποτελείται από τα εξής δύο συστατικά: TBox και ABox. Με τον όρο TBox (Terminological Box) συμβολίζουμε το τμήμα της βάσης γνώσης που περιέχει το λεξιλόγιο του πεδίου της εφαρμογής του συστήματος, ενώ με τον όρο ABox (Assertional Box) συμβολίζουμε επιπλέον γνώση που αφορά τα άτομα του πεδίου της εφαρμογής.



Με άλλα λόγια, το τμήμα TBox περιέχει τους ορισμούς των εννοιών και των ρόλων του πεδίου γνώσης, ενώ το ABox περιέχει τους ορισμούς των στιγμιοτύπων του συστήματος που αφορούν τόσο έννοιες όσο και ρόλους. Έτσι, μία δήλωση που αφορά τον ορισμό ενός στιγμιοτύπου της κλάσης «Άνθρωπος» ανήκει στο ABox τμήμα της ΒΓ, ενώ η δήλωση ότι «κάθε άνθρωπος είναι θνητός» ανήκει στο TBox.

Ένα σύστημα αναπαράστασης γνώσης βασισμένο σε DL, όπως είπαμε, δεν προσφέρει μόνο δυνατότητες για την αναπαράσταση της γνώσης, αλλά και δυνατότητες συλλογισμού για την εξαγωγή νέας γνώσης. Αυτό επιτυγχάνεται βάσει της ιεραρχικής δόμησης των «εννοιών» και τη θεωρία της λογικής. Τυπική συλλογιστική μέθοδος είναι η εξέταση αν μία έκφραση είναι αληθής βάσει των στιγμιοτύπων που υπάρχουν στη βάση γνώσης.

Επίσης, στα συστήματα DL είναι δυνατό να προστεθούν κανόνες για το συμπερασμό γνώσης (inference rules). Αυτοί τοποθετούνται συνήθως στο TBox, μιας και δεν αποτελούν επιπλέον γνώση, αλλά συμπληρώνουν τους ορισμούς των «εννοιών» και των «ρόλων».

Οι Περιγραφικές Λογικές αποτέλεσαν τη βάση για τη δημιουργία της Web Ontology Language (OWL) [14], η οποία στοχεύει στην αναπαράσταση γνώσης στο Διαδίκτυο. Συγκεκριμένα, η γλώσσα OWL είναι διαθέσιμη σε τρεις εκδόσεις που προσφέρουν διαφορετικά επίπεδα εκφραστικότητας. Η OWL-Full είναι η πλήρης έκδοση της OWL, καθώς περιλαμβάνει όλα τα δομικά της στοιχεία. Η OWL-DL μπορεί να θεωρηθεί μία περιορισμένη έκδοση της OWL-Full, με σκοπό να εμφανίζει μεγαλύτερες αποδοτικότητα στις διαδικασίες συμπερασμού γνώσης. Τέλος, η έκδοση OWL-Lite είναι ένα υποσύνολο της OWL-DL, το οποίο περιορίζει ακόμα περισσότερο την εκφραστικότητά της γλώσσας. Περισσότερες πληροφορίες για τη γλώσσα OWL παρατίθενται στο Κεφάλαιο 6.

### Description Logic Programs

Τα Προγράμματα Περιγραφικών Λογικών (Description Logic Programs - DLP) [27] αποτελούν έναν φορμαλισμό αναπαράστασης γνώσης με σχετικά περιορισμένη εκφραστικότητα. Αποτελεί ουσιαστικά την τομή των Περιγραφικών Λογικών και του Λογικού Προγραμματισμού, επιχειρώντας να καθορίσει μία αμφίδρομη αντιστοιχία μεταξύ των λογικών εκφράσεων των Περιγραφικών Λογικών και του Λογικού Προγραμματισμού (συγκεκριμένα των προγραμμάτων Horn που δεν περιέχουν συναρτησιακά σύμβολα, άρνηση και διάζευξη). Ένα παράδειγμα αυτής της αντιστοιχίας

στην περίπτωση της σύζευξης εννοιών αποτελεί το ακόλουθο:

$$C_1 \sqcap C_2 \sqsubseteq D \quad \equiv \quad D(x) \leftarrow C_1(x) \wedge C_2(x) \quad (2.1)$$

Ωστόσο, τα Προγράμματα Περιγραφικών Λογικών, προς χάριν της αποφασισιμότητας, παρέχουν περιορισμένη εκφραστικότητα. Έτσι, η αντιστοιχία που ορίζουν περιέχει ένα μικρό υποσύνολο της εκφραστικότητας που παρέχουν οι Περιγραφικές Λογικές, όπως σύζευξη, διάζευξη και περιορισμούς ποσοτικοποίησης (quantification restrictions). Για παράδειγμα, ο συγκεκριμένος φορμαλισμός δεν υποστηρίζει άρνηση στην περιγραφή εννοιών και αριθμητικούς περιορισμούς (cardinality restrictions).

### Answer Set Programming

Ο Προγραμματισμός Συνόλου Απαντήσεων (Answer Set Programming - ASP) [26] [18] [19] [55] αποτελεί μία μορφή αναπαράστασης γνώσης με δηλωτικό (declarative) τρόπο, προσφέροντας ένα πλήθος πλεονεκτημάτων σε σχέση με τις κλασικές γλώσσες λογικού προγραμματισμού (π.χ., Prolog):

- *Είναι πλήρως δηλωτική γλώσσα.* Η σειρά εκτέλεσης των κανόνων ενός προγράμματος δεν έχει ποιοτική σημασία για τα συμπεράσματα που θα προκύψουν.
- *Αποφασισιμότητα της γλώσσας.* Τα προγράμματα συνόλου απαντήσεων είναι εν γένει αποφασίσιμα.
- *Μη-μονότονη συλλογιστική.* Η γλώσσα προσφέρει τη δυνατότητα έκφρασης και ισχυρής άρνησης (strong negation) και ασθενούς (negation-as-failure). Με αυτό τον τρόπο υποστηρίζονται χαρακτηριστικά μη-μονότονης συλλογιστικής όπως η υπόθεση του κλειστού κόσμου (closed world assumption).
- *Διαθεσιμότητα αποδοτικών εργαλείων συμπερασμού.* Έχουν αναπτυχθεί αρκετά εργαλεία συμπερασμού πάνω σε προγράμματα συνόλου απαντήσεων (ASP solvers) ικανά να διαχειριστούν μεγάλες βάσεις γνώσης.

Η γενική μορφή των ASP κανόνων είναι η ακόλουθη:

$$a_1 \vee a_2 \vee \dots \vee a_n \leftarrow b_1 \wedge \dots \wedge b_k \wedge \text{not } b_{k+1} \wedge \dots \wedge \text{not } b_m \quad (2.2)$$

όπου τα  $a_i$  και  $b_j$  είναι άτομα (atoms) και αρνήσεις ατόμων, ενώ ο όρος “not” αναφέρεται σε άρνηση NAF του Λογικού Προγραμματισμού.

Ένα σύνολο από τέτοιους κανόνες συνθέτουν ένα ASP πρόγραμμα. Πολύ ενδιαφέρον είναι το γεγονός πως αυτά τα προγράμματα επιτρέπουν διάζευξη στην κεφαλή των κανόνων. Αυτό αποτελεί ίσως το βασικότερο χαρακτηριστικό του φορμαλισμού αυτού, καθώς εισάγει την έννοια του μη-ντετερμινισμού (non-determinism) στη συλλογιστική διαδικασία. Έτσι ένα ASP πρόγραμμα μπορεί να έχει περισσότερα του ενός σύνολα απαντήσεων (answer sets), τα οποία αποτελούν μοντέλα του προγράμματος.

Για να χρησιμοποιήσουμε το συγκεκριμένο φορμαλισμό στο Διαδίκτυο, οι παραπάνω κανόνες θα πρέπει να συνδυαστούν με διαδικτυακή γνώση. Καθώς οι οντολογίες αποτελούν την πλέον διαδεδομένη μορφή αναπαράστασης γνώσης στο Διαδίκτυο, απαιτείται μία μορφή αλληλεπίδρασης και συνδυασμού των οντολογιών με προγράμματα ASP. Μία λύση που έχει προταθεί σε αυτό το πρόβλημα ολοκλήρωσης της γνώσης αποτελούν τα dl-προγράμματα (dl-programs). Αυτά τα προγράμματα απαρτίζονται από ASP κανόνες που είναι δυνατό να περιέχουν επερωτήσεις σε εξωτερικές βάσεις γνώσεις εκφρασμένες σε Περιγραφικές Λογικές. Για παράδειγμα, ο ακόλουθος κανόνας «αναθέτει» στο κατηγορημα *movie()* όλα τα στιγμιότυπα της κλάσης *Movie*, η οποία περιέχεται στη DL βάση γνώσης.

$$\text{movie}(X) \leftarrow \text{DL}[\text{“Movie”}](X). \quad (2.3)$$

### Αναιρέσιμη Λογική

Η αναιρέσιμη λογική (defeasible logic) [45] αποτελεί μία προσέγγιση βασισμένη σε κανόνες και έχει τις ρίζες της στο Λογικό Προγραμματισμό. Ουσιαστικά, είναι μία προσπάθεια χειρισμού ελλιπούς και ασυνεπούς γνώσης που διακρίνεται από χαρακτηριστικά μη-μονότονης συλλογιστικής. Ως επακόλουθο, αυτά τα χαρακτηριστικά έχουν χρησιμοποιηθεί για την αναπαράσταση γνώσης στα πλαίσια του Σημασιολογικού Ιστού, ιδιαίτερα στο πεδίο της ολοκλήρωσης της πληροφορίας (π.χ., συγχώνευση οντολογιών). Συγκεκριμένα, ορισμένες ερευνητικές προσπάθειες [2] είχαν ως στόχο τη μεταφορά των πλεονεκτημάτων της αναιρέσιμης λογικής στο χώρο των τεχνολογιών του Σημασιολογικού Ιστού. Η βασική ιδέα των συστημάτων αυτών ήταν η δυνατότητα χειρισμού επιπρόσθετων χαρακτηριστικών όπως η επιβολή προτεραιότητας στην εκτέλεση κανόνων, η κληρονομικότητα (*inheritance*) και οι εξαιρέσεις (*exceptions*) σε σχέση με τα κλασικά συστήματα κανόνων. Υπάρχουν 3 διαφορετικοί τύποι κανόνων στα συστήματα αναιρέσιμης λογικής: α) οι κλασικοί κανόνες (που ονομάζονται *strict rules*), β) αναιρέσιμοι κανόνες (*defeasible rules*) που μπορούν να αναιρεθούν από άλλους

κανόνες και γ) οι *defeater* κανόνες που ορίζουν εξαιρέσεις των αναιρέσιμων κανόνων. Με αυτό τον τρόπο, τα συγκεκριμένα συστήματα μπορούν να επιλύσουν επιτυχώς πιθανές συγκρούσεις μεταξύ των κανόνων.

## 2.4 Ποιοτική Σύγκριση Λογικού Προγραμματισμού και Κλασικής Λογικής

Οι προαναφερθείσες μεθοδολογίες αναπαράστασης γνώσης είναι προσανατολισμένες είτε στο πεδίο της Κλασικής Λογικής (π.χ., Περιγραφικές Λογικές) είτε στο πεδίο του Λογικού Προγραμματισμού (π.χ., Προγραμματισμός Ανοικτών Συνόλων). Στη βιβλιογραφία, τόσο παλαιότερα όσο και πιο πρόσφατα, έχει διερευνηθεί η σχέση των δύο αυτών πεδίων και έχουν διαπιστωθεί σημαντικές διαφορές. Σε αυτή την ενότητα προσπαθούμε να συγκεντρώσουμε τις βασικότερες εξ αυτών που δυσχεραίνουν το συνδυασμό των δύο προσεγγίσεων κάτω από ένα κοινό πλαίσιο αναπαράστασης γνώσης.

### Μονοτονία – Μη-μονοτονία

Η Κλασική Λογική είναι βασισμένη στο κλασικό συνολοθεωρητικό μοντέλο σημασιολογίας, με αποτέλεσμα να υπακούει στη μονοτονία των βάσεων γνώσης που προκύπτουν από τη διαδικασία συμπερασμού. Πρακτικά, με τον όρο «μονοτονία» εννοούμε πως το γεγονός της πρόσθεσης οποιασδήποτε νέας πληροφορίας σε μία υπάρχουσα βάση γνώσης δεν μπορεί να ακυρώσει ή να κάνει ψευδή τη γνώση που έχει ήδη εξαχθεί από τη συγκεκριμένη βάση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η Κλασική Λογική, από τη φύση της, να ενδείκνυται στο χειρισμό ελλιπούς πληροφορίας (*incomplete knowledge*). Αντίθετα με την Κλασική Λογική, ο Λογικός Προγραμματισμός βασίζεται σε χαρακτηριστικά μη-μονότονης συλλογιστικής. Προϋποθέτει την ύπαρξη πλήρους γνώσης και υπάρχει ένα μοναδικό μοντέλο της βάσης γνώσης. Έτσι, η προσθήκη νέας γνώσης είναι πιθανό να επιφέρει μείωση των συμπερασμάτων.

### Υπόθεση Μοναδικών Ονομάτων

Η υπόθεση μοναδικών ονομάτων (*Unique Name Assumption - UNA*) αποτελεί μία αρχή στην οποία συνήθως βασίζονται οι προσεγγίσεις από το χώρο του Λογικού Προγραμματισμού. Αυτή η υπόθεση αναφέρει πως διαφορετικά ονόματα αναπαριστούν και διαφορετικά αντικείμενα του κόσμου που περιγράφεται από τη βάση γνώσης. Αυτό

δεν ταιριάζει με το περιβάλλον του Διαδικτύου όπου περισσότερες της μίας δικτυακές διευθύνσεις (δλδ. URIs) είναι πιθανό να αφορούν το ίδιο περιεχόμενο ή τα ίδια δεδομένα. Αντίθετα, στην Κλασική Λογική η αντιστοίχιση μεταξύ των ονομάτων και των αντικειμένων του κόσμου δεν είναι ένα-προς-ένα. Με αυτό τον τρόπο, είναι πιθανό να εξαχθούν ισοδυναμίες μεταξύ αντικειμένων του κόσμου τα οποία περιγράφονται από διαφορετικά ονόματα. Αν και επιφέρει μεγάλο υπολογιστικό κόστος, οι περισσότερες εκ των μηχανών συμπερασμού πλέον υποστηρίζουν το συμπέρασμα ισότητας (equality) και ισοδυναμίας μεταξύ αντικειμένων.

### Άρνηση

Η Κλασική Λογική και ο Λογικός Προγραμματισμός αντιμετωπίζουν την άρνηση από δύο διαφορετικές οπτικές. Βασισμένη στη μονοτονική της φύση, η άρνηση της Κλασικής Λογικής επιτρέπει το συμπέρασμα γνώσης μόνο στις περιπτώσεις που η αλήθεια ή το ψεύδος μίας λογικής πρότασης είναι δηλωμένο ρητά. Το γεγονός αυτό συνδέεται άμεσα με την Υπόθεση Ανοικτού Κόσμου (Open World Assumption) της κλασικής λογικής θεωρίας, η οποία υποθέτει μη-πληρότητα της γνώσης.

Αντίθετα, η άρνηση *Negation-As-Failure (NAF)* εμμένει στην Υπόθεση Κλειστού Κόσμου (Closed World Assumption). Σε αυτή την περίπτωση, αν η αλήθεια μίας λογικής πρότασης δεν είναι γνωστή τότε εξάγεται το συμπέρασμα πως η άρνηση της περιγραφής αυτής είναι λογικώς αληθής. Έτσι, η απουσία γνώσης οδηγεί σε νέα γνώση, με αποτέλεσμα η προσθήκη γνώσης να είναι πιθανό να μειώσει τα συμπεράσματα που προκύπτουν. Επομένως, η άρνηση NAF έχει χαρακτηριστικά μη-μονότονης συλλογιστικής. Η μοντελοποίηση του κόσμου με βάση της Υπόθεση Κλειστού Κόσμου φαίνεται να μην αρμόζει στο ανοικτό περιβάλλον του Σημασιολογικού Ιστού. Στο Διαδίκτυο η γνώση δεν είναι πάντα διαθέσιμη (π.χ., συχνά οι εξυπηρέτες διακόπτουν τη λειτουργία τους και «πέφτουν») μία τέτοια υπόθεση θα οδηγούσε σε λαθεμένα συμπεράσματα. Ωστόσο, η χρησιμότητα και των δύο τύπων άρνησης που περιγράφηκαν δίνεται με αναλυτικά επιχειρήματα και παραδείγματα στις εργασίες [71] [1].

### Άλλες Διαφορές

Ανατρέχοντας στη βιβλιογραφία μπορεί κανείς να διαπιστώσει ένα πλήθος από επιπρόσθετες διαφορές μεταξύ των δύο προσεγγίσεων που περιγράφηκαν. Αρχικά, οι

περιορισμοί αντιμετωπίζονται από διαφορετική οπτική γωνία. Στη μεν Κλασική Λογική αποτελούν τμήμα της λογικής θεωρίας, οδηγώντας σε νέα συμπεράσματα, στο δε Λογικό Προγραμματισμό ελέγχουν αν η βάση γνώσης παραμένει συνεπής κάτω από ένα σύνολο συνθηκών [10]. Επίσης, η εργασία [18] εξετάζει την αδυναμία του Λογικού Προγραμματισμού να εξάγει συμπεράσματα που δεν αφορούν γεγονότα ή στιγμιότυπα της βάσης γνώσης (π.χ., ιεραρχία κλάσεων). Παράλληλα, μελετώνται θέματα αποφασισιμότητας των διαδικασιών συμπερασμού που αφορούν τους δύο κόσμους. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως οι δύο προσεγγίσεις χειρίζονται και αντιμετωπίζουν με διαφορετικό τρόπο τους τύπους δεδομένων (π.χ., ακεραίους αριθμούς).

## 2.5 Συνδυασμός Οντολογιών με Κανόνες

Αν και έχουν προταθεί διάφορες μεθοδολογίες για το συνδυασμό κανόνων με οντολογίες Σημασιολογικού Ιστού, μέχρι στιγμής δεν υπάρχει κάποια λύση που να είναι κοινώς αποδεκτή στην ερευνητική κοινότητα. Το βασικότερο σημείο διαμάχης είναι ο βαθμός ενοποίησης των οντολογιών με τους κανόνες. Σε αυτή την ενότητα παρέχουμε μία κατηγοριοποίηση των σχετικών προσπαθειών που έχουν προταθεί. Το σύνολο των προσεγγίσεων μπορεί να διαχωριστεί σε δύο βασικές κατηγορίες:

- *Ομογενείς Προσεγγίσεις.* Αυτές οι προσπάθειες καθορίζουν μία ισχυρή σύνδεση και αλληλεξάρτηση των δύο επιπέδων (κανόνων και οντολογιών). Πιο συγκεκριμένα, οι ομογενείς προσεγγίσεις προϋποθέτουν την ενσωμάτωση τόσο των οντολογιών όσο και των κανόνων σε μία κοινή γλώσσα λογικής. Με αυτό τον τρόπο, τα δύο επίπεδα μοιράζονται κοινό λεξιλόγιο, επιτρέποντας μία αλληλεπίδραση με συναφή τρόπο. Έτσι, για παράδειγμα, οι κανόνες μπορούν να ορίζουν έννοιες και συσχετίσεις που ανήκουν στις οντολογίες με άμεσο τρόπο και χωρίς τη χρήση εξωτερικών κατηγορημάτων. Η πιο γνωστή προσέγγιση αυτής της κατηγορίας αφορά το συνδυασμό OWL οντολογιών με SWRL κανόνες. Επίσης, τα Προγράμματα Περιγραφικών Λογικών εντάσσονται σε αυτή την κατηγορία.
- *Υβριδικές Προσεγγίσεις.* Αυτές οι προσπάθειες παραπέμπουν σε ένα διαχωρισμό μεταξύ των δύο επιπέδων. Συγκεκριμένα, ο διαχωρισμός αυτός αφορά τόσο τα κατηγορήματα των κανόνων όσο και τα στοιχεία των οντολογιών. Σε αυτή την περίπτωση, το λεξιλόγιο που προσφέρεται από τις οντολογίες δεν μπορεί να περιγραφεί και να οριστεί από κανόνες, παρά μόνο να χρησιμοποιηθεί

(π.χ. μέσω επερωτήσεων). Φαίνεται, λοιπόν, πως δεν είναι δυνατή μία απευθείας αλληλεπίδραση των δύο φορμαλισμών. Διάφορες προσεγγίσεις έχουν προταθεί με αυτή τη φιλοσοφία όπως τα προγράμματα ASP, τα dl-προγράμματα και η DL+log προσέγγιση [60].

Ο Πίνακας 2.1 που ακολουθεί συνοψίζει τα χαρακτηριστικά κάποιων βασικών γλωσσών αναπαράστασης γνώσης.

Πίνακας 2.1: Βασικά χαρακτηριστικά των περιγραφόμενων γλωσσών αναπαράστασης γνώσης

Χαρακτηριστικά Γλώσσα	Λογική Θεμελίωση	Αποφασισιμότητα*	Σχήμα Σειριοποίησης
<b>OWL</b>	Classical Logic (FOL subset)	OWL-Lite: αποφασίσιμη OWL-DL: αποφασίσιμη OWL-Full: μη-αποφασίσιμη	XML/ N-triples (κείμενο)
<b>OWL + SWRL</b>	Κλασσική Λογική (υποσύνολο FOL)	Μη-αποφασίσιμη	XML
<b>DLP</b>	Τομή DL and LP	Αποφασίσιμη	κείμενο (σε μορφή κανόνων)
<b>ASP</b>	Επέκταση του Λογικού Προγραμματισμού (disjunction in rule heads, DL queries)	Αποφασίσιμη	κείμενο (σε μορφή κανόνων)

\*σε ότι αφορά βασικά προβλήματα συμπερασμού (π.χ., συνέπεια της βάσης γνώσης)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΟΥ

#### 3.1 Μηχανές Συμπερασμού και Εκτέλεσης Κανόνων

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων σε εφαρμογές Τεχνητής Νοημοσύνης, και πιο συγκεκριμένα στον Σημασιολογικό Ιστό, υπάρχουν δύο βασικοί μηχανισμοί: οι μηχανές συμπερασμού (reasoning engines) και οι μηχανές κανόνων (rules engines). Η διαφοροποίησή τους έγκειται στον τρόπο λειτουργίας τους και στο είδος των νέων συμπερασμάτων που μπορούν να παράγουν.

Μια *μηχανή κανόνων*, εν γένει, περιλαμβάνει μια Βάση Γνώσης (Knowledge Base, KB) η οποία περιέχει τόσο το μοντέλο του κόσμου που μας ενδιαφέρει όσο και τους κανόνες με βάση τους οποίους γίνεται η συλλογιστική (reasoning). Ο κάθε κανόνας αποτελείται από δύο μέρη εκ των οποίων το πρώτο περιέχει τα κατηγορήματα (μπορεί να είναι και σύνθετα) που αποτελούν το σώμα του κανόνα. Το πρώτο μέρος ονομάζεται antecedent. Το δεύτερο μέρος, που ονομάζεται consequent, αποτελεί την γνώση που παράγεται εφόσον το πρώτο μέρος επαληθεύεται από τη δεδομένη βάση γνώσης. Πολλές φορές το επακόλουθο ενός κανόνα αποτελεί κατηγορήματα ενός άλλου, οπότε σε τέτοιες περιπτώσεις προκαλείται αλυσιδωτή επαλήθευση κανόνων.

Ειδικότερα, για εφαρμογές του Σημασιολογικού Ιστού έχουν αναπτυχθεί από την ερευνητική κοινότητα διάφορες μηχανές κανόνων. Οι πιο σημαντικές από αυτές είναι:

#### Jess

Είναι μια μηχανή συμπερασμού [38] με scripting περιβάλλον γραμμένο ολοκληρωτικά για την γλώσσα Java. Βασίζεται στο εργαλείο CLIPS [12] και η αναπαράσταση των κανόνων στο Jess γίνονται με δύο τρόπους: Με σύνταξη LISP ή με σύνταξη JessML που στην ουσία είναι μια αναπαράσταση της σύνταξης LISP σε XML. Επίσης υπάρχει και η επέκταση OWLJessKB που είναι ικανή να χειρίζεται κανόνες με OWL βάσεις γνώσης.

#### SweetRules



Είναι μια πλατφόρμα μηχανών συμπερασμού που χρησιμοποιούν οντολογίες σημασιολογικού ιστού και βάσεις γνώσεων με κανόνες για την αναπαράσταση της γνώσης. Οι οντολογίες και οι κανόνες που χρησιμοποιούνται από τα βασικά συστατικά της πλατφόρμας αυτής βασίζονται σε διάφορες τεχνολογίες όπως η RuleML [61], η SWRL, η OWL και η RDF. Η πλατφόρμα προσφέρει δυνατότητες τόσο backward-chaining όσο και forward-chaining συμπερασμού όπως επίσης και δυνατότητες συγχώνευσης βάσεων κανόνων και οντολογιών.

### Prova

Το όνομά της βγαίνει από τις λέξεις Prolog & Java αποτυπώνοντας πλήρως τα χαρακτηριστικά της. Ουσιαστικά, επεκτείνει τις λειτουργίες της Mandarax μηχανής, που αναφέραμε πιο πάνω, υποστηρίζοντας περισσότερη εκφραστικότητα στην δήλωση κανόνων. Με αυτό τον τρόπο, συνδυάζει τη φυσική σύνταξη κανόνων με περιβάλλοντα λογικού προγραμματισμού, όπως η Prolog. Τέλος, δίνει τη δυνατότητα χρήσης κατανεμημένων μεθόδων συμπερασμού βασιζόμενες στη τεχνολογία κινητών πρακτόρων.

Όσον αφορά τις μηχανές συμπερασμού (reasoners), που έγιναν πολύ δημοφιλείς, και απαραίτητες, κατά την υλοποίηση του Σημασιολογικού Ιστού, αυτές έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και τρόπο λειτουργίας. Οι reasoners μπορούν να παρέχουν πολύ αποδοτικά κάποιες υπηρεσίες συμπερασμού. Μερικές από τις πλέον σημαντικές υπηρεσίες συμπερασμού είναι ο έλεγχος συνέπειας της βάσης γνώσης (consistency checking), η κατηγοριοποίηση των κλάσεων (classification) και ο υπολογισμός των κλάσεων στις οποίες ανήκει κάθε στιγμιότυπο (instance checking). Οι πιο δημοφιλείς μηχανές συμπερασμού είναι:

### RacerPro

Ο RacerPro [54] αποτελεί την εμπορική έκδοση του λογισμικού Racer [28]. Ο Racer (Renamed Abox and Concept Expression Reasoner) αποτέλεσε τον πρώτο reasoner για τη γλώσσα OWL που κυκλοφόρησε. Σήμερα είναι ο πιο διαδεδομένος reasoner και ένας από τους γρηγορότερους.

Η μηχανή Racer χρησιμοποιεί μια βελτιωμένη έκδοση του tableau calculus για πολύ εκφραστικές Description Logics, όπως είναι η OWL-DL. Οι γλώσσες που μπορεί να υποστηρίξει προέρχονται από το χώρο των Description Logics και περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, ιεραρχίες εννοιών και σχέσεων, τελεστές αριθμητικών περιορισμών, συμμετρικές και μεταβατικές σχέσεις. Ο συμπερασμός νέας γνώσης προκύπτει λόγω της σαφώς ορισμένης σημασιολογίας της εκάστοτε DL γλώσσας.

Μερικές βασικές λειτουργίες που υποστηρίζει η μηχανή Racer είναι οι ακόλουθες:

- Έλεγχος συνέπειας μιας οντολογίας (Consistency checking)
- Εντοπισμός έμμεσων υποκλάσεων (Classification of taxonomy)
- Τοποθέτηση στιγμιότυπων σε άλλες κλάσεις (Individual Inference)
- Αλγεβρικός συμπερασμός (Algebraic Reasoning)

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως η μηχανή Racer δεν υποθέτει πως τα στιγμιότυπα με διαφορετικά ονόματα είναι μεταξύ τους διαφορετικά. Αυτό είναι ένα βασικό συστατικό ενός αποτελεσματικού reasoner για οντολογίες, καθώς οι οντολογίες λειτουργούν, όπως έχουμε δει, με την υπόθεση του κλειστού κόσμου. Το χαρακτηριστικό αυτό της μηχανής Racer σημαίνει πως είναι δυνατό να επιτρέψει την ταύτιση δύο στιγμιότυπων με διαφορετικό όνομα, αν φυσικά αυτό προκύψει από τη διαδικασία συμπερασμού.

### FaCT++

Ο FaCT++ [68] αποτελεί μετεξέλιξη του FaCT [30] ικανή να υποστηρίξει συμπερασμό για τη γλώσσα OWL-DL. Οι υπηρεσίες που προσφέρει είναι παρόμοιες με του RacerPro. Συγκεκριμένα, είναι βασισμένο σε tableau αλγορίθμους, υποστηρίζοντας ένα πλήθος από επιπρόσθετα χαρακτηριστικά (π.χ., υποστήριξη nominals). Ωστόσο, το μεγαλύτερο μειονέκτημα του FaCT++ αποτελεί η αδυναμία του για πλήρη συμπερασμό πάνω από ABox.

### Pellet

Η μηχανή συμπερασμού Pellet [63] είναι υλοποιημένη στη γλώσσα Java και αποτελεί λογισμικό ανοικτού κώδικα (open-source) ικανό να διαχειριστεί οντολογίες υψηλής εκφραστικότητας. Πιο συγκεκριμένα, είναι βασισμένη σε βελτιστοποιημένους tableau αλγορίθμους υπεύθυνους για το χειρισμό βάσεων γνώσης εκφρασμένες σε

περιγραφικές λογικές. Παράλληλα, υποστηρίζει ένα σύνολο από πρόσθετα χαρακτηριστικά, όπως υποστήριξη UNA, συλλογιστική βασισμένη σε CWA, εκτέλεση SPARQL [53] ερωτημάτων κ.λ.π. Επίσης, η μηχανή Pellet περιέχει ένα μηχανισμό επεξήγησης που έχει σκοπό τη διευκόλυνση της διαδικασίας σχεδιασμού και ανάπτυξης οντολογιών, μέσω του αποτελεσματικού και γρήγορου εντοπισμού λαθών και ασυνεπειών της βάσης γνώσης. Σε αντίθεση, λοιπόν, με τις περισσότερες μηχανές συμπερασμού για περιγραφικές λογικές, η μηχανή Pellet όχι μόνο εντοπίζει σημεία ασυνέπειας αλλά την αίτια που οδήγησε τη βάση γνώσης σε μη-ικανοποιησιμότητα (unsatisfiability). Πιο αναλυτικά, ο Pellet παρέχει στο χρήστη πρόσθετη γνώση, όπως αξιώματα (axioms) και περιορισμούς (restrictions), ώστε να διευκολύνει την επίλυση του προκληθέντος προβλήματος. Τέλος, η συγκεκριμένη μηχανή συμπερασμού επιτρέπει τη χρήση τύπων δεδομένων (datatypes) προδιαγραφμένων από το συντακτικό της γλώσσας XML, αλλά και ορισμένων από το χρήστη (user-defined).

### Bossam

Η μηχανή Bossam [37] αποτελεί ένα εργαλείο συμπερασμού βασισμένο σε αλγορίθμους RETE [24] εμπρόσθιας συλλογιστικής (forward chaining). Η μηχανή αυτή είναι ικανή να χειριστεί RDF(S) και OWL έγγραφα, ενώ υποστηρίζει εκτέλεση κανόνων σε διάφορους φορμαλισμούς (η γλώσσα SWRL συμπεριλαμβάνεται σε αυτούς). Είναι βασισμένη στο Λογικό Προγραμματισμό, υποστηρίζοντας παράλληλα κάποια χαρακτηριστικά της Λογικής Πρώτης Τάξης. Για παράδειγμα, η μηχανή Bossam υποστηρίζει τόσο κλασσική άρνηση όσο και NAF, καθώς και διάξευση στο σώμα των κανόνων. Ωστόσο, δεν παρέχεται υποστήριξη πλήρους συλλογιστικής για οντολογίες εκφρασμένες σε γλώσσα OWL. Παράλληλα, επιτρέπει τη σύνδεση των κανόνων με γλώσσες διαδικαστικού προγραμματισμού και συγκεκριμένα τη γλώσσα Java (procedural attachments). Τέλος, η μηχανή συνοδεύεται από μία προγραμματιστική διεπαφή για το χειρισμό και τον έλεγχο οντολογιών και κανόνων και την εκτέλεση επερωτήσεων. Αυτή τη στιγμή, η μηχανή δεν υποστηρίζει την εκτέλεση επερωτήσεων σε γλώσσα SPARQL, ενώ η δυνατότητα αποθήκευσης των μοντέλων και των συμπερασμάτων αποτελεί ένα ακόμα ελλιπές χαρακτηριστικό.

### KAON2

Το εργαλείο KAON2 [40] αποτελεί το διάδοχο του KAON [39] και, αντίθετα με τις περισσότερες μηχανές συμπερασμού, δεν βασίζεται σε κάποιον tableau αλγόριθμο. Στην πραγματικότητα ο KAON2 είναι ένα υβριδικό εργαλείο συμπερασμού ικανό να χειριστεί οντολογίες και προγράμματα Datalog με διάζευξη (Disjunctive Datalog). Υλοποιεί αλγόριθμους που ανάγουν την Περιγραφική Λογική SHIQ(D) σε Datalog με διάζευξη [34], εκμεταλλευόμενοι γνωστές τεχνικές από το πεδίο των επαγωγικών βάσεων δεδομένων (π.χ., magic sets). Επίσης, η μηχανή μπορεί να χειριστεί κανόνες SWRL, οντολογίες εκφρασμένες σε F-Logic και SPARQL επερωτήσεις. Επιπρόσθετα, παρέχει μία διεπαφή για την ολοκλήρωση οντολογιών με κανόνες. Ωστόσο, ο KAON2 δεν υποστηρίζει όλα τα χαρακτηριστικά που παρέχονται από τη γλώσσα OWL, όπως είναι οι αριθμητικοί περιορισμοί (cardinality restrictions).

### Divhex

Το divhex [51] αποτελεί ένα εργαλείο υπολογισμού μοντέλων για προγράμματα HEX, τα οποία είναι επέκταση του Προγραμματισμού Συνόλων Απαντήσεων για τη σύνδεσή τους με εξωτερικές βάσεις γνώσης. Έτσι, η μηχανή divhex επιτρέπει την επικοινωνία με οντολογίες εκφρασμένες σε RDF και OWL, επιστρέφοντας τα αποτελέσματα σε γλώσσα RuleML. Μία πρόσφατη επέκταση του εργαλείου επιτρέπει την εκτέλεση επερωτήσεων εκφρασμένες σε γλώσσα SPARQL.

### Jena2

Το Jena2 [42] αποτελεί ένα ολοκληρωμένο εργαλείο ανάπτυξης και διαχείρισης γνώσης εκφρασμένης σε γλώσσες αναπαράστασης του Σημασιολογικού Ιστού. Συγκεκριμένα, το εργαλείο αυτό προσφέρει μία προγραμματιστική διεπαφή για το χειρισμό της γνώσης και επιτρέπει την εκτέλεση διαδικασιών συμπερασμού. Ωστόσο, οι υποστηριζόμενες διαδικασίες συμπερασμού είναι αρκετά περιορισμένες.

### DR-Device

Το DR-Device [6] αποτελεί μία μηχανή συμπερασμού για κανόνες αναιρέσιμης λογικής. Είναι βασισμένο στο κέλυφος CLIPS και προσπαθεί να συνδυάσει χαρακτηριστικά μη-μονότονης συλλογιστικής με τις τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού. Πιο συγκεκριμένα, είναι ένα αρκετά αποδοτικό εργαλείο, το οποίο υποστηρίζει συμπερασμό πάνω σε RDF

μετα-δεδομένα, καθώς και την εκτέλεση των κανόνων που ορίζονται από την αναίρεσιμη λογική.

Ο Πίνακας 3.1 παρουσιάζει την υποστήριξη διαδικασιών συμπερασμού από τα παραπάνω εργαλεία.

Πίνακας 3.1: Υποστηριζόμενοι τύποι συλλογιστικής από διάφορα εργαλεία συμπερασμού

Δυνατότητα Συμπερασμού Εργαλεία	TBox Συλλογιστική	Abox Συλλογιστική	Συλλογιστική Κανόνων
Jena2	Περιορισμένη (μη-πλήρης συμπερασμός σε RDFS/OWL)	Περιορισμένη (ελλιπής συμπερασμός σε RDFS/OWL)	JenaRules (forward/tabled backward chaining)
RacerPro	√	√	nRQL κανόνες, πρώτη υλοποίηση για SWRL κανόνες (forward chaining)
Pellet	√	√	DL-safe κανόνες (υποσύνολο της SWRL)
Bossam	ορθή, μη-πλήρης	ορθή, μη-πλήρης	SWRL, Buchingae κανόνες (forward chaining)
FACT++	√	ορθό, μη-πλήρες	-
KAON2	√ (εκτός από nominals)	√ (εκτός από nominals)	DL-safe κανόνες (υποσύνολο της SWRL)
dlvhex	Περιορισμένη, μέσω	Περιορισμένη, μέσω	DL-Rules (μη-μονότονα)

	αλληλεπίδρασης με εξωτερικές μηχανές συμπερασμού [7]	αλληλεπίδρασης με εξωτερικές μηχανές συμπερασμού [7]	λογικά προγράμματα κανόνων με επερωτήσεις στη DL Βάση Γνώσης)
<b>DR-DEVICE</b>	-	-	Αναιρέσιμοι Κανόνες
<b>Jess</b>	Περιορισμένη*	Περιορισμένη*	SWRL*, Jess κανόνες (forward/backward chaining)

\* μέσω κατάλληλων μετασχηματισμών [46]

Μία αναλυτική περιγραφή του βαθμού χρήσης εργαλείων συμπερασμού παρουσιάζεται στο [11].

### 3.2 Πειραματική Αξιολόγηση των Μηχανών Συμπερασμού

Αυτή η ενότητα αποσκοπεί στην αξιολόγηση δημοφιλών μηχανών συμπερασμού βάσει του συνολικού χρόνου που απαιτούν για την εκτέλεση κάποιων βασικών μορφών συμπερασμού. Στις εργασίες [48] και [25] παρουσιάζεται κάποιου είδους αξιολόγηση των βασικών μηχανών συμπερασμού για Λογικές Περιγραφές, η οποία εστιάζει σε εργασίες συμπερασμού που αφορούν το TBox τμήμα της Βάσης Γνώσης. Αντίθετα, στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε πειραματική αξιολόγηση όλων των διαθέσιμων μηχανών συμπερασμού σε ολόκληρη τη Βάση Γνώσης (δλδ. Tbox και ABox). Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκαν πειράματα που αφορούν την εφαρμογή κανόνων και μετρήθηκαν οι απαιτούμενοι χρόνοι για το συνδυασμό μηχανών συμπερασμού και μηχανών εκτέλεσης κανόνων. Ένας τέτοιος συνδυασμός επιτρέπει το συνδυασμό οντολογιών και κανόνων στα πλαίσια ανάπτυξης εφαρμογών του Σημασιολογικού Ιστού. Πιο συγκεκριμένα, οι Εικόνες 3.1 έως 3.4 παρουσιάζουν κάποια ενδεικτικά αποτελέσματα των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν. Τα αποτελέσματα αυτά φιλοδοξούν να καταδείξουν την αποδοτικότητα των δημοφιλέστερων μηχανών συμπερασμού και εκτέλεσης κανόνων.

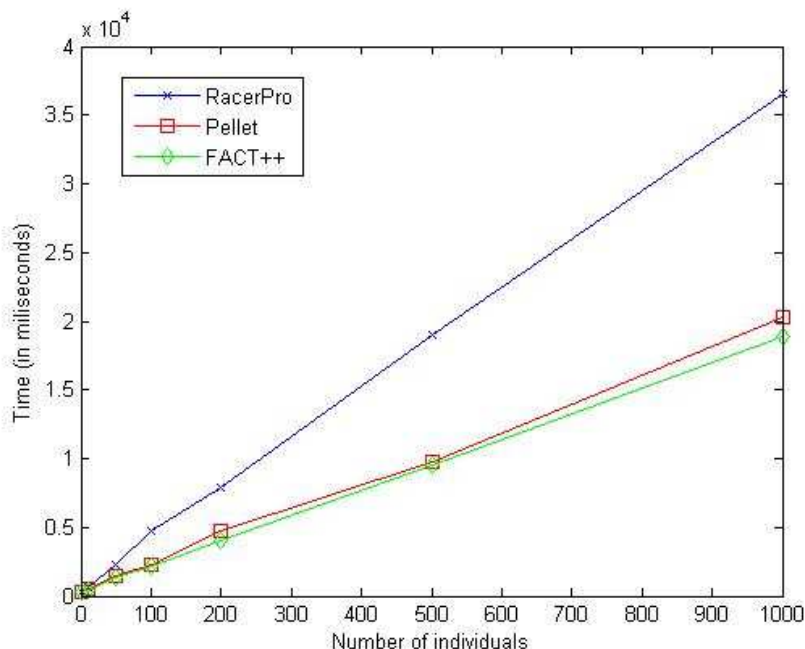
Στα πλαίσια της πειραματικής αξιολόγησης χρησιμοποιήθηκαν οι τελευταίες σταθερές εκδόσεις των εργαλείων που ήταν διαθέσιμες εκείνη τη χρονική περίοδο. Συγκεκριμένα, έγινε χρήση των RacerPro (v1.9.0), Pellet (v1.5.1) και FACT++ (V1.1.11) μηχανών

συμπερασμού Λογικών Περιγραφών για το χειρισμό οντολογιών, καθώς και της μηχανής Jess για την εκτέλεση κανόνων. Επίσης, δοκιμάστηκε η μηχανή συμπερασμού Bossam τόσο για την εξαγωγή συμπερασμάτων από OWL οντολογίες όσο και ως μηχανή εκτέλεσης SWRL κανόνων. Ωστόσο, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη συγκεκριμένη μηχανή δεν παρουσιάζονται, καθώς μία τέτοια σύγκριση δε θα ήταν κατάλληλη. Το παραπάνω προκύπτει από το γεγονός πως αν και ο Bossam αποτελεί μία ορθή (sound) μηχανή συμπερασμού για OWL, δεν είναι ταυτόχρονα και πλήρης (complete). Αυτό πρακτικά σημαίνει πως αν και τα συμπεράσματα τα οποία θα προκύψουν χρησιμοποιώντας τη μηχανή Bossam θα είναι σωστά, δε μπορούμε να εγγυηθούμε πως θα είναι και όλα τα δυνατά. Παρόλα αυτά, αξίζει να αναφέρουμε τις επιδόσεις και την αποτελεσματικότητα του Bossam. Πιο συγκεκριμένα, ο Bossam ήταν πιο γρήγορος από όλες τις άλλες μηχανές που εξετάστηκαν σε ότι αφορά το χειρισμό οντολογιών σχετικά μικρού αριθμού εννοιών, ιδιοτήτων και στιγμιότυπων. Αντίθετα, στην περίπτωση μεγάλων οντολογιών που περιείχαν πολλά στιγμιότυπα (περισσότερα από 500) ο Bossam παρήγαγε σφάλματα κατά την εκτέλεση των πειραμάτων που αφορούσαν τη διαχείριση της μνήμης. Ακόμη, όλες οι μηχανές συμπερασμού χρησιμοποιήθηκαν μέσω του Protégé OWL API σε γλώσσα Java, εκτός από τη μηχανή Bossam που παρέχει το δικό της API. Τέλος, για την εισαγωγή των SWRL κανόνων στο Jess χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή SWRL-Jess Bridge [46].

Στο πλαίσιο αυτής της πειραματικής αξιολόγησης, χρησιμοποιήθηκε μία απλοποιημένη εκδοχή της οντολογίας περιγραφής παικτών ποδοσφαίρου που αναπτύχθηκε στην οποία μεταβαλλόταν ο αριθμός των στιγμιότυπων που περιείχε κάθε φορά, καθώς και ο αριθμός των κανόνων που εκτελούνταν. Συγκεκριμένα, η βασική οντολογία που χρησιμοποιήθηκε περιείχε 35 έννοιες, 10 object properties και 4 datatype properties. Τα στιγμιότυπα που προστέθηκαν αφορούσαν περιγραφές ποδοσφαιριστών και κάθε στιγμιότυπο συνοδευόταν από 22 στιγμιότυπα κλάσεων και 9 στιγμιότυπα ιδιοτήτων.

Η Εικόνα 3.1 αναπαριστά τις επιδόσεις τριών δημοφιλών μηχανών συμπερασμού Περιγραφικών Λογικών κατά τον έλεγχο συνέπειας της Βάσης Γνώσης που περιγράφηκε προηγουμένως. Οι χρόνοι εκτέλεσης που εμφανίζονται στην Εικόνα 3.1 δεν περιλαμβάνουν τους χρόνους που απαιτούνται από τις μηχανές για το φόρτωμα των οντολογιών. Η εικόνα δείχνει πως οι χρόνοι αυτοί αυξάνονται αναλογικά με τον αριθμό των στιγμιότυπων που ανήκουν στη Βάση Γνώσης ανεξάρτητα από τη μηχανή συμπερασμού που χρησιμοποιείται. Σε ότι αφορά τις επιδόσεις των μηχανών, ο Pellet και ο Fact++ παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά, ενώ ο RacerPro είναι αρκετά πιο

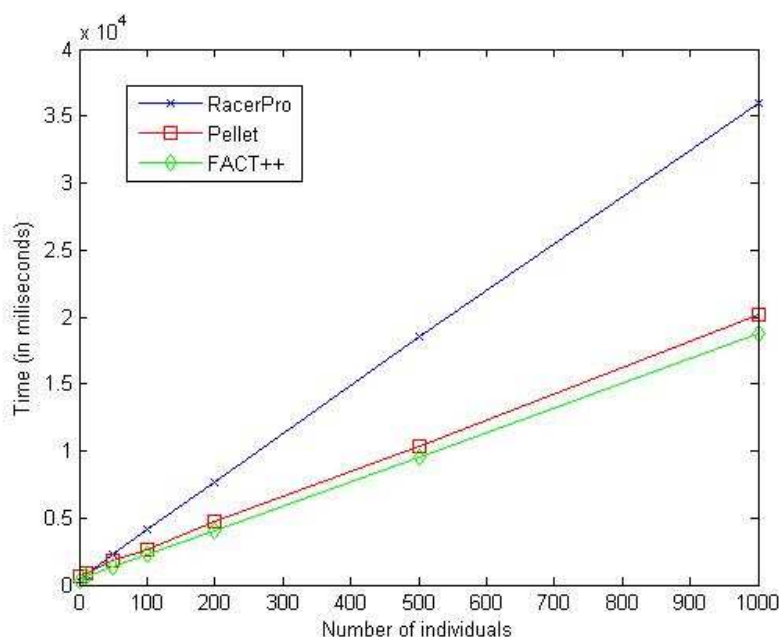
αργός. Παρατηρούμε πως ακόμα και για την περίπτωση των 500 στιγμιότυπων, η πιο γρήγορη μηχανή συμπερασμού χρειάζεται περίπου 10 δευτερόλεπτα για να εξετάσει τη συνέπεια της Βάσης Γνώσης.



Εικόνα 3.1: Πειραματική αξιολόγηση ελέγχου συνέπειας της βάσης γνώσης (TBox consistency check)

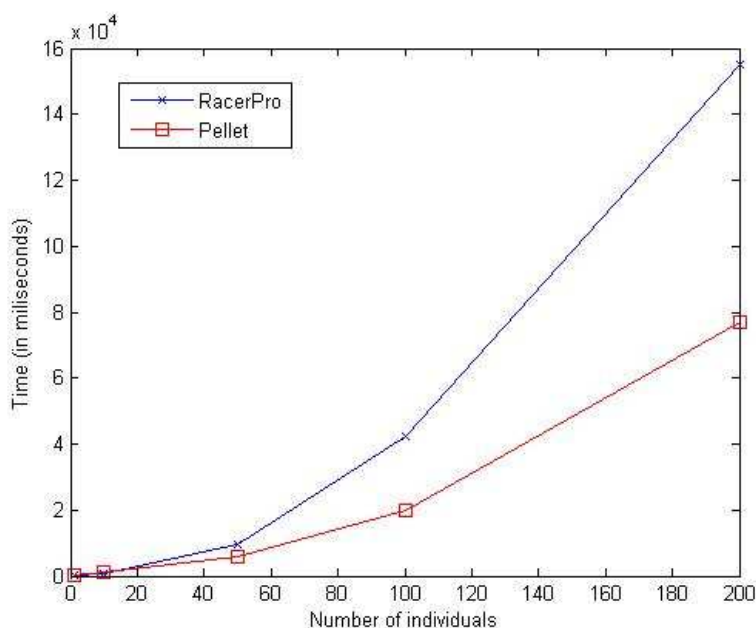
Ακολουθώς, στην Εικόνα 3.2 παρουσιάζονται οι απαιτούμενοι χρόνοι για τον υπολογισμό της διαδικασίας κατηγοριοποίησης (classification) που αφορά το TBox της Βάσης Γνώσης. Και σε αυτή την περίπτωση το φόρτωμα των μοντέλων δεν συμπεριλαμβάνεται στους εμφανιζόμενους χρόνους. Όπως εύκολα μπορεί να διακρίνει κανείς παρατηρώντας τις δύο εικόνες, τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με αυτά της Εικόνας 3.1. Σε αυτή την περίπτωση οι επιδόσεις του Fact++ είναι ελαφρώς καλύτερη αυτών του Pellet, ενώ και πάλι ο RacerPro είναι πιο αργός. Τέλος, όμοια με πριν, όσο αυξάνεται ο αριθμός των στιγμιότυπων τόσο αυξάνεται ο απαιτούμενος χρόνος για την κατηγοριοποίηση των κλάσεων.





Εικόνα 3.2: Πειραματική αξιολόγηση της κατηγοριοποίησης (TBox classification)

Η Εικόνα 3.3 συγκρίνει την απόδοση των μηχανών RacerPro και Pellet κατά τη διαδικασία υπολογισμού των κλάσεων στις οποίες ανήκει κάθε στιγμιότυπο της Βάσης Γνώσης. Σε αυτή την περίπτωση δεν συμπεριλήφθηκε η μηχανή Fact++, καθώς δεν είναι πλήρης (complete) στα αποτελέσματα που αφορούν το ABox τμήμα της Βάσης Γνώσης. Τα αποτελέσματα αυτά καταδεικνύουν το πρόβλημα επίδοσης που έχουν οι μηχανές συμπερασμού στο χειρισμό πραγματικών δεδομένων. Ακόμα και ο Pellet (ο οποίος φαίνεται να αποτελεί την πιο γρήγορη μηχανή συμπερασμού σε αυτό το πείραμα) απαιτεί περίπου 20 δευτερόλεπτα για να υπολογίσει τις κλάσεις στις οποίες ανήκουν 100 στιγμιότυπα. Το πρόβλημα γίνεται ακόμα πιο εμφανές στην περίπτωση των 200 στιγμιότυπων, όπου οι χρόνοι προσεγγίζουν ή και ξεπερνούν τα 80 δευτερόλεπτα. Παρατηρούμε, λοιπόν, πως σε αυτή την περίπτωση η σχέση εξάρτησης μεταξύ χρόνων απόκρισης και αριθμού στιγμιότυπων δεν είναι αναλογική, όπως στις προηγούμενες περιπτώσεις. Επίσης, και οι δύο μηχανές απέτυχαν να ολοκληρώσουν τη λειτουργία τους στα πειράματα που επιχειρήθηκαν με 500 στιγμιότυπα.

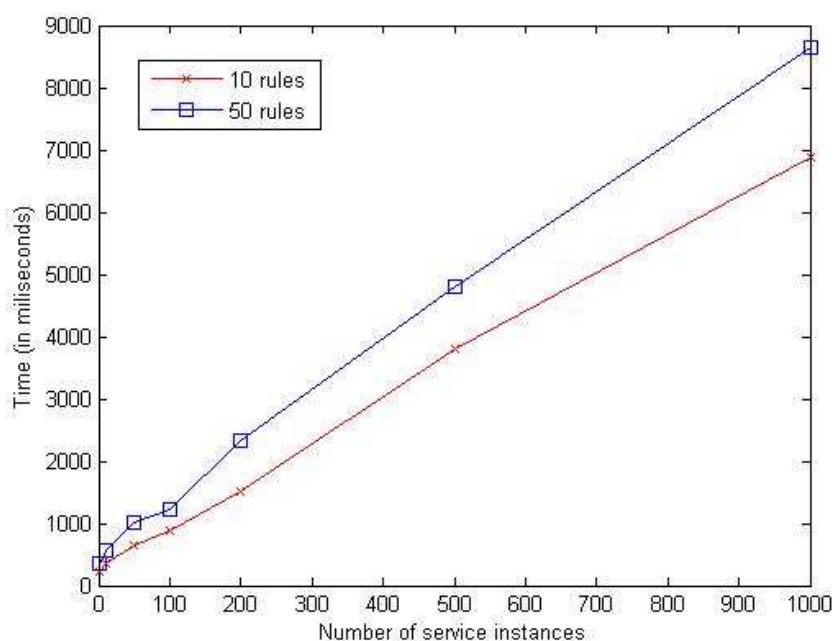


Εικόνα 3.3: Πειραματική αξιολόγηση της σε επίπεδο ABox (υπολογισμός κλάσεων των στιγμιότυπων)

Αξίζει να σημειωθεί πως στα πλαίσια των πειραμάτων που έγιναν δοκιμάστηκε και η έκδοση v1.9.2 Beta του RacerPro, η οποία ήταν διαθέσιμη κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των πειραμάτων. Η έκδοση αυτή φάνηκε να παραμένει πιο αργή σε σχέση με τους Pellet και Fact++ σε ό,τι αφορά τις διαδικασίες συμπερασμού που αφορούν το TBox κομμάτι της γνώσης (έλεγχος συνέπειας της Βάσης Γνώσης και κατηγοριοποίηση της ιεραρχίας), ενώ σημειώθηκε βελτίωση σε ό,τι αφορά το τμήμα του ABox συμπερασμού. Ωστόσο, τα παραπάνω αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται στα πλαίσια αυτής της εργασίας, καθώς δεν πρόκειται για σταθερή και ολοκληρωμένη έκδοση του RacerPro.

Τέλος, η Εικόνα 3.4 εμφανίζει τα αποτελέσματα που αφορούν τη μηχανή εκτέλεσης κανόνων Jess κατά τη διάρκεια εκτέλεσης SWRL κανόνων. Στη συγκεκριμένη σειρά πειραμάτων δοκιμάστηκε η εκτέλεση 2 διαφορετικών συνόλων κανόνων πάνω σε οντολογίες που περιείχαν διαφορετικό πλήθος στιγμιότυπων. Το πρώτο σύνολο περιείχε 10 κανόνες, ενώ το δεύτερο 50 κανόνες. Και στις δύο περιπτώσεις, οι χρόνοι εκτέλεσης αυξάνονταν αναλόγως προς τον αριθμό των στιγμιότυπων της οντολογίας. Όπως είναι λογικό, οι χρόνοι εκτέλεσης ήταν εξαρτώμενοι από τον αριθμό των κανόνων που έπρεπε να ελεγχθούν και, πιθανώς, να εκτελεστούν. Ωστόσο, φαίνεται πως ο αριθμός των στιγμιότυπων της εκάστοτε οντολογίας επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό τους παραπάνω χρόνους εκτέλεσης σε σχέση με τον αριθμό των προς εκτέλεση κανόνων. Όπως κανείς μπορεί να παρατηρήσει και στη Εικόνα 3.4, δεδομένου του αριθμού των στιγμιότυπων, η χρονική επιβάρυνση λόγω της αύξησης του αριθμού των

κανόνων είναι περίπου 1 δευτερόλεπτο κατά μέσο όρο. Αντίθετα, η αύξηση του αριθμού των instances πάνω στα οποία πρέπει να εκτελεστούν οι κανόνες επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό το συνολικό χρόνο εκτέλεσης. Το παραπάνω έχει ως αποτέλεσμα να παρουσιάζονται προβλήματα σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real-time applications) που απαιτούν γρήγορη επεξεργασία δεδομένων και εξαγωγή γνώσης, σε βαθμό που να μην γίνεται αντιληπτό από το χρήστη. Τα προβλήματα αυτά γίνονται εμφανέστερα στην περίπτωση των κατανεμημένων συστημάτων, όπου οι εφαρμογές θα πρέπει να διαχειριστούν πολλαπλά στιγμιότυπα προερχόμενα από διαφορετικές ροές δεδομένων.



Εικόνα 3.4: Πειραματική αξιολόγηση της μηχανής Jess κατά την εκτέλεση SWRL κανόνων

Συνοψίζοντας, ο χειρισμός και η εκτέλεση διαδικασιών συμπερασμού πάνω σε μεγάλες Βάσεις Γνώσεις είναι ιδιαίτερα απαιτητικά σε χρόνο. Ιδιαίτερα, οι τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού (Semantic Web technologies), όπως οι Περιγραφικές Λογικές, είναι δύσκολα διαχειρίσιμες ακόμα και από τα πλέον σύγχρονα εργαλεία συμπερασμού. Αυτό το πρόβλημα είναι σημαντικό στο περιβάλλον του Παγκόσμιου Ιστού, όπου ο αριθμός τόσο των στιγμιότυπων όσο και του λεξιλογίου (terminology) της Βάσης Γνώσης είναι δυνατό να αυξηθεί σε τεράστιο βαθμό, λόγω της ολοκλήρωσης μεγάλου πλήθους πληροφοριών. Ειδικά σε ότι αφορά εφαρμογές που απαιτούν μικρούς χρόνους απόκρισης, τα πράγματα γίνονται ακόμα πιο δύσκολα, με αποτέλεσμα τέτοιου είδους τεχνολογίες να μην ενδείκνυνται σε μεγάλο βαθμό. Τα παραπάνω είναι κάποιιοι από

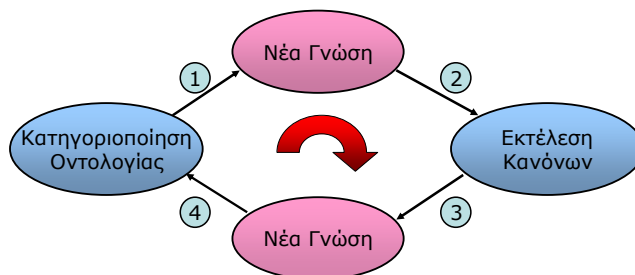
τους λόγους που οδήγησαν ορισμένες ερευνητικές ομάδες στη διερεύνηση αποδοτικών μεθόδων για την υποστήριξη εφαρμογών που διαχειρίζονται μεγάλο πλήθος στιγμιότυπων. Το Instance Store [31] είναι μία τέτοια προσπάθεια, η οποία μάλιστα μπορεί να λειτουργήσει σε συνεργασία με οποιαδήποτε μηχανή συμπερασμού έχει υλοποιημένο το DIG interface.

### **3.3 Συμπεράσματα - Προβλήματα Εργαλείων Συμπερασμού**

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής εξετάσθηκε και χρησιμοποιήθηκε ένα μεγάλο πλήθος από εργαλεία συμπερασμού και μηχανές κανόνων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να διαπιστωθούν μία σειρά από προβλήματα που αφορούν τα εργαλεία συλλογιστικής. Σε αυτή την ενότητα συνοψίζουμε τα βασικότερα εξ αυτών που επηρεάζουν άμεσα την ανάπτυξη εφαρμογών βασισμένες σε γνώση, ειδικότερα στα πλαίσια του Σημασιολογικού Ιστού.

#### *Η μη-ενιαία αντιμετώπιση των φορμαλισμών αναπαράστασης γνώσης*

Εν γένει, τα εργαλεία που χειρίζονται κανόνες είναι διαφορετικά από τα εργαλεία που χειρίζονται γνώση εκφρασμένη σε Περιγραφικές Λογικές (δλδ. οντολογίες). Δεν υπάρχει, δηλαδή, ένα εργαλείο το οποίο θα διαχειρίζεται με ενιαίο τρόπο τις οντολογίες και τους κανόνες. Στην Εικόνα 3.5 παρουσιάζεται ο κύκλος ζωής της γνώσης σε ένα σύστημα το οποίο συνδυάζει οντολογίες και κανόνες. Αυτές τις διαδικασίες θα έπρεπε να επιτελεί ένα εργαλείο που αποσκοπεί στον ομοιόμορφο συνδυασμό των δύο μορφών αναπαράστασης γνώσης. Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς, η εκτέλεση διαδικασιών συμπερασμού στην οντολογία παράγει νέα γνώση. Αυτή η παραγόμενη γνώση είναι πιθανό να ενεργοποιεί την εκτέλεση κάποιων κανόνων, η οποία οδηγεί εκ νέου στο συμπερασμό γνώσης. Η νέα γνώση με τη σειρά της είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί κατά τη συλλογιστική διαδικασία πάνω από την οντολογία, δημιουργώντας ένα συνεχές κύκλο μέχρι το σημείο όπου δεν προκύπτει πλέον νέα γνώση.



Εικόνα 3.5: Ο κύκλος ζωής της γνώσης σε ένα σύστημα που συνδυάζει κανόνες και οντολογίες

Σήμερα, η παραπάνω διαδικασία εκτελείται μία φορά. Δηλαδή, εκτελείται αρχικά η διαδικασία συμπερασμού πάνω από την οντολογία και στη συνέχεια εφαρμόζονται οι κανόνες, παράγοντας νέα στιγμιότυπα εννοιών και συσχετίσεων τα οποία ενσωματώνονται στην οντολογία. Οπότε, είναι πιθανό τελικά να μην παράγεται όλη η γνώση που είναι δυνατό να παραχθεί.

Επίσης, το άτομο που αναπτύσσει την εφαρμογή είναι υπεύθυνο για την αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων που θα προκληθούν λόγω της χρήσης πολλαπλών μηχανών συμπερασμού. Το γεγονός αυτό μπορεί να οδηγήσει σε απρόσμενες καταστάσεις. Για παράδειγμα, οι περιορισμοί (restrictions) που ορίζονται σε μία οντολογία είναι πιθανό να παραβιαστούν από την εκτέλεση των κανόνων, μιας και η μηχανή κανόνων δεν εξετάζει αυτούς τους περιορισμούς των οντολογιών (π.χ., αξιώματα disjoint μεταξύ εννοιών). Επομένως, ο χρήστης των μηχανών αυτών θα πρέπει χειροκίνητα να ελέγχει μετά από κάθε διαδικασία εκτέλεσης κανόνων τη συνέπεια της βάσης γνώσης που προέκυψε.

### Συλλογιστική πάνω από «συμπαγή» πεδία τιμών (concrete domains)

Τα δεδομένα είναι πιθανό να ανήκουν σε κάποιο τύπο του οποίου το πεδίο τιμών είτε είναι συνεχές (πραγματικοί αριθμοί) ή δεν περιέχει πεπερασμένο πλήθος τιμών (π.χ. συμβολοσειρά). Τέτοια πεδία τιμών ονομάζονται συμπαγή πεδία τιμών (concrete domains). Η ικανότητα διαχείρισης τέτοιων πεδίων είναι ιδιαίτερα σημαντική για κάποιες πραγματικές εφαρμογές. Η γλώσσα OWL-DL υποστηρίζει concrete domains ως πεδία τιμών στα λεγόμενα datatype properties. Εν γένει, τα datatype properties δεν έχουν ως πεδίο τιμών στιγμιότυπα συγκεκριμένων κλάσεων ή εννοιών της οντολογίας (όπως τα object properties), αλλά αλφαριθμητικά πεδία τιμών (π.χ., το σύνολο των ακεραίων, συμβολοσειρά, ημερομηνία κλπ.) Χρήσιμα και συχνά παραδείγματα συσχετίσεων που

επιδέχονται «συμπαγούς» πεδίου τιμών είναι θα μπορούσε να είναι τα `hasAge` με πεδίο τιμών τους πραγματικούς αριθμούς ή το `hasName` με πεδίο τιμών το σύνολο των συμβολοσειρών. Επιπλέον, η γλώσσα SWRL, ως επέκταση της OWL, επιτρέπει τη χρήση `datatype properties` στο σώμα των κανόνων. Παράλληλα, προσφέρει ένα μεγάλο πλήθος ενσωματωμένων κατηγορημάτων (*built-in predicates*), με ορίσματα τα οποία λαμβάνουν τιμές από «συμπαγή» πεδία. Πρόσφατα, οι μηχανές συμπερασμού ξεκίνησαν την προσπάθεια να υποστηρίξουν τέτοια πεδία τιμών (π.χ. `RacerPro`). Οι περισσότερες εξ αυτών εξακολουθούν να παρουσιάζουν προβλήματα με τις διαδικασίες συμπερασμού πάνω σε *concrete domains*.

### Χαρακτηριστικά μη-μονότονης συλλογιστικής (*non-monotonic reasoning*)

Ακόμα και σήμερα, οι περισσότερες εκ των μηχανών συμπερασμού δεν υποστηρίζουν χαρακτηριστικά μη-μονότονης συλλογιστικής ή τα υποστηρίζουν σε μικρό βαθμό. Ένα κλασικό παράδειγμα είναι το *Negation-As-Failure (NAF)*, το οποίο δεν υποστηρίζεται από τις περισσότερες μηχανές που προορίζονται για εφαρμογές βασισμένες σε τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην υπόθεση του ανοικτού κόσμου (*open world assumption*) των Περιγραφικών Λογικών. Το παραπάνω ταιριάζει στη φιλοσοφία του Σημασιολογικού Ιστού, καθώς πρόκειται για ένα ανοικτό περιβάλλον (ως επέκταση του υπάρχοντος Παγκόσμιου Ιστού). Πρακτικά, ωστόσο, έχει φανεί πως κάποια χαρακτηριστικά της μη-μονότονης συλλογιστικής είναι χρήσιμα και σε εφαρμογές του Διαδικτύου [13]. Επομένως, το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό θα πρέπει να απασχολήσει τα άτομα που φιλοδοξούν να αναπτύξουν στο μέλλον ανάλογες μηχανές συμπερασμού.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ

Στην ενότητα αυτή γίνεται μία επισκόπηση των υπαρχόντων συστημάτων και ερευνητικών αποτελεσμάτων στο χώρο του ποδοσφαίρου καθώς και η καταγραφή των βασικών απαιτήσεων ενός τέτοιου συστήματος.

#### 4.1 Σχετικές Προσπάθειες

Οι υπάρχουσες προσπάθειες ανάπτυξης συστημάτων βασισμένων στη γνώση με σκοπό την υποστήριξη εφαρμογών στο χώρο του ποδοσφαίρου είναι ιδιαίτερα περιορισμένες. Αξίζει να σημειωθεί πως στα πλαίσια της έρευνας για τη συγκεκριμένη εργασία δεν εντοπίστηκε κανένα σχετικό ολοκληρωμένο σύστημα. Η βασική αιτία για την έλλειψη αντίστοιχων συστημάτων έγκειται πιθανώς στο γεγονός πως η καταγραφή της γνώσης που αφορά το ποδόσφαιρο είναι μία ιδιαίτερα επίπονη και όχι προφανής διαδικασία. Η γνώση είναι κυρίως εμπειρική και είναι συχνό φαινόμενο η διαφωνία των ειδικών (δλδ. των προπονητών ποδοσφαίρου). Υπενθυμίζουμε πως στόχος αυτής της εργασίας ήταν η καταγραφή της βασικής γνώσης και των κανόνων που αφορούν το ποδόσφαιρο και η δυνατότητα επεκτασιμότητας του συστήματος και όχι η εξαντλητική καταγραφή των παραμέτρων που παίζουν ρόλο στη λήψη κάποιας απόφασης.

Συγκεκριμένα, οι περισσότερες προσπάθειες προέρχονται από το χώρο της ρομποτικής και αφορούν εξαγωγή τακτικής για παιχνίδια μεταξύ ομάδων, των οποίων οι παίκτες είναι ρομποτικές μηχανές. Οι εφαρμογές αυτές συνήθως βασίζονται σε σχετικά απλούς κανόνες, οι οποίοι ενσωματώνονται στο σύστημα χειρισμού των ρομπότ. Η εκτέλεσή τους επιδρά στη συμπεριφορά των μηχανών με σκοπό να οδηγήσει την ομάδα στη νίκη. Η είσοδος αυτών των μηχανών που διαδραματίζουν το ρόλο των παικτών ποδοσφαίρου είναι συνήθως οπτική και λαμβάνεται από κάμερες που είναι τοποθετημένες πάνω στα ρομπότ, ώστε να καταγράφουν το περιβάλλον και τα βασικά γεγονότα που λαμβάνουν χώρο σε αυτό. Βασικές τέτοιες προσπάθειες παρουσιάζονται στα [29] [35] [69] [65]. Τέλος, στο πλαίσιο αξιολόγησης αυτών των συστημάτων έχουν δημιουργηθεί διοργανώσεις πρωταθλημάτων [57] [23] όπου συμμετέχουν τέτοια ρομποτικά συστήματα.

Σε ότι αφορά τη μοντελοποίηση της σχετικής γνώσης, οι πιο κοντινές προσπάθειες αφορούν τη δημιουργία οντολογιών για την υποστήριξη περιορισμένων εφαρμογών της περιοχής του ποδοσφαίρου. Συγκεκριμένα, στην εργασία [67] παρουσιάζεται μία οντολογία περιγραφής του πεδίου του ποδοσφαίρου. Ωστόσο, συγκεκριμένη προσπάθεια περιορίζεται στην αναπαράσταση της σχετικής γνώσης και δεν επεκτείνεται στο πεδίο του συμπερασμού τόσο στο επίπεδο των Περιγραφικών Λογικών όσο και στην επέκταση των μοντέλων με κανόνες. Επίσης, η συγκεκριμένη προσπάθεια έχει αρκετές ελλείψεις, καθώς δεν αναφέρεται επιμελώς σε γνώση που αφορά χαρακτηριστικά των ομάδων. Μία περισσότερη προσεγγιζόμενη προσπάθεια πραγματοποιείται στην εργασία [64]. Αν και είναι βασισμένη σε παλαιότερες γλώσσες Περιγραφικών Λογικών (π.χ., DAML+OIL), η συγκεκριμένη προσπάθεια επιτυγχάνει μία αρκετά αναλυτική καταγραφή του σχετικού λεξιλογίου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως αναπτύχθηκε για την υποστήριξη εφαρμογών που στοχεύουν στο σημασιολογικό εμπλουτισμό πολυμεσικής πληροφορίας που αφορά αγώνες ποδοσφαίρου. Παρόλα αυτά, και σε αυτή την περίπτωση δεν εξετάζονται οι δυνατότητες συμπερασμού.

Τέλος, τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί βοηθητικά εργαλεία για τους προπονητές ποδοσφαίρου, τα οποία βασίζονται σε οπτική πληροφορία από παλαιότερους ποδοσφαιρικούς αγώνες της εκάστοτε ομάδας για να καταγράψουν τις κινήσεις των παικτών και στατιστικά στοιχεία που αφορούν της απόδοσή τους. Το πιο φημισμένο από αυτά τα εργαλεία είναι το Prozone [52]. Το συγκεκριμένο προϊόν είναι εμπορικό και χρησιμοποιείται με επιτυχία από πολλές μεγάλες ευρωπαϊκές ομάδες ποδοσφαίρου. Ωστόσο, το εργαλείο δεν υποστηρίζει την πρόταση συγκεκριμένων οδηγιών για την αντιμετώπιση του αντιπάλου. Στόχος του είναι η καταγραφή όλων των δεδομένων εκείνων στα πλαίσια ενός ποδοσφαιρικού αγώνα που θα διευκολύνουν τον εκάστοτε προπονητή στην ανάλυση του αγώνα μετά το πέρας του και στον προσδιορισμό των αδυναμιών και των πλεονεκτημάτων των ομάδων και των παικτών.

## **4.2 Ανάλυση Απαιτήσεων του Συστήματος**

Όπως προαναφέρθηκε, ένας από τους στόχους αυτής της εργασίας ήταν ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη της βασικής υποδομής ενός συστήματος που θα αποτελούσε βοηθητικό εργαλείο για κάποιον προπονητή ποδοσφαίρου. Αν και στα πλαίσια της εργασίας δεν ήταν δυνατό να αναπτυχθεί μία πλήρης πλατφόρμα η οποία να λαμβάνει υπόψη της όλες τις δυνατές παραμέτρους που παίζουν ρόλο στις αποφάσεις ενός προπονητή,



ωστόσο καταγράφηκαν οι απαιτήσεις ενός τέτοιου συστήματος με τρόπο γενικό, ώστε να προσδιοριστούν οι αρχές σχεδιασμού και υλοποίησης του συστήματος.

Στα πλαίσια καταγραφής των απαιτήσεων ενός συστήματος που αφορά το ποδόσφαιρο πραγματοποιήθηκαν κάποιες συνεντεύξεις με ειδικούς του συγκεκριμένου πεδίου. Συγκεκριμένα, οι συνεντεύξεις αφορούσαν δύο προπονητές ποδοσφαίρου, τους κυρίους Παναγιώτη Λεμονή (τότε προπονητή της ποδοσφαιρικής ομάδος του Ολυμπιακού Σ.Φ.Π.) και Νικόλαο Νιόπλια (τότε επίσημου προπονητή της Εθνικής ομάδος Νέων της Ελλάδος). Οι συνεντεύξεις αυτές περιελάμβαναν μία γενική συζήτηση για το πεδίο εφαρμογής του ποδοσφαίρου, καθώς και τη συμπλήρωση ενός ερωτηματολογίου, το οποίο δομήθηκε με σκοπό την κατανόηση του συγκεκριμένου πεδίου. Το ερωτηματολόγιο περιελάμβανε τόσο ερωτήσεις που αφορούσαν τις υπηρεσίες που ένας προπονητής θα ανέμενε να προσφέρονται από ένα υπολογιστικό σύστημα όσο και ερωτήσεις τακτικής φύσεως. Το πλήρες ερωτηματολόγιο και οι ερωτήσεις που περιέχει παρουσιάζονται στο Παράρτημα της παρούσης.

### Προσφερόμενες Υπηρεσίες

Σε ότι αφορά τις προσφερόμενες υπηρεσίες, και οι δύο ειδικοί που κλήθηκαν να απαντήσουν σε σχετικές ερωτήσεις κατέληξαν στο συμπέρασμα πως θα μπορούσαν να διαχωριστούν σε 2 επίπεδα:

- *Υπηρεσίες Εξαγωγής Τακτικών Οδηγιών.* Αυτές οι υπηρεσίες αφορούν την εξαγωγή των τακτικών οδηγιών που θα πρέπει να ακολουθήσει μία ομάδα με σκοπό την αντιμετώπιση ενός αντιπάλου. Τέτοιου είδους υπηρεσίες μπορούν να εκμεταλλεύονται γνώση που αφορά χαρακτηριστικά παικτών και ομάδων. Η μορφή των οδηγιών που παρέχονται απευθύνονται είτε σε συγκεκριμένους παίκτες (π.χ., ατομικά μαρκαρίσματα, θέση) ή στην ομάδα ως σύνολο (π.χ., διάταξη σχηματισμού, σύνθεση παικτών κλπ.).
- *Υπηρεσίες Στατιστικών Δεδομένων.* Οι υπηρεσίες αυτές αφορούν την καταγραφή και την αξιοποίηση στατιστικών δεδομένων από παίκτες και ποδοσφαιρικούς αγώνες. Σε ότι αφορά την πρώτη κατηγορία (υπηρεσίες καταγραφής στατιστικών δεδομένων) θα μπορούσε να γίνει χρήση πολυμεσικού υλικού από αγώνες (π.χ., βίντεο αγώνων) για την εξαγωγή πληροφοριών που αφορούν την απόδοση των παικτών και των ομάδων. Η δεύτερη κατηγορία (υπηρεσίες αξιοποίησης στατιστικών δεδομένων) περιλαμβάνει την εφαρμογή μεθόδων ανακάλυψης

γνώσης (knowledge extraction) και μάθησης (learning) για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων που πιθανώς δεν είναι άμεσα εμφανή.

Τελικώς, η συγκεκριμένη εργασία προτιμήθηκε να εστιάσει στην πρώτη ομάδα υπηρεσιών που αφορούν την εξαγωγή τακτικών οδηγιών. Βασική αιτία για την επιλογή αυτή αποτέλεσε το γεγονός πως στόχος ήταν η ανάπτυξη ενός συστήματος βασισμένου στη γνώση για το συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογής.

### Εξαγωγή Τακτικών Οδηγιών

Το βασικότερο τμήμα του ερωτηματολογίου αφορούσε την κατανόηση της φιλοσοφίας των ειδικών σε ότι αφορά το χώρο του ποδοσφαίρου. Πιο συγκεκριμένα, περιελάμβανε μία σειρά αναλυτικών ερωτήσεων που αφορούσαν τον τρόπο αντιμετώπισης ενός αντιπάλου με συγκεκριμένα κάθε φορά χαρακτηριστικά. Αν και το ερωτηματολόγιο απαντήθηκε μόνο από δύο προπονητές, τα βασικότερα συμπεράσματα που εξήχθησαν ήταν τα ακόλουθα:

- Οι απόψεις των ειδικών δεν ταυτίζονταν σε όλες τις περιπτώσεις. Ο βασικότερος λόγος είναι η υποκειμενικότητα των απόψεων και το γεγονός πως το πεδίο εφαρμογής που επιλέχθηκε δεν αφορά στατική και καταγραμμένη γνώση και φιλοσοφία. Ωστόσο, διαφάνηκε ένα κοινώς αποδεκτό πλήθος κανόνων αντιμετώπισης του αντιπάλου. Αυτοί οι κανόνες θεωρήθηκε ότι αποτελούν τη βασική γνώση του πεδίου και αποφασίστηκε να μοντελοποιηθούν στα πλαίσια του συστήματος.
- Επίσης, από τις συνεντεύξεις προέκυψε η άποψη πως ένα σύστημα εξαγωγής τακτικών οδηγιών δε θα είχε μεγάλη αξία αν δεν ήταν επεκτάσιμο. Αυτό σημαίνει πως η εφαρμογή θα έπρεπε να δομηθεί με τρόπο κατάλληλο ώστε τόσο η χρησιμοποιούμενη γνώση όσο και η λειτουργικότητά του να επιδέχονται επέκτασης. Έτσι, θα μπορούσε να αποτελέσει ένα εργαλείο ικανό να προσαρμοστεί στη φιλοσοφία του εκάστοτε προπονητή ποδοσφαίρου, ο οποίος θα είχε τη δυνατότητα να προσθέσει τις δικές του αρχές και κανόνες.

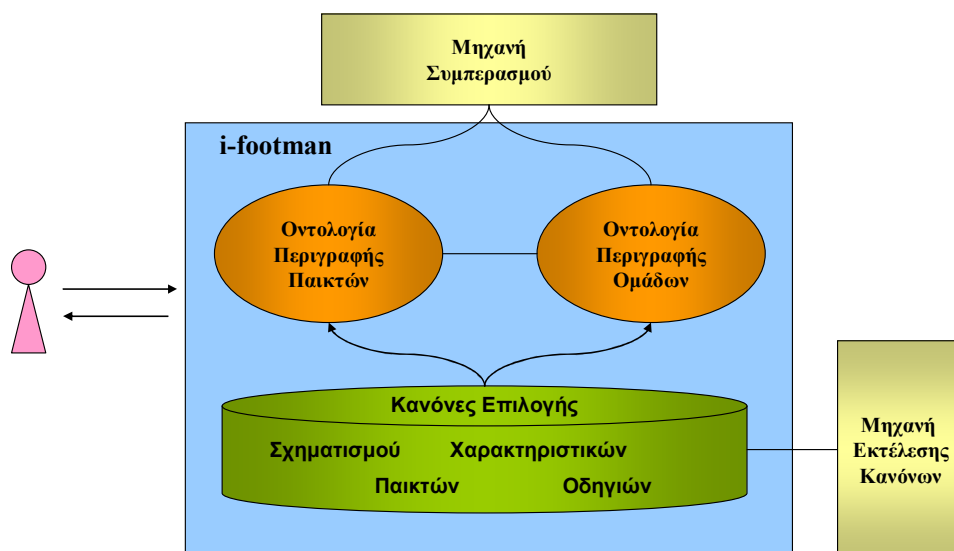
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σε αυτή την ενότητα θα περιγράψουμε τη γενική αρχιτεκτονική του συστήματος i-Footman, καθώς και τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια της φάσης σχεδιασμού. Η αρχιτεκτονική που θα παρουσιαστεί προέκυψε από την καταγραφή των απαιτήσεων που προηγήθηκε. Για τη δημιουργία των μοντέλων στη φάση σχεδιασμού επιλέχθηκε η εφαρμογή της διαδεδομένης τεχνολογίας των οντολογιών σε γλώσσα OWL-DL και η υποστήριξή τους από κανόνες σε γλώσσα SWRL (Semantic Web Rule Language).

#### 5.1 Γενική Αρχιτεκτονική

Τα συστατικά που συνθέτουν τη λογική αρχιτεκτονική του συστήματος i-footman απεικονίζονται στην Εικόνα 5.1. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφεται περιληπτικά η λειτουργικότητα όλων των συστατικών και στις επόμενες ενότητες ο σχεδιασμός των πιο σημαντικών με αρκετή λεπτομέρεια, καθώς και οι εξαρτήσεις/συνδέσεις μεταξύ τους.



Εικόνα 5.1. Η γενική αρχιτεκτονική του συστήματος i-footman

#### Οντολογία Παικτών Ποδοσφαίρου

Η οντολογία αυτή αποτελεί μια καινοτομία της εργασίας καθώς μοντελοποιεί τις βασικές έννοιες που συμμετέχουν στην περιγραφή των παικτών ποδοσφαίρου, καθώς και τις μεταξύ τους συσχετίσεις. Έτσι, περιγράφονται έννοιες όπως οι θέσεις των παικτών στον αγωνιστικό χώρο, τα φυσικά και τεχνικά χαρακτηριστικά που τους διακρίνουν και, μέσω αυτών, ορίζονται κάποιες βασικές κατηγορίες παικτών. Περισσότερες λεπτομέρειες δίνονται στην ενότητα 5.2.

### Οντολογία Ομάδων Ποδοσφαίρου

Η οντολογία ομάδων ποδοσφαίρου μοντελοποιεί τα βασικά χαρακτηριστικά των ποδοσφαιρικών ομάδων. Συγκεκριμένα, συνδέεται με την οντολογία παικτών, ώστε κάθε παίκτης να συνδέεται άμεσα με την ομάδα στην οποία ανήκει. Έτσι, περιέχει συσχετίσεις που περιγράφουν τον τρόπο με τον οποίο αγωνίζεται μία ομάδα, καθώς και έννοιες που αναφέρονται στο σχηματισμό της ομάδας. Περισσότερες λεπτομέρειες δίνονται στην ενότητα 5.3.

### Κανόνες Επιλογής

Οι κανόνες αυτοί αφορούν την εξαγωγή της τακτικής για την ομάδα που το σύστημα καθοδηγεί. Ειδικότερα, αφορούν την επιλογή σχηματισμού, παικτών, οδηγιών καθώς και αναγνώρισης των δυνατοτήτων και των αδυναμιών του αντιπάλου. Περισσότερες λεπτομέρειες δίνονται στην ενότητα 5.4.

### Μηχανή Συμπερασμού

Είναι μία εξωτερική μηχανή υπεύθυνη για την εκτέλεση των διαδικασιών συμπερασμού πάνω στις οντολογίες του συστήματος. Συγκεκριμένα, κατηγοριοποιεί τις κλάσεις μέσα στην ιεραρχία της οντολογίας (classify taxonomy - TBox) και υπολογίζει τις κλάσεις στις οποίες ανήκει κάθε στιγμιότυπο αυτής (instance checking - ABox).

### Μηχανή Εκτέλεσης Κανόνων

Αποτελεί εξωτερικό εργαλείο, το οποίο χρησιμοποιείται από το σύστημα για την εκτέλεση των κανόνων επιλογής.

Για την ανάπτυξη των οντολογιών ακολουθήθηκε η μεθοδολογία METHONTOLOGY [22].

## 5.2 Η Οντολογία Παικτών Ποδοσφαίρου

Το προτεινόμενο σύστημα βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε ένα σύνολο από έννοιες και συσχετίσεις που μοντελοποιούν τα χαρακτηριστικά των παικτών ποδοσφαίρου. Η Οντολογία Παικτών Ποδοσφαίρου (Football Player Ontology – FPO) αναπτύχθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας για τον παραπάνω σκοπό. Συγκεκριμένα, όπως προέκυψε από την έρευνα των σχετικών εργασιών στο χώρο, είναι η πρώτη οντολογία περιγραφής παικτών ποδοσφαίρου που δίνει έμφαση στα χαρακτηριστικά των παικτών που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο για τη διαδικασία επιλογής τους από τον προπονητή της ομάδας.

Πιο αναλυτικά, κεντρικές έννοιες του μοντέλου είναι ο παίκτης ποδοσφαίρου, η θέση στην οποία αγωνίζεται στον αγωνιστικό χώρο και η έννοια της ικανότητας. Η τελευταία έννοια περιλαμβάνει ένα σύνολο υποκλάσεων που περιγράφουν τις βασικές ικανότητες ενός παίκτη. Παράλληλα αποδίδεται ένας βαθμός ποιότητας σε κάθε μία από αυτές τις ικανότητες. Το γεγονός αυτό μας επιτρέπει να ορίσουμε εντός της οντολογίας σύνθετες κλάσεις ποδοσφαιριστών ανάλογα με την ποιότητα συγκεκριμένων ικανοτήτων τους. Έτσι για παράδειγμα, η οντολογία ορίζει την κλάση του δημιουργικού μέσου ως εξής:

$$\begin{aligned} \text{fpo:CreativeMiddlefielder} \equiv & (\text{fpo:hasPassing.GoodAbility} \sqcup \\ & \text{fpo:hasPassing.VeryGoodAbility}) \sqcap \text{fpo:playsInPosition.Middlefielder} \end{aligned} \quad (5.1)$$

Με αυτό τον τρόπο εκμεταλλευόμαστε τη δυνατότητα των Περιγραφικών Λογικών να ορίζουν ιεραρχίες κλάσεων και συσχετίσεων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η κλάση Middlefielder περιλαμβάνει ένα σύνολο υποκλάσεων και ο κανόνας που δημιουργήθηκε είναι γενικός ώστε να αναφέρεται σε όλες αυτές τις υποκλάσεις.

Στον Πίνακα 5.1 περιγράφονται οι βασικότερες έννοιες της οντολογίας αυτής, καθώς και οι σημαντικότερες συσχετίσεις στις οποίες η κάθε έννοια συμμετέχει στο πεδίο ορισμού τους.

Πίνακας 5.1: Το Λεξικό Εννοιών (Concept Dictionary) της οντολογίας FPO

Όνομα έννοιας	Σχέσεις	Περιγραφή
Player	playsInPosition hasAbility isSuggestedFor memberOfTeam hasAge	Η έννοια του παίκτη ποδοσφαίρου.

	hasHeight hasWeight	
PhysicalAbility	hasQuality	Μοντελοποιεί τη γενική έννοια του χαρακτηριστικού ενός παίκτη.
TechnicalAbility	hasQuality	Αναπαριστά την κλάση με τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός ποδοσφαιριστή.
Acceleration	hasQuality	Επιτάχυνση ενός παίκτη. Είναι υποκλάση της κλάσης PhysicalAbility.
Jumping	hasQuality	Άλμα ενός παίκτη. Είναι υποκλάση της κλάσης PhysicalAbility.
Stamina	hasQuality	Αντοχή ενός παίκτη. Είναι υποκλάση της κλάσης PhysicalAbility.
Strength	hasQuality	Δύναμη ενός παίκτη. Είναι υποκλάση της κλάσης PhysicalAbility.
AttackingAbility	hasQuality	Η έννοια αυτή περιλαμβάνει ένα σύνολο υποκλάσεων που περιγράφουν τις επιθετικές ικανότητες ενός ποδοσφαιριστή.
DefendingAbility	hasQuality	Η έννοια αυτή περιλαμβάνει ένα σύνολο υποκλάσεων που περιγράφουν τις αμυντικές ικανότητες ενός ποδοσφαιριστή.
FootAbility	hasQuality	Η ικανότητα του παίκτη να ελέγχει την μπάλα με το αριστερό και το δεξί του πόδι.
Centring	hasQuality	Η ικανότητα ενός ποδοσφαιριστή να σεντράρει.
Dribbling	hasQuality	Η ικανότητα ενός ποδοσφαιριστή να ντριπλάρει.
Freekicks	hasQuality	Η ικανότητα ενός ποδοσφαιριστή να εκτελεί σημειωμένες φάσεις (χτυπήματα φάουλ, κόρνερς, κλπ.).
Heading	hasQuality	Η ικανότητα ενός ποδοσφαιριστή να οργανώνει το παιχνίδι.
OrganizationSkills	hasQuality	Η ικανότητα ενός ποδοσφαιριστή να οργανώνει το παιχνίδι της ομάδας του.
Passing	hasQuality	Η ικανότητα ενός ποδοσφαιριστή να πασάρει.
Shooting	hasQuality	Η ικανότητα ενός ποδοσφαιριστή να σουτάρει.
LongPassing	hasQuality	Η ικανότητα ενός ποδοσφαιριστή να πασάρει σε μακρινές αποστάσεις. Υποκλάση της κλάσης Passing.
ShortPassing	hasQuality	Η ικανότητα ενός ποδοσφαιριστή να πασάρει σε κοντινές αποστάσεις. Υποκλάση της κλάσης Passing.
InsideAreaShooting	hasQuality	Η ικανότητα ενός ποδοσφαιριστή να σουτάρει εντός μεγάλης περιοχής. Υποκλάση της κλάσης Shooting.
OutsideAreaShooting	hasQuality	Η ικανότητα ενός ποδοσφαιριστή να σουτάρει εκτός της μεγάλης περιοχής. Υποκλάση της κλάσης Shooting.
LeadingDefence	hasQuality	Η ικανότητα ενός ποδοσφαιριστή να ηγείται της άμυνας της ομάδας του.
Marking	hasQuality	Η ικανότητα ενός ποδοσφαιριστή να επιτηρεί αντίπαλους παίκτες.
Tackling	hasQuality	Η ικανότητα ενός ποδοσφαιριστή να κάνει τάκλιν.
PlayerQuality		Περιγράφει το βαθμό ποιότητας κάθε ικανότητας.
VeryBadAbility		Περιλαμβάνει όλα στιγμιότυπα ικανοτήτων που έχουν την τιμή very_bad στη σχέση hasQuality.
BadAbility		Περιλαμβάνει όλα στιγμιότυπα ικανοτήτων που έχουν την τιμή bad στη σχέση hasQuality.
MediumAbility		Περιλαμβάνει όλα στιγμιότυπα ικανοτήτων που έχουν την τιμή medium στη σχέση hasQuality.
GoodAbility		Περιλαμβάνει όλα στιγμιότυπα ικανοτήτων που έχουν την τιμή good στη σχέση hasQuality.
VeryGoodAbility		Περιλαμβάνει όλα στιγμιότυπα ικανοτήτων που έχουν την τιμή very_good στη σχέση hasQuality.
PlayerFeature		Μοντελοποιεί την κλάση με τα χαρακτηριστικά ενός παίκτη.
Position		Η έννοια αυτή αναφέρεται στις θέσεις που μπορεί να λάβει ένας ποδοσφαιριστής εντός του αγωνιστικού χώρου.
Attacker		Η θέση του επιθετικού.
Defender		Η θέση του αμυντικού.
Middlefielder		Η θέση του μέσου.

Goalkeeper		Η θέση του τερματοφύλακα.
Striker		Η θέση του κεντρικού επιθετικού.
SecondStriker		Η θέση του περιφερειακού επιθετικού.
SideAttacker		Η θέση του πλάγιου επιθετικού.
LeftSideAttacker		Η θέση του αριστερού πλάγιου επιθετικού. Υποκλάση της κλάσης SideAttacker.
RightSideAttacker		Η θέση του δεξιού πλάγιου επιθετικού. Υποκλάση της κλάσης SideAttacker.
CentralDefender		Η θέση του κεντρικού αμυντικού.
Stoper		Η θέση του στόπερ. Υποκλάση της κλάσης CentralDefender.
CoverPlayer		Η θέση του λίμπερο. Υποκλάση της κλάσης CentralDefender.
Fullback		Η θέση του πλάγιου αμυντικού.
LeftFullBack		Η θέση του αριστερού πλάγιου αμυντικού. Υποκλάση της κλάσης Fullback.
RightFullBack		Η θέση του δεξιού πλάγιου αμυντικού. Υποκλάση της κλάσης FullBack.
WingBack		Η θέση του παίκτη που καλύπτει τις αμυντικές πτέρυγες της ομάδας.
LeftWB		Η θέση του παίκτη που καλύπτει την αριστερή αμυντική πτέρυγα της ομάδας. Υποκλάση της κλάσης WingBack.
RightWB		Η θέση του παίκτη που καλύπτει τη δεξιά αμυντική πτέρυγα της ομάδας. Υποκλάση της κλάσης WingBack.
AttackingMiddlefielder		Η θέση του επιθετικού μέσου.
CentralMiddlefielder		Η θέση του κεντρικού μέσου.
DefensiveMiddlefielder		Η θέση του αμυντικού μέσου.
Winger		Η θέση του πλάγιου διεμβολιστή.
LeftWinger		Η θέση του αριστερού πλάγιου διεμβολιστή. Υποκλάση της κλάσης Winger.
RightWinger		Η θέση του δεξιού πλάγιου διεμβολιστή. Υποκλάση της κλάσης Winger.
SideMiddlefielder		Η θέση του αριστερού πλάγιου μέσου.
LeftMiddlefielder		Η θέση του αριστερού πλάγιου μέσου. Υποκλάση της κλάσης SideMiddlefielder.
RightMiddlefielder		Η θέση του αριστερού πλάγιου μέσου. Υποκλάση της κλάσης SideMiddlefielder.
QuickOffensivePlayer		Η κατηγορία του γρήγορου επιθετικογενή παίκτη.
SlowDefender		Η κατηγορία του αργού αμυντικού παίκτη.
ToughMiddlefielder		Η κατηγορία του παίκτη που αγωνίζεται στο χώρο του κέντρου και έχει υψηλή φυσική αντοχή.
GoodStriker		Η κατηγορία του καλού επιθετικού παίκτη.
CreativeMiddlefielder		Η κατηγορία του δημιουργικού μέσου παίκτη.
GoodPlaymaker		Η κατηγορία του καλού οργανωτή.

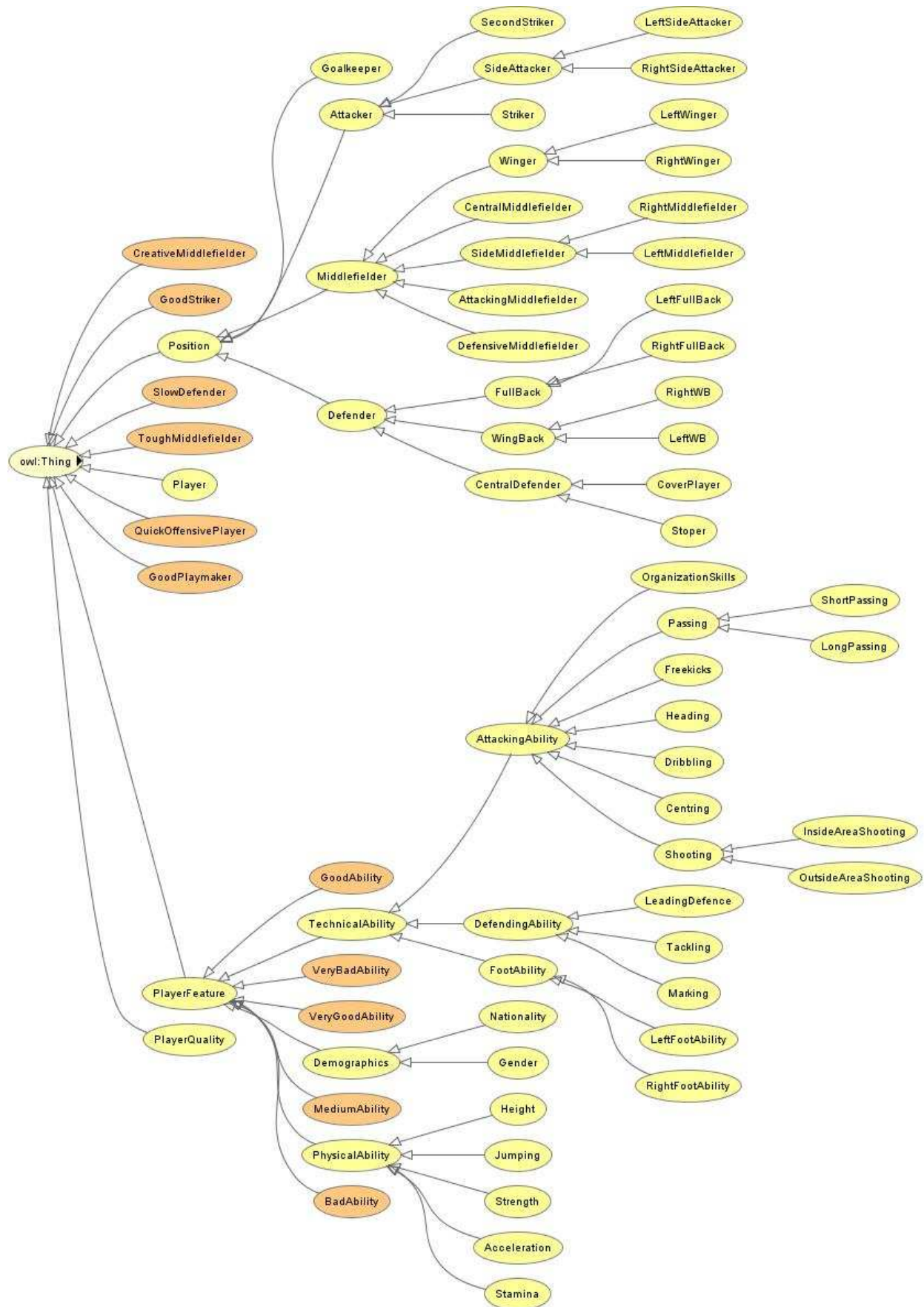
Επίσης, στον Πίνακα 5.2 δίνονται οι βασικές δυαδικές συσχετίσεις της οντολογίας και μία σύντομη περιγραφή τους. Τέλος, στην Εικόνα 5.2 δίνεται η ιεραρχία των βασικών κλάσεων της Οντολογίας Παικτών Ποδοσφαίρου.

Πίνακας 5.2: Ο Πίνακας Δυαδικών Σχέσεων (Binary Relation Table) της οντολογίας FPO

Όνομα σχέσης	Υποκείμενο	Αντικείμενο/ Τύπος δεδομένων	Περιγραφή
--------------	------------	---------------------------------	-----------

hasAge	Player	xsd:float	Συσχετίζει έναν παίκτη με την ηλικία του.
hasName	Player	Xsd:string	Συσχετίζει έναν παίκτη με το όνομά του.
memberOfTeam	Player	fto:Team	Δηλώνει αν ένας παίκτης είναι μέλος μιας ομάδας.
isSuggestefFor	Player	fto:Team	Δηλώνει αν ένας παίκτης είναι προτεινόμενος από το σύστημα για μία ομάδα.
playsInPosition	Player	Position	Συσχετίζει έναν ποδοσφαιριστή με τη θέση στην οποία αγωνίζεται.
hasQuality	PhysicalAbility ⊔ TechnicalAbility	PlayerQuality	Συσχετίζει την ικανότητα ενός παίκτη με κάποιο βαθμό ποιότητας.
hasAbility	Player	PhysicalAbility ⊔ TechnicalAbility	Συσχετίζει έναν παίκτη με τις ικανότητές του. Είναι γενική συσχέτιση και έχει ως παιδιά συσχετίσεις που η καθεμιά αντιστοιχεί σε κάθε μία ικανότητα ξεχωριστά. Π.χ. hasAcceleration, hasStamina, κλπ.





Εικόνα 5.2. Η ιεραρχία κλάσεων της Οντολογίας Παικτών Ποδοσφαίρου

### 5.3 Η Οντολογία Ομάδων Ποδοσφαίρου

Ένα κύριο τμήμα της βάσης γνώσης που διαχειρίζεται το i-footman αφορά την περιγραφή των ποδοσφαιρικών ομάδων. Συγκεκριμένα, δομήθηκε ένα λεξιλόγιο κατάλληλο για τη μοντελοποίηση των ομάδων, των χαρακτηριστικών τους, καθώς και των οδηγιών που αυτές μπορούν να ακολουθήσουν. Το λεξιλόγιο αυτό είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με την Οντολογία Παικτών Ποδοσφαίρου, καθώς χρησιμοποιεί έννοιες της FPO και προσθέτει νέες έννοιες και συσχετίσεις.

Ουσιαστικά, η Οντολογία Ομάδων Ποδοσφαίρου (Football Team Ontology - FTO) κινείται σε 3 επίπεδα. Σε πρώτη φάση περιγράφει κάποια χαρακτηριστικά των ομάδων, όπως για παράδειγμα το ποιοι παίκτες την αποτελούν και το σύστημα που αγωνίζεται ο αντίπαλος. Σε δεύτερη φάση, ορίζει μέσω των Περιγραφικών Λογικών κάποιες κατηγορίες ομάδων και κατηγοριοποιεί ανάλογα την αντίπαλη ομάδα. Τέλος, μοντελοποιώντας τις οδηγίες τακτικής που μπορεί να ακολουθήσει μία ομάδα, επιτρέπει στους κανόνες που θα εκτελεστούν αργότερα να ορίσουν αυτές τις οδηγίες (μιας και οι κανόνες επιτρέπουν μεγαλύτερη εκφραστικότητα).

Στον Πίνακα 5.3 περιγράφονται οι βασικότερες έννοιες της οντολογίας αυτής, καθώς και οι σημαντικότερες συσχετίσεις στις οποίες η κάθε έννοια συμμετέχει στο πεδίο ορισμού τους.

Πίνακας 5.3: Το Λεξικό Εννοιών (Concept Dictionary) της οντολογίας FTO

Όνομα έννοιας	Σχέσεις	Περιγραφή
Team	myTeamPlaysAgainst isMyTeam isOpponentTeam hasFormation hasName hasStartingPlayer	Η έννοια της ομάδας ποδοσφαίρου.
Formation		Μοντελοποιεί τους τακτικούς σχηματισμούς των ομάδων.
TeamWithWingers		Η κατηγορία ομάδων που αγωνίζονται με διεμβολιστές.
TeamWithSideMFs		Η κατηγορία ομάδων που αγωνίζονται με πλάγιους μέσους.
TeamWithWingBacks		Η κατηγορία ομάδων που αγωνίζονται με παίκτες που καλύπτουν τις πτέρυγες της ομάδας.
TeamWithNoWingBacks		Η κατηγορία ομάδων που δεν χρησιμοποιούν παίκτες στις πτέρυγες της ομάδας.
TeamWithNoWingersAndNoSideMFs		Η κατηγορία ομάδων που δε χρησιμοποιούν καθόλου ακραίους μέσους (ούτε πλάγιους μέσους ούτε διεμβολιστές).
TeamWithNoWingers		Η κατηγορία ομάδων που δεν αγωνίζονται με διεμβολιστές.
TeamWithNoSideMFs		Η κατηγορία ομάδων που δε χρησιμοποιούν πλάγιους μέσους.
TeamWithNoBacks		Η κατηγορία ομάδων που δε χρησιμοποιούν

		καθόλου ακραίους αμυντικούς (ούτε πλάγιους αμυντικούς ούτε παίκτες στις πτέρυγες).
TeamWithNoFullBacks		Η κατηγορία ομάδων που δε χρησιμοποιούν πλάγιους αμυντικούς.
TeamWithFullBacks		Η κατηγορία ομάδων που χρησιμοποιούν πλάγιους αμυντικούς.
TeamWith3CentralDefenders		Η κατηγορία ομάδων που αγωνίζονται με 3 κεντρικούς αμυντικούς.
TeamWith2CentralDefenders		Η κατηγορία ομάδων που αγωνίζονται με 2 κεντρικούς αμυντικούς.
TeamWith4CentralPlayers		Η κατηγορία ομάδων που αγωνίζονται με 4 μέσους στον άξονα.
TeamWith3CentralPlayers		Η κατηγορία ομάδων που αγωνίζονται με 3 μέσους στον άξονα.
TeamWith2CentralPlayers		Η κατηγορία ομάδων που αγωνίζονται με 2 μέσους στον άξονα.
TeamWith3Attackers		Η κατηγορία ομάδων που αγωνίζονται με 3 επιθετικούς.
TeamWith2Attackers		Η κατηγορία ομάδων που αγωνίζονται με 2 επιθετικούς.
TeamWith1Attacker		Η κατηγορία ομάδων που αγωνίζονται με 1 επιθετικό.

Επίσης, στον Πίνακα 5.4 δίνονται οι βασικές δυαδικές συσχετίσεις της οντολογίας και μία σύντομη περιγραφή τους. Τέλος, στην Εικόνα 5.3 δίνεται η ιεραρχία των βασικών κλάσεων της Οντολογίας Ομάδων Ποδοσφαίρου.

Πίνακας 5.4: Ο Πίνακας Δυαδικών Σχέσεων (Binary Relation Table) της οντολογίας FTO

Όνομα σχέσης	Υποκείμενο	Αντικείμενο/ Τύπος δεδομένων	Περιγραφή
hasFormationFeature	Team	xsd:Boolean	Είναι γενική σχέση που περιγράφει χαρακτηριστικά του συστήματος μίας ομάδας. Υπο-συσχετίσεις αυτής της σχέσης είναι ένα σύνολο από συσχετίσεις που περιγράφουν το σχηματισμό τακτικής της ομάδας. Π.χ. playsWith3CentralDefenders, playsWith2Attackers κλπ.
hasFormation	Team	Formation	Δηλώνει το σχηματισμό με τον οποίο αγωνίζεται μία ομάδα.
hasTacticalFeature	Team	xsd:Boolean	Είναι γενική σχέση που περιγράφει χαρακτηριστικά τακτικής για μία ομάδα. Υπο-συσχετίσεις αυτής της σχέσης είναι ένα σύνολο από συσχετίσεις που περιγράφουν οδηγίες τακτικής της ομάδας. Π.χ. dangerousAtCounterAttack, isAbleToControlTheRythm, shouldAttackFromTheWings κλπ.
hasStartingPlayer	Team	fpo:Player	Δηλώνει τους παίκτες που αγωνίζονται για μία ομάδα.

myTeamPlaysAgainst	Team	Team	Συσχετίζει την ομάδα που ελέγχεται από το σύστημα με τον αντίπαλό της.
isMyTeam	Team	xsd:Boolean	Δηλώνει την ομάδα ελέγχου του χρήστη.
isOpponentTeam	Team	xsd:Boolean	Δηλώνει τον αντίπαλο της ομάδας που ελέγχεται από το σύστημα



Εικόνα 5.3. Η ιεραρχία κλάσεων της Οντολογίας Ομάδων Ποδοσφαίρου

## 5.4 Οι Κανόνες Επιλογής

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας καταγράφηκαν ένα σύνολο από κανόνες (περίπου 70) που συμπληρώνουν τα οντολογικά μοντέλα σε ότι αφορά την περιγραφή της γνώσης για το πεδίο εφαρμογής του ποδοσφαίρου. Αυτοί οι κανόνες ουσιαστικά αναπαριστούν τη βασική γνώση που αντλήθηκε από τους ειδικούς του χώρου μέσω των συνεντεύξεων και των ερωτηματολογίων στη φάση καταγραφής και ανάλυσης των απαιτήσεων του συστήματος. Επομένως, διευκρινίζεται πως αυτοί οι κανόνες προήλθαν από τη γνώση των ειδικών και δεν αποτελούν αυθαίρετες επιλογές του γράφοντος. Οι κανόνες αυτοί κάνουν χρήση του λεξιλογίου (έννοιες και συσχετίσεις) που παρέχεται από τις οντολογίες με βασικό σκοπό να ορίσουν συσχετίσεις, γεγονός το οποίο είναι αδύνατο να επιτευχθεί αποκλειστικά με χρήση οντολογιών.

Πιο συγκεκριμένα, οι κανόνες αυτοί μπορούν να χωριστούν σε 4 κατηγορίες:

### Κανόνες αναγνώρισης δυνατοτήτων και αδυναμιών του αντιπάλου

Οι κανόνες αυτοί βασίζονται κυρίως στο σχηματισμό τακτικής του αντιπάλου και στα χαρακτηριστικά των παικτών που απαρτίζουν τη σύνθεσή του ώστε να εξάγουν συμπεράσματα σχετικά με τις δυνατότητες της συγκεκριμένης ομάδας. Τέτοιοι κανόνες χρησιμοποιούνται για να αναγνωρίσουν πότε μία ομάδα είναι επικίνδυνη στις αντεπιθέσεις, τις περιπτώσεις που είναι ικανή να ελέγξει το ρυθμό του αγώνα, τα σημεία του αγωνιστικού χώρου στα οποία είναι ευάλωτη κλπ. Για παράδειγμα, ένας τέτοιος κανόνας είναι ο ακόλουθος:

$$\begin{aligned} & \text{fto:hasStartingPlayer} (?t1,?p1) \wedge \text{fto:hasStartingPlayer} (?t1,?p2) \wedge \\ & \text{fpo:QuickOffensivePlayer} (?t1,?p1) \wedge \text{fpo:QuickOffensivePlayer} (?t1,?p2) \rightarrow \quad (5.2) \\ & \text{fto:dangerousAtCounterAttack} (?t1,true). \end{aligned}$$

Ο παραπάνω κανόνας δηλώνει πως μία ομάδα είναι επικίνδυνη στις αντεπιθέσεις αν έχει τουλάχιστον 2 παίκτες στη σύνθεσή της οι οποίοι είναι επιθετικογενείς και ταυτόχρονα αρκετά γρήγοροι. Αξίζει να σημειωθεί πως η κλάση QuickOffensivePlayer ορίζεται στην οντολογία παικτών ποδοσφαίρου με τη βοήθεια άλλων κλάσεων και συσχετίσεων.

### Κανόνες επιλογής τακτικού σχηματισμού

Οι κανόνες επιλογής σχηματισμού καθορίζουν το σύστημα τακτικής που θα ακολουθήσει η ομάδα κατά τη διάρκεια του αγώνα. Συγκεκριμένα, επιλέγεται το πλήθος των αμυντικών, των μέσων και των επιθετικών που θα απαρτίζουν τη σύνθεση της ομάδας, καθώς και τις θέσεις που αυτοί πρέπει να λάβουν στον αγωνιστικό χώρο. Το σώμα αυτών των κανόνων απαρτίζεται κυρίως από κλάσεις της οντολογίας ομάδων, οι οποίες καθορίζουν το πλήθος των αντιπάλων παικτών σε κάθε μία από τις βασικές γραμμές της (άμυνα, επίθεση, κέντρο). Παράλληλα, δε λαμβάνεται υπόψη μόνο το πλήθος των παικτών, αλλά και οι θέσεις που αγωνίζονται σε κάθε γραμμή (π.χ. πλάγιος επιθετικός). Για παράδειγμα, αν ο αντίπαλος αγωνίζεται με 1 κεντρικό επιθετικό και 2 πλάγιους επιθετικούς, το i-footman θα επιλέξει να αγωνιστεί με 2 κεντρικούς αμυντικούς και 2 πλάγιους οπισθοφύλακες. Με αυτό τον τρόπο, το σύστημα υπολογίζει έναν «καλό» σχηματισμό για την ομάδα που ελέγχει ώστε να αντιμετωπίσει την τακτική του αντιπάλου. Παράδειγμα ενός τέτοιου κανόνα είναι το ακόλουθο:

$$\begin{aligned} & \text{fto:myTeamPlaysAgainst}(?t1,?t2) \wedge \text{fto:TeamWith3CentralDefenders}(?t2) \wedge \\ & \text{fto:TeamWith3CentralPlayers}(?t2) \wedge \text{fto:TeamWithSideMFs}(?t2) \wedge \quad (5.3) \\ & \text{fto:TeamWith2Attackers}(?t2) \rightarrow \text{fto:playsWith3CentralDefenders}(?t1, \text{true}). \end{aligned}$$

Ο παραπάνω κανόνας δηλώνει μία περίπτωση κατά την οποία η ομάδα που ελέγχεται από το σύστημα i-footman θα αγωνιστεί με τρεις κεντρικούς αμυντικούς.

### Κανόνες επιλογής παικτών

Οι κανόνες αυτοί βασίζονται στα χαρακτηριστικά των παικτών και στο σχηματισμό της κάθε ομάδας. Συγκεκριμένα, το σύστημα προτείνει κατάλληλους παίκτες για τη σύνθεση της ομάδας που ελέγχει βασιζόμενο στα χαρακτηριστικά τους. Οι παίκτες έχουν κατηγοριοποιηθεί μέσω των διαδικασιών συμπερασμού που πραγματοποιούνται στην οντολογία παικτών. Έτσι, για κάθε παίκτη μπορείς να ελέγξεις αν πληροί συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Ένα τέτοιο παράδειγμα κανόνα για την επιλογή ενός «καλού» κεντρικού επιθετικού είναι το ακόλουθο:

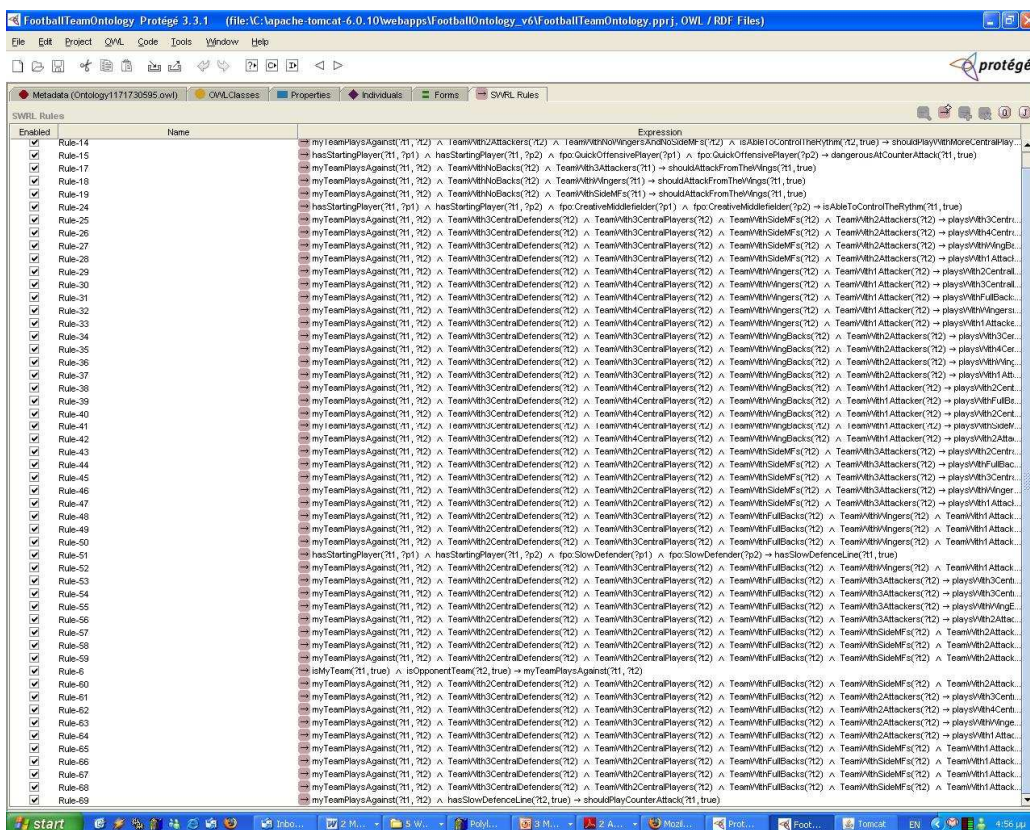
$$\begin{aligned} & \text{fto:myTeamPlaysAgainst}(?t1,?t2) \wedge \text{fpo:playsWith1Striker}(?t1) \wedge \\ & \text{fpo:GoodStriker}(?p1) \wedge \text{fpo:isMemberOf}(?p1,?t1) \rightarrow \quad (5.4) \\ & \text{fpo:isSuggestedFor}(?p1,?t1). \end{aligned}$$

### Κανόνες επιλογής οδηγιών

Οι κανόνες επιλογής των οδηγιών που θα δοθούν στην ομάδα που καθοδηγείται από το i-football εκμεταλλεύονται τις αδυναμίες και τα δυνατά σημεία του αντιπάλου που έχουν καθοριστεί από τους κανόνες αναγνώρισης δυνατοτήτων και αδυναμιών. Επίσης, χρησιμοποιούν πληροφορία που παράγεται από τους κανόνες επιλογής τακτικού σχηματισμού. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που ο αντίπαλος δε χρησιμοποιεί παίκτες που καλύπτουν τις άκρες της άμυνας του και έχει επιλεγεί από το σύστημα σχηματισμός που έχει ακραίους επιθετικούς ή ακραίους μέσους, δίνεται η οδηγία πως η ομάδα πρέπει να εκμεταλλευθεί αυτό το πλεονέκτημα και να επιτεθεί από τις άκρες. Το παράδειγμα κανόνα που ακολουθεί δηλώνει το παραπάνω:

$$\begin{aligned} & \text{fto:myTeamPlaysAgainst}(?t1,?t2) \wedge \text{fto:TeamWithNoBacks}(?t2) \wedge \\ & \text{fto:TeamWithWingers}(?t1) \rightarrow \text{fto:shouldAttackFromTheWings}(?t1, \text{true}). \end{aligned} \quad (5.5)$$

Στην Εικόνα 5.4 παρουσιάζεται μία άποψη των κανόνων από το SWRLTab που προσφέρει το Protégé.



Εικόνα 5.4. Μία άποψη των κανόνων επιλογής του συστήματος i-football

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

#### 6.1 Ontology Web Language (OWL)

Η Web Ontology Language (OWL) αποτελεί μία γλώσσα ορισμού οντολογιών και δημιουργήθηκε από το World Wide Web Consortium (W3C). Πιο συγκεκριμένα, η γλώσσα OWL προέκυψε ως αποτέλεσμα της προγενέστερης γλώσσας DAML+OIL και είναι χτισμένη πάνω από το επίπεδο του Resource Description Framework (RDF). Τα τελευταία χρόνια, η OWL αποτελεί τη βασική γλώσσα που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία οντολογιών.

Η γλώσσα OWL προδιαγράφεται σε 3 επίπεδα διαφορετικής εκφραστικότητας:

- **OWL-Lite:** Η OWL-Lite επεκτείνει την εκφραστικότητα του RDF και συγκεντρώνει τα βασικά χαρακτηριστικά της γλώσσας OWL. Ουσιαστικά, η χρήση της OWL-Lite ενδείκνυται μόνο στις περιπτώσεις που επιθυμούμε τη δημιουργία απλών ταξινομιών, χωρίς την εισαγωγή περίπλοκων ορισμών.
- **OWL-DL:** Η OWL-DL είναι υπερσύνολο της OWL-Lite, με αποτέλεσμα να επεκτείνει και την εκφραστικότητά της. Πιο συγκεκριμένα υλοποιεί τη Description Logic γλώσσα SHOIN. Επίσης, είναι η καταλληλότερη για χρήστες που επιθυμούν το συνδυασμό μεγάλης εκφραστικής δύναμης και αποφασισιμότητας (decidability) σε πολυωνυμικό χρόνο. Η γλώσσα OWL-DL περιλαμβάνει τους βασικούς «κατασκευαστές» (constructors) της OWL, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάτω από ορισμένους περιορισμούς. Για παράδειγμα, στα πλαίσια της OWL-DL, μία κλάση A μπορεί να είναι υποκλάση μίας κλάσης B, αλλά δεν είναι δυνατό να αποτελεί στιγμιότυπο της B. Τέλος, το όνομά της προέρχεται από ένα τμήμα της λογικής επιστήμης που ονομάζεται DL (Description Logics) και αποτελεί το θεμέλιο λίθο για τις γλώσσες οντολογιών.
- **OWL-Full:** Η OWL-Full επιτρέπει μέγιστη εκφραστικότητα. Το γεγονός αυτό, όμως, επιφέρει ως τίμημα τη μη-αποφασισιμότητα της γλώσσας αυτής σε πολυωνυμικό χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, δεν προσφέρει καμία εγγύηση σε ότι αφορά την ολοκλήρωση ενός προγράμματος γραμμένο σε OWL-Full. Αξίζει να σημειωθεί πως στην περίπτωση της OWL-Full κάθε κλάση περιγράφει ένα σύνολο στιγμιότυπων, αλλά ταυτόχρονα αποτελεί και η ίδια ένα στιγμιότυπο.



Η OWL έχει βασιστεί σε παλιότερες αντικειμενοστραφείς αναπαραστάσεις γνώσης όπως είναι τα frame systems. Έτσι, το βασικό της στοιχείο είναι η κλάση (ή έννοια). Ανάμεσα στις κλάσεις υπάρχουν συσχετίσεις (ιδιότητες), καθώς και περιορισμοί πάνω σε αυτές τις συσχετίσεις. Επίσης προδιαγράφονται κάποια βασικά αξιώματα που ισχύουν και επιτρέπουν τη διαδικασία του συμπερασμού (reasoning) σε OWL βάσεις γνώσης. Τα βασικά στοιχεία μοντελοποίησης της OWL συνοψίζονται στους Πίνακες 6.1 και 6.2. Ο Πίνακας 6.1 περιγράφει τα βασικά στοιχεία μοντελοποίησης της γλώσσας ενώ ο Πίνακας 6.2 κάποια κατασκευάσματα που χρησιμοποιούνται για τον ορισμό των κλάσεων και κάποια από τα αξιώματα της γλώσσας.

Πίνακας 6.1. Τα βασικά στοιχεία μοντελοποίησης της OWL

Στοιχείο	Περιγραφή
Class	Μια κλάση (έννοια) του πεδίου μοντελοποίησης. Μπορεί να είναι primitive ή defined. Οι πρώτες περιγράφονται από αναγκαίες συνθήκες ενώ οι δεύτερες από ικανές και αναγκαίες.
Property	Μια ιδιότητα κάποιας κλάσης (ή συνόλου κλάσεων). Οι ιδιότητες διαχωρίζονται σε DatatypeProperties και ObjectProperty.
DatatypeProperty	Ιδιότητα που περιγράφει κάποιο χαρακτηριστικό των στιγμιοτύπων μιας κλάσης. Αναφέρεται και ως γνώρισμα (attribute). Οι τιμές της γενικά ανήκουν σε κάποιους προκαθορισμένους τύπους δεδομένων που ορίζονται στη προδιαγραφή του XML Schema.
ObjectProperty	Ιδιότητα που περιγράφει τη σχέση μεταξύ των στιγμιότυπων κλάσεων. Αναφέρεται και ως ρόλος (roles).
Restriction	Ένας περιορισμός σε μια ιδιότητα. Μπορεί να είναι περιορισμός τιμής, πληθικότητας κοκ.
Individual	Ένα στιγμιότυπο μιας κλάσης (έννοιας).

Πίνακας 6.2. Τα κύρια αξιώματα και κατασκευάσματα (class constructs) της OWL-DL (C, D: έννοιες - R: ρόλος)

Σύνταξη OWL	Σύνταξη DL	Παράδειγμα	Περιγραφή
intersectionOf	$C \sqcap D$	Supervisor $\sqcap$ Male	All Supervisors that are Male
unionOf	$C \sqcup D$	Supervisor $\sqcup$ Manager	Anything that is either Supervisor or Employee
allValuesFrom	$\forall R.C$	$\forall$ supervisor.Male	All supervisors must be of type Male
someValuesFrom	$\exists R.C$	$\exists$ hasSon.Male	At least one of the sons must be of type Male
value	$\exists R.\{o\}$	$\exists$ hasLocation.Athens	The location property must have the value Athens
minCardinality	$\geq n R.C$	$\geq 1$ supervises.Employee	A Supervisor supervises at least one employee
maxCardinality	$\leq n R.C$	$\leq 1$ hasManager.Manager	An Employee has at most one Manager
Cardinality	$= n R.C$	$= 1$ isDependentOn.Employee	A Person is dependent on exactly one Employee
SubClassOf	$C \sqsubseteq D$	Manager $\sqsubseteq$ Employee	A Manager is a kind of Employee
DisjointClass	$C \sqcap D$	Department_Task_Manager $\neg$ Technical_Task_Manager	Someone cannot be a Department_Task_Manager and a Technical_Task_Manager at the same time

Στα πλαίσια ανάπτυξης του προτεινόμενου συστήματος υιοθετήθηκε η γλώσσα OWL-DL για την ανάπτυξη των μοντέλων περιγραφής παικτών και ομάδων ποδοσφαίρου. Το βασικό κριτήριο επιλογής ήταν αφενός η εκφραστικότητα που παρέχει η συγκεκριμένη γλώσσα αναπαράστασης γνώσης, καθώς και η δυνατότητα συμπερασμού με αποδοτικό τρόπο. Συγκεκριμένα, έγινε χρήση του διαδεδομένου εργαλείου Protégé, το οποίο αποτελεί ένα γραφικό περιβάλλον που παρέχει δυνατότητες δημιουργίας και τροποποίησης οντολογιών. Το συγκεκριμένο περιβάλλον παρέχει μία σειρά από ευκολίες στο σχεδιασμό των μοντέλων, όπως εκτέλεση επερωτήσεων και σύνδεση με εξωτερικές μηχανές συμπερασμού. Τέλος, για την εφαρμογή όλων των διαδικασιών

συμπερασμού που εφαρμόστηκαν έγινε χρήση της μηχανής συμπερασμού Pellet που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 3. Η επιλογή αυτή βασίστηκε στην αξιολόγηση των εργαλείων συμπερασμού (Κεφάλαιο 3) που ανέδειξε την αποτελεσματικότητά της.

## 6.2 Semantic Web Rule Language (SWRL)

Η Semantic Web Rule Language (SWRL) αποτελεί την πρόταση του World Wide Web Consortium σχετικά με τη χρήση κανόνων σε συνδυασμό με οντολογίες. Μάλιστα, η SWRL προήλθε από το συνδυασμό της γλώσσας OWL με τη RuleML (Rule Markup Language). Πιο συγκεκριμένα, η γλώσσα SWRL επεκτείνει την OWL σε εκφραστικότητα, καθώς επιτρέπει τη χρήση Horn-κανόνων στα αξιώματα που η OWL προσφέρει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επιτρέπεται η αλληλεπίδραση των Horn-κανόνων με οντολογίες γραμμένες σε OWL.

Η γενική μορφή των SWRL κανόνων είναι η ακόλουθη:

### **Antecedent → Consequent**

Οι κανόνες ερμηνεύονται ως εξής: «κάθε φορά που οι συνθήκες που προδιαγράφονται από το *Antecedent* ισχύουν, θα πρέπει να ισχύουν και οι συνθήκες που προδιαγράφονται από το *Consequent*». Το αριστερό τμήμα των κανόνων (*Antecedent*) ονομάζεται *σώμα (body)*, ενώ το δεξιό κομμάτι (*Consequent*) ονομάζεται *κεφαλή (head)*. Τόσο το *σώμα* όσο και η *κεφαλή* των κανόνων αποτελούν σύζευξη ατόμων της μορφής  $a_1 \wedge a_2 \wedge \dots \wedge a_n$ .

Τα άτομα αι μπορούν να είναι:

- concepts που ορίζονται από την OWL οντολογία
- relations της οντολογίας
- sameAs σχέσεις
- differentFrom σχέσεις
- built-ins της SWRL

Το πλήθος των ατόμων στο σώμα και την κεφαλή ενός κανόνα μπορεί να είναι μηδενικό. Ένας κανόνας με μηδενικό πλήθος ατόμων στην κεφαλή του δεν μπορεί να επιφέρει καμία αλλαγή στη βάση γνώσης του εκάστοτε συστήματος. Ένας κανόνας με μηδενικό πλήθος ατόμων στο σώμα του ερμηνεύεται ως πάντοτε αληθής από

οποιαδήποτε ερμηνεία. Αξίζει να σημειωθεί πως ένας κανόνας με πολλαπλά άτομα στην κεφαλή του ισοδυναμεί με πολλαπλούς κανόνες που έχουν το ίδιο σώμα με τον αρχικό κανόνα και ένα άτομο στην κεφαλή τους. Έτσι για παράδειγμα ο κανόνας (6.1):

$$\text{has\_father}(?a,?b) \wedge \text{has\_married}(?b,?c) \rightarrow \text{female}(?c) \wedge \text{has\_mother}(?a,?c) \quad (6.1)$$

ισοδυναμεί με τους ακόλουθους κανόνες (6.2) και (6.3):

$$\text{has\_father}(?a,?b) \wedge \text{has\_married}(?b,?c) \rightarrow \text{female}(?c) \quad (6.2)$$

$$\text{has\_father}(?a,?b) \wedge \text{has\_married}(?b,?c) \rightarrow \text{has\_mother}(?a,?c) \quad (6.3)$$

Επίσης, οι μεταβλητές μπορούν να υπάρχουν στο σώμα και στην κεφαλή των κανόνων και συμβολίζονται με ένα αγγλικό ερωτηματικό στην αρχή τους. Έτσι για παράδειγμα ο παρακάτω κανόνας μοντελοποιεί τη γνώση ότι «αν κάποιος A έχει πατέρα κάποιον B, ο οποίος έχει αδερφό τον C, τότε ο C είναι θείος του A»:

$$\text{has\_parent}(?a,?b) \wedge \text{has\_brother}(?b,?c) \rightarrow \text{has\_uncle}(?a,?c) \quad (6.4)$$

Ο συνδυασμός κανόνων μαζί με οντολογίες παρέχει μεγάλη εκφραστικότητα, καθώς προσπαθεί, και εν μέρει καταφέρνει, να συνδυάσει τα πλεονεκτήματα της κλασικής λογικής και του λογικού προγραμματισμού. Όμως, κάποια βασικά μειονεκτήματα παραμένουν. Θα πρέπει να τονιστεί πως η γλώσσα SWRL αποτελεί επέκταση της OWL και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να λειτουργεί σε συνέπεια με την υπόθεση του ανοικτού κόσμου (Open-World Assumption), όπως και η OWL. Έτσι, η SWRL δεν υποστηρίζει τελεστή *not*, σε αντίθεση με τα περισσότερα περιβάλλοντα κανόνων που λειτουργούν σε περιβάλλοντα κλειστού κόσμου. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί πως αφού οι SWRL κανόνες έχουν μορφή κανόνων-Horn, δεν επιτρέπουν διάζευξη ούτε στο σώμα ούτε στην κεφαλή τους.

Ένα ακόμη παράδειγμα ορισμού κανόνα στον Σημασιολογικό Ιστό είναι το επόμενο:

#### Λεκτική Περιγραφή Κανόνα:

Εάν ένας καλλιτέχνης x έχει υιοθετήσει μια τεχνοτροπία y και έχει ένα δημιούργημα z τότε το δημιούργημα z είναι της τεχνοτροπίας y.

Λογική Περιγραφή Κανόνα:

$artist(x) \wedge style(y) \wedge artistStyle(x, y) \wedge creator(x, z) \xrightarrow{KB} artifactStyle(z, y)$

Οντολογική Περιγραφή Κανόνα (σε SWRL σύνταξη):

```
<swrl:Variable rdf:ID="x"/>
<swrl:Variable rdf:ID="y"/>
<swrl:Variable rdf:ID="z"/>
<ruleml:Imp>
  <ruleml:body rdf:parseType="Collection">
    <swrl:ClassAtom>
      <swrl:classPredicate rdf:resource="Artist"/>
      <swrl:argument1 rdf:resource="#x" />
    </swrl:ClassAtom>
    <swrl:ClassAtom>
      <swrl:classPredicate rdf:resource="Style"/>
      <swrl:argument1 rdf:resource="#y" />
    </swrl:ClassAtom>
    <swrl:IndividualPropertyAtom>
      <swrl:propertyPredicate rdf:resource="artistStyle"/>
      <swrl:argument1 rdf:resource="#x" />
      <swrl:argument2 rdf:resource="#y" />
    </swrl:IndividualPropertyAtom>
    <swrl:IndividualPropertyAtom>
      <swrl:propertyPredicate rdf:resource="creator"/>
      <swrl:argument1 rdf:resource="#x" />
      <swrl:argument2 rdf:resource="#z" />
    </swrl:IndividualPropertyAtom>
  </ruleml:body>
  <ruleml:head rdf:parseType="Collection">
    <swrl:IndividualPropertyAtom>
      <swrl:propertyPredicate rdf:resource="artifactStyle"/>
      <swrl:argument1 rdf:resource="#z" />
      <swrl:argument2 rdf:resource="#y" />
    </swrl:IndividualPropertyAtom>
  </ruleml:head>
</ruleml:Imp>
```

```
</ruleml:head>  
  
</ruleml:imp>
```

Οι κανόνες που αναπτύχθηκαν για το σύστημα i-footman αναπτύχθηκαν στη γλώσσα SWRL. Βασικό κριτήριο στην απόφαση αυτή αποτέλεσε η δυνατότητα χρήσης του λεξιλογίου που παρείχαν τα οντολογικά μοντέλα μέσω της γλώσσας αυτής. Η ανάπτυξη των SWRL κανόνων επετεύχθη μέσω του εργαλείου Protégé και του SWRLJess Tab που αυτό παρέχει. Σε ότι αφορά την εκτέλεση των κανόνων χρησιμοποιήθηκε η μηχανή εκτέλεσης κανόνων Jess. Και σε αυτή την περίπτωση, η επιλογή του συγκεκριμένου εργαλείου είχε ως βασικό γνώμονα την αποδοτικότητά του, η οποία καταδείχθηκε στο Κεφάλαιο 3.

### 6.3 Java APIs

Για την ανάπτυξη του προτεινόμενου συστήματος υιοθετήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού Java. Παράλληλα χρησιμοποιήθηκε ένα σύνολο από βιβλιοθήκες για το χειρισμό των οντολογικών μοντέλων, των κανόνων, καθώς και των εργαλείων συμπερασμού. Συγκεκριμένα, έγινε χρήση των ακόλουθων προγραμματιστικών διεπαφών:

- Protégé-OWL API: Η συγκεκριμένη προγραμματιστική διεπαφή αποτελεί επέκταση του εργαλείου Protégé. Συγκεκριμένα, επιτρέπει τη διαχείριση οντολογιών μέσα από περιβάλλον Java και προσφέρει δυνατότητες δημιουργίας και τροποποίησης των μοντέλων και των στιγμιότυπων που τις πλαισιώνουν. Επίσης, η διεπαφή αυτή επιτρέπει τη σύνδεση με μηχανές συμπερασμού για την εκτέλεση των σχετικών διαδικασιών. Στο πλαίσιο της εργασίας, μέσω αυτής της βιβλιοθήκης, έγινε η σύνδεση με τη μηχανή συμπερασμού Pellet και εκτελέστηκαν οι διαδικασίες του ελέγχου συνέπειας της βάσης γνώσης, της κατηγοριοποίησης της ιεραρχίας εννοιών των μοντέλων και της ανεύρεσης των κλάσεων στις οποίες ανήκει το κάθε στιγμιότυπο.
- SWRL-Jess Bridge: Επιτρέπει το χειρισμό και την εκτέλεση SWRL κανόνων στο εργαλείο Jess σε περιβάλλον Java.
- Jena API: Μέσω αυτής της προγραμματιστικής διεπαφής πραγματοποιήθηκε η αποθήκευση των ενημερωμένων οντολογικών μοντέλων που προέκυψαν μετά την εκτέλεση των διαδικασιών συμπερασμού νέας γνώσης. Οι διαδικασίες αυτές

αφορούσαν συμπερασμό γνώσης τόσο από τα οντολογικά μοντέλα όσο και από την εκτέλεση κανόνων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Όπως κάθε σύστημα, έτσι και το i-footman πρέπει να αξιολογηθεί ποιοτικά και ποσοτικά ώστε να αποτιμηθεί η αξία του και το ποσοστό εκπλήρωσης των αρχικών απαιτήσεων του. Στην παρούσα ενότητα θα περιγραφούν τα σενάρια με βάση τα οποία αξιολογήθηκε το i-footman, τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών και κάποια συμπεράσματα. Η παρούσα αξιολόγηση έχει στόχο τόσο την μέτρηση των επιδόσεων του i-footman όσο και την επικύρωση της ορθής λειτουργίας του.

Η αξιολόγηση του συστήματος χωρίζεται σε δύο μέρη: την *ποιοτική αξιολόγηση* και την *αξιολόγηση επιδόσεων*. Η ποιοτική αξιολόγηση αφορά τον έλεγχο της ορθής λειτουργίας του συστήματος, ενώ η αξιολόγηση επιδόσεων αναφέρεται στους χρόνους που απαιτούνται για την εκτέλεση της εφαρμογής. Ιδανικά, η ποιοτική αξιολόγηση θα έπρεπε να πραγματοποιηθεί κάτω από πραγματικές συνθήκες αγώνων και χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα παικτών (στατιστικά, εργομετρικά κλπ.). Ακολούθως, ειδικοί του χώρου (π.χ. προπονητές ποδοσφαίρου) θα έπρεπε να εξετάσουν τα αποτελέσματα του συστήματος και να αποφανθούν για τη λειτουργικότητά του. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας αυτό δεν ήταν εφικτό και, επομένως, θα παρατεθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη διαδικασία προσομοίωσης του συστήματος.

Η μετρική που χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση επιδόσεων ήταν ο χρόνος απόκρισης του συστήματος. Ο χρόνος αυτός περιλαμβάνει τις διαδικασίες συμπερασμού που πραγματοποιούνται πάνω στις οντολογίες (κατηγοριοποίηση κλάσεων και υπολογισμός κλάσεων στιγμιότυπων), καθώς και την εκτέλεση των κανόνων του συστήματος.

#### 7.1 Σενάρια Αξιολόγησης

Για την αξιολόγηση του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν 2 σενάρια προσομοίωσης με χρήση 2 ηλεκτρονικών παιχνιδιών ποδοσφαίρου που ενδείκνυνται για τον καθορισμό τακτικής και οδηγιών σε ποδοσφαιρικές ομάδες και παίκτες. Συγκεκριμένα, ως πλατφόρμες προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκαν τα πλέον διαδεδομένα σχετικά ηλεκτρονικά παιχνίδια προσομοίωσης ποδοσφαιρικών αγώνων: το Championship Manager 2008 της εταιρείας Eidos και το Football Manager 2008 της εταιρείας Sports Interactive. Στα συγκεκριμένα παιχνίδια ο χρήστης επιλέγει την ομάδα που θα ελέγξει,



καθώς και την αντίπαλη ομάδα εναντίον της οποίας θα αγωνιστεί. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τη σύνθεση της ομάδας του, το σχηματισμό της, καθώς και να δώσει συγκεκριμένες οδηγίες προς τους παίκτες και την ομάδα. Ακολούθως, ο υπολογιστής προσομοιώνει τον ποδοσφαιρικό αγώνα, ακολουθώντας τις οδηγίες που έχουν δοθεί εκατέρωθεν, και παράγει το αποτέλεσμα του αγώνα. Αξίζει να σημειωθεί πως ο χρήστης δεν ελέγχει πρακτικά τους παίκτες κατά τη διάρκεια του αγώνα, αλλά δύναται να δώσει νέες οδηγίες σε αυτούς και την ομάδα του. Αυτός ήταν ένας βασικός λόγος που επιλέχθηκαν τα συγκεκριμένα ηλεκτρονικά παιχνίδια και όχι παιχνίδια ποδοσφαίρου στα οποία ο χρήστης ελέγχει άμεσα τους παίκτες της ομάδας του. Κάτι τέτοιο θα εμπειρίχε μεγάλο βαθμό υποκειμενικότητας, καθώς η εξοικείωση του χρήστη με το παιχνίδι και οι ικανότητές του σε αυτό θα αλλοίωναν σε μεγάλο βαθμό την αξιολόγηση του συστήματος.

Το πρώτο σενάριο που επιλέχθηκε αφορούσε την επιλογή 2 ομάδων παρόμοιων δυνατοτήτων με βάση την αξιολόγηση που παρείχαν τα παιχνίδια για τη δυναμικότητα των ομάδων. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε ως ομάδα του χρήστη και στα δύο ηλεκτρονικά παιχνίδια η ποδοσφαιρική ομάδα της Μπαρτσελόνα, ενώ αντίπαλός της επιλέχθηκε η Ρεάλ Μαδρίτης. Προσομοιώθηκαν 40 αγώνες σε κάθε ηλεκτρονικό παιχνίδι (συνολικά 80 αγώνες), όπου ίσος αριθμός παιχνιδιών διαδραματίστηκαν στις έδρες και των δύο ομάδων. Οι 20 πρώτοι αγώνες σε κάθε ηλεκτρονικό παιχνίδι πραγματοποιήθηκαν με τον υπολογιστή να καθορίζει την τακτική και των δύο ομάδων, χωρίς ο χρήστης να παρεμβαίνει. Ακολούθως, οι υπόλοιποι 40 αγώνες (20 σε κάθε πλατφόρμα προσομοίωσης) πραγματοποιήθηκαν με το χρήστη να ακολουθεί τις προτάσεις που προέκυψαν από την εκτέλεση του συστήματος i-footman. Τέλος, τα αποτελέσματα των δύο περιπτώσεων (έλεγχος υπολογιστή και έλεγχος i-footman) συγκρίθηκαν.

Το δεύτερο σενάριο που επιλέχθηκε αφορούσε την αντιμετώπιση από το σύστημα ομάδας μεγαλύτερων δυνατοτήτων. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε ως ομάδα του χρήστη και στις δύο πλατφόρμες ο Ολυμπιακός Πειραιώς και ως αντίπαλος η ομάδα της Ρεάλ Μαδρίτης. Και σε αυτή την περίπτωση προσομοιώθηκαν 40 αγώνες σε κάθε πλατφόρμα και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τον έλεγχο του υπολογιστή και του i-footman.

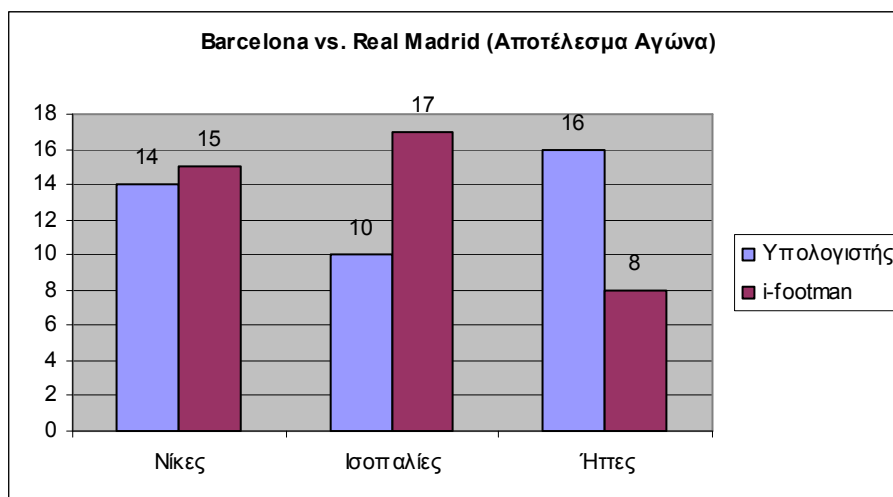
Αξίζει να σημειωθεί πως για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης έπρεπε να ακολουθηθούν κάποια συγκεκριμένα βήματα για την ενσωμάτωση των χαρακτηριστικών των παικτών και των ομάδων στο σύστημα i-footman. Το πρώτο βήμα περιλάμβανε την ενσωμάτωση των παικτών και των ιδιοτήτων τους στην οντολογία παικτών

ποδοσφαίρου. Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν τα στιγμιότυπα των παικτών της κάθε ομάδας και κβαντίστηκε η ποιότητα των χαρακτηριστικών τους, ώστε να αντιστοιχίζεται με τους βαθμούς ποιότητας που έχουν μοντελοποιηθεί στα πλαίσια της εφαρμογής (δλδ 5 βαθμίδες ποιότητας). Ακολούθως, στην οντολογία ομάδων ποδοσφαίρου προστέθηκε η ιδιότητα ότι οι συγκεκριμένοι παίκτες ανήκουν στην κάθε ομάδα. Τέλος, στην οντολογία ομάδων μοντελοποιήθηκαν οι οδηγίες που ακολουθεί ο αντίπαλος κάθε φορά (π.χ. σχηματισμός, σύνθεση ενδεκάδας και οδηγίες προς παίκτες και ομάδα).

## **7.2 Αποτελέσματα Αξιολόγησης**

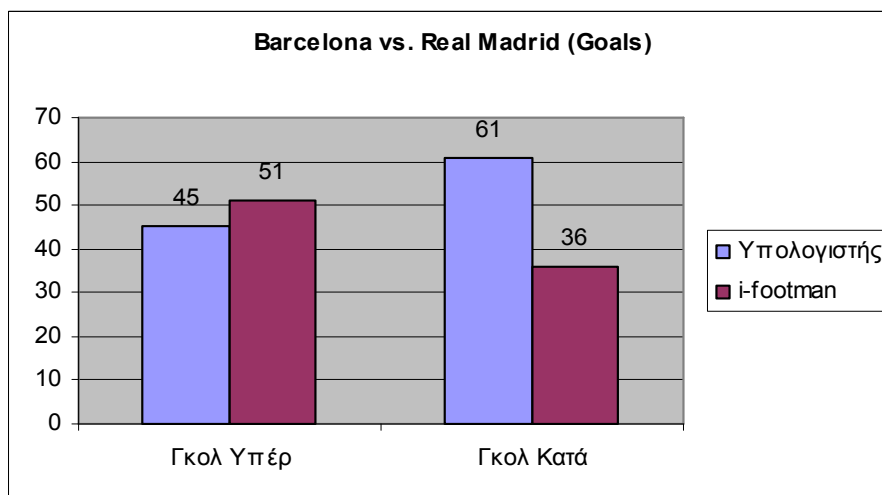
### **7.2.1 Ποιοτική Αξιολόγηση**

Τα αποτελέσματα του πρώτου σεναρίου που πραγματοποιήθηκε παρουσιάζονται στις Εικόνες 7.1 και 7.2. Υπενθυμίζουμε ότι σε αυτό το πείραμα η ομάδα του χρήστη ήταν η Μπαρτσελόνα και αντιμετώπιζε τη Ρεάλ Μαδρίτης. Σε σύνολο 40 αγώνων, η εκτέλεση του πειράματος χωρίς την παρέμβαση του συστήματος i-footman κατέληξε σε 14 νίκες της Μπαρτσελόνα, 10 ισοπαλίες και 16 νίκες της Ρεάλ Μαδρίτης. Επίσης, το σύνολο των τερμάτων που επιτεύχθηκαν ήταν 45 για την Μπαρτσελόνα και 61 για τη Ρεάλ Μαδρίτης. Η αρκετά μεγάλη διαφορά τερμάτων οφείλεται στο γεγονός πως οι νίκες της Ρεάλ Μαδρίτης πραγματοποιήθηκαν με μεγαλύτερη διαφορά τερμάτων σε σχέση με τις νίκες της Μπαρτσελόνα. Ακολούθως, εκτελέστηκε ο ίδιος αριθμός αγώνων με το i-footman να καθοδηγεί τακτικά την ομάδα της Μπαρτσελόνα. Η εκτέλεση του συστήματος φάνηκε ιδιαίτερα επωφελής για την ομάδα που χειριζόμαστε. Συγκεκριμένα, ο αριθμός των νικών για την ομάδα μας δεν παρουσίασε σημαντικές αλλαγές, καθώς οι νίκες αυξήθηκαν μόνο κατά μία. Αντίθετα, ο αριθμός των ισοπαλιών έγινε 17 (αντί για 10) με αντίστοιχη μείωση του αριθμού των ηττών στις 8 (αντί για 16). Πρακτικά, αυτό σημαίνει πως το σύστημα μείωσε στο μισό αριθμό τις ήττες της ομάδας που ήλεγχε.



Εικόνα 7.1: Συγκριτικά αποτελέσματα αγώνων σεναρίου 1

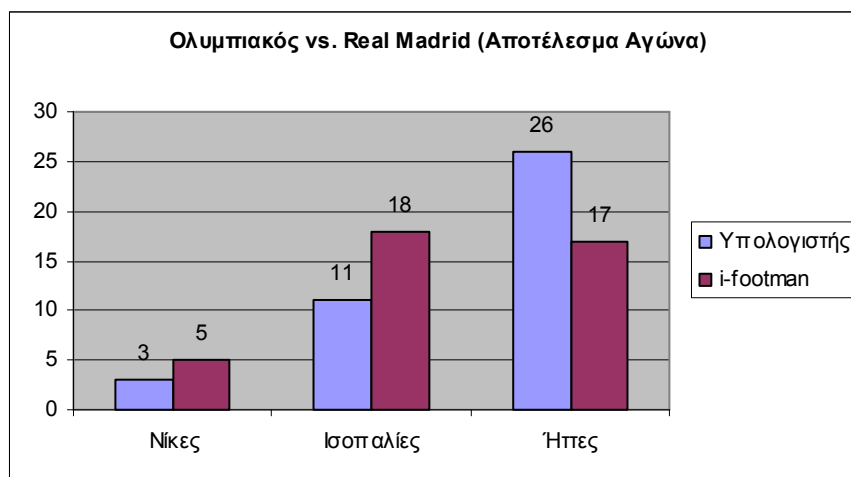
Παράλληλα, εμφανής είναι η διαφορά και στο πλήθος των τερμάτων που σημειώθηκαν στις αναμετρήσεις. Συγκεκριμένα, ο αριθμός των σημειωθέντων τερμάτων αυξήθηκε μόλις κατά 6 για την ομάδα της Μπαρτσελόνα (51 αντί για 45). Ωστόσο, τα τέρματα της αντίπαλης ομάδας μειώθηκαν σε πολύ μεγάλο βαθμό (από 61 σε 36).



Εικόνα 7.2: Συγκριτικά αποτελέσματα τερμάτων σεναρίου 1

Παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα του δεύτερου σεναρίου. Σε αυτή την περίπτωση το σύστημα καθοδηγούσε την ποδοσφαιρική ομάδα του Ολυμπιακού Πειραιώς και αντιμετώπιζε τη Ρεάλ Μαδρίτης. Σε σύνολο 40 αγώνων, η εκτέλεση του πειράματος χωρίς την παρέμβαση του συστήματος i-footman κατέληξε σε μόλις 3 νίκες του Ολυμπιακού, 11 ισοπαλίες και 26 νίκες της Ρεάλ Μαδρίτης. Επίσης, το σύνολο των τερμάτων που επιτεύχθηκαν ήταν 23 για τον Ολυμπιακό και 87 για τη Ρεάλ Μαδρίτης. Είναι λοιπόν εμφανές πως η ισχυρότερη ομάδα κυριάρχησε πλήρως στις αναμετρήσεις αυτές.

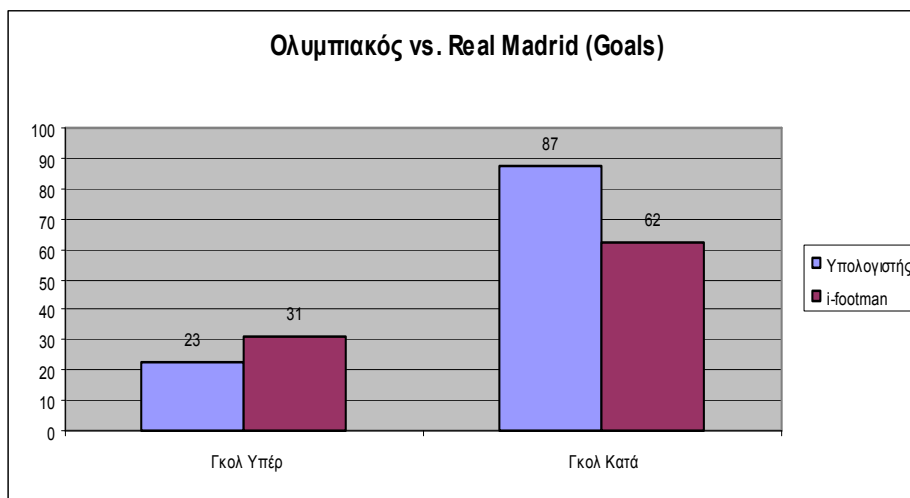
Ακολούθως, εκτελέστηκε ο ίδιος αριθμός αγώνων με το i-footman να καθοδηγεί, αυτή τη φορά, τακτικά την ομάδα του Ολυμπιακού. Η εκτέλεση του συστήματος και πάλι ωφέλησε την ομάδα που χειριζόμαστε (Εικόνα 7.3). Συγκεκριμένα, ο αριθμός των νικών για την ομάδα μας αυξήθηκε κατά 2 (5 από 3). Ωστόσο, ο αριθμός των ισοπαλιών έγινε 18 (αντί για 11) με αντίστοιχη μείωση του αριθμού των ηττών στις 17 (από 26). Επομένως, οι αποφάσεις που πρότεινε το σύστημα φαίνεται πως επηρέασαν αποφασιστικά την εξέλιξη των αναμετρήσεων, καθώς πλέον η ισοπαλία είναι περίπου ισο-πίθανο αποτέλεσμα με την ήττα.



Εικόνα 7.3: Συγκριτικά αποτελέσματα αγώνων σεναρίου 2

Σε ότι αφορά τον αριθμό των τερμάτων, τα αποτελέσματα φαίνεται και πάλι να είναι σημαντικά (Εικόνα 7.4). Ο Ολυμπιακός αυτή τη φορά αύξησε τα τέρματά του σε 31 (από 23) και πέτυχε μείωση των αντιπάλων τερμάτων στα 62 (από τα 87). Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί πως αν και οι νίκες του αντιπάλου εξακολούθησαν να είναι περισσότερες από τριπλάσιες (17 έναντι 5), η αναλογία τερμάτων είναι διπλάσια (62 έναντι 31). Πρακτικά, αυτό συνέβη λόγω της μικρής διαφοράς των τερμάτων με τα οποία

κέρδιζε ο αντίπαλος τις αναμετρήσεις. Το τελευταίο γεγονός δείχνει πως ακόμα και στην περίπτωση των ηττών, αυτές επήλθαν με δυσκολία.



Εικόνα 7.4: Συγκριτικά αποτελέσματα τερμάτων σεναρίου 2

Συνολικά, τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη φάση της ποιοτικής αξιολόγησης του συστήματος κρίνονται θετικά. Συγκεκριμένα, σε πρώτη φάση παρατηρείται μία μικρή αύξηση της απόδοσης της ελεγχόμενης από το σύστημα ομάδας. Ακολούθως, οι οδηγίες του συστήματος παρουσιάζονται ιδιαίτερα αποτελεσματικές για την καταστολή της απόδοσης του αντιπάλου. Αυτό καταδεικνύεται τόσο από τη μείωση των νικών του αντιπάλου όσο και από τη μεγάλη μείωση των τερμάτων που αυτός επιτυγχάνει. Επομένως, το σύστημα φαίνεται πως δεν αυξάνει σε μεγάλο βαθμό την επιθετική απόδοση της ομάδας που καθοδηγεί αλλά την αμυντική της λειτουργία. Πιθανότατα, αυτό οφείλεται στο γεγονός πως οι κανόνες που εμπεριέχονται στο σύστημα αφορούν κυρίως την αμυντική λειτουργία της ομάδας. Συγκεκριμένα, η επιλογή του κατάλληλου σχηματισμού και η επιλογή των παικτών προσαρμόζονται κυρίως βάσει των δυνατών σημείων του αντιπάλου και λιγότερο βάσει των σημείων υπεροχής της ομάδας που το σύστημα ελέγχει. Αυτό το χαρακτηριστικό του συστήματος επιδέχεται, πιθανώς, βελτίωσης, εμπλουτίζοντας κατάλληλα τη βάση γνώσης και τους κανόνες επιλογής οδηγιών και σχηματισμών. Μάλιστα, η χρήση κανόνων διευκολύνει σε σημαντικό βαθμό την επεκτασιμότητα του συστήματος, όπως έχουμε δει και σε προηγούμενες ενότητες.

## 7.2.2 Αξιολόγηση Επιδόσεων

Στον Πίνακα 7.1 παρουσιάζεται ο μέσος χρόνος απόκρισης του συστήματος, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο αυτός κατανέμεται στις διάφορες διαδικασίες συμπερασμού και

εκτέλεσης κανόνων. Για την εξαγωγή των μέσων χρόνων η εφαρμογή εκτελέστηκε 20 φορές. Ο μέσος χρόνος απόκρισης του συστήματος ανέρχεται στα 7740 milliseconds.

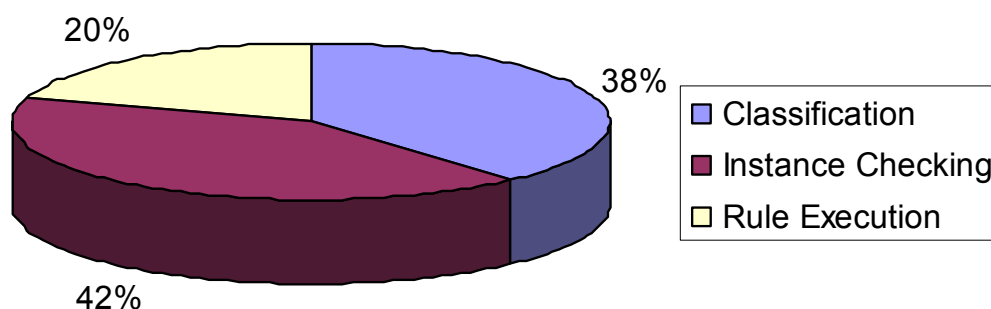
Πίνακας 7.1: Μέσοι χρόνοι απόκρισης και χρόνοι εκτελέσεων επιμέρους διαδικασιών (σε milliseconds)

Classification of FPO	1637
Classification of FTO	1325
Instance Checking FPO	1723
Instance Checking FTO	1514
Εκτέλεση Κανόνων	1541
Συνολικός Χρόνος Απόκρισης	7740

Μια πιο ποιοτική άποψη για τους διάφορους χρόνους εκτέλεσης που εμπλέκονται παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.5. Από τις μετρήσεις συμπεραίνουμε ότι το μεγαλύτερο μερίδιο του χρόνου καταναλώνει η διαδικασία του συμπερασμού των κλάσεων στις οποίες ανήκει κάθε χρήστης. Συγκεκριμένα, οι διαδικασίες συμπερασμού πάνω στις 2 οντολογίες του συστήματος καταλαμβάνουν το 80% του συνολικού χρόνου, ενώ το υπόλοιπο 20% αφορά την εκτέλεση των κανόνων. Αν λάβει κανείς υπόψη του το μεγάλο πλήθος των κανόνων στους οποίους βασίζεται το σύστημα τότε οδηγείται στο συμπέρασμα πως η εκτέλεσή τους είναι αρκετά αποδοτικοί. Αντίθετα, η κατηγοριοποίηση των κλάσεων των οντολογιών καταλαμβάνει περίπου το 38% του συνολικού χρόνου, δηλαδή σχεδόν το διπλάσιο χρόνο. Τέλος, ο υπολογισμός των κλάσεων στις οποίες ανήκει κάθε στιγμιότυπο των οντολογιών χρειάστηκε περίπου το 42% του συνολικού χρόνου. Τα αποτελέσματα αυτά συμβαδίζουν και με τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη γενική αξιολόγηση των εργαλείων εκτέλεσης κανόνων στο Κεφάλαιο 3, στο οποίο καταφάνηκε η αποδοτικότητα των μηχανών εκτέλεσης κανόνων απέναντι στις μηχανές συμπερασμού.

Οι παραπάνω χρόνοι είναι αρκετά ενθαρρυντικοί. Ειδικότερα, αν αναλογιστεί κανείς πως οι παίκτες που συνθέτουν την αντίπαλη ομάδα είναι εν γένει σταθεροί και γνωστοί εκ των προτέρων, το σύστημα απαιτεί μόνο την εκτέλεση των κανόνων για να λειτουργήσει. Αυτό συμβαίνει διότι δεν χρειάζεται οι μηχανές συμπερασμού να

συμπεράνουν εκ νέου γνώση που αφορά τους παίκτες και τις ομάδες. Εκτός αυτού, οι περισσότερες μηχανές συμπερασμού εφαρμόζουν βελτιστοποιημένους αλγορίθμους για τη διαχείριση επαυξημένων βάσεων γνώσης που οδηγούν σε ιδιαίτερα μικρούς χρόνους εκτέλεσης των διαδικασιών συμπερασμού.



Εικόνα 7.5: Ποσοστιαία κατανομή του μέσου χρόνου εκτέλεσης

Τέλος, αξίζει να σημειώσουμε όσον αφορά τις τεχνολογίες υλοποίησης ότι αυτές αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα ενώ το υπολογιστικό σύστημα στο οποίο εκτελέστηκαν τα πειράματα είναι ένας τυπικός σύγχρονος υπολογιστής με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Επεξεργαστής (CPU): Intel Pentium 4.3 GHz
- Μνήμη RAM: 1 GigaByte
- Λειτουργικό Σύστημα: Windows XP Professional

Ειδικές ρυθμίσεις: καμία

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΟΙΚΤΑ ΘΕΜΑΤΑ

#### 8.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μία ποιοτική και πειραματική αξιολόγηση των τεχνολογιών αναπαράστασης γνώσης και συμπερασμού και παρουσιάστηκε η αρχιτεκτονική και οι λεπτομέρειες υλοποίησης ενός συστήματος βασισμένου σε γνώση με πεδίο εφαρμογής το ποδόσφαιρο (i-footman). Αρχικά, παρουσιάστηκαν οι υπάρχουσες γλώσσες αναπαράστασης γνώσης και τα χαρακτηριστικά τους. Ακολούθως, καταδείχθηκαν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πειραματική αξιολόγηση των διαφόρων εργαλείων συμπερασμού. Τέλος, περιγράφηκε η αρχιτεκτονική του συστήματος και αναλύθηκαν τα επιμέρους συστατικά της.

Η εν γένει επιστημονική συνεισφορά της εργασίας μπορεί να συνοψιστεί στα ακόλουθα:

- *Δι-επίπεδη αξιολόγηση των τεχνολογιών γνώσης.* Σε πρώτο επίπεδο εξετάστηκαν τα χαρακτηριστικά των διαφόρων γλωσσών αναπαράστασης γνώσης, η εκφραστικότητά τους, καθώς και οι διαφορές τους. Επιπλέον, αξιολογήθηκαν πειραματικά τα εργαλεία που μπορούν να διαχειριστούν γνώση εκφρασμένη στις παραπάνω γλώσσες.
- *Ανάπτυξη συστήματος βασισμένου σε γνώση με τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού.* Το σύστημα που αναπτύχθηκε βασίστηκε αμιγώς σε τεχνολογίες προερχόμενες από το χώρο του Σημασιολογικού Ιστού, όπως είναι οι γλώσσες OWL για την ανάπτυξη οντολογικών μοντέλων και SWRL για την εκτέλεση κανόνων. Κατά συνέπεια, τα εργαλεία που υιοθετήθηκαν είναι ικανά να διαχειριστούν τέτοιας μορφής γνώση.
- *Οντολογίες Παικτών Ποδοσφαίρου και Ομάδων Ποδοσφαίρου.* Η έρευνα που έγινε για σχετικές εργασίες ανέδειξε την έλλειψη οντολογικών μοντέλων για την περιγραφή παικτών και ομάδων ποδοσφαίρου. Έτσι, στο πλαίσιο της εργασίας αναπτύχθηκαν δύο τέτοια μοντέλα σε μορφή οντολογιών.
- *Επεκτάσιμοι κανόνες και μοντέλα για της εξαγωγή οδηγιών τακτικής.* Βασικός στόχος του συστήματος που αναπτύχθηκε ήταν η δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης της γνώσης που χρησιμοποιείται για το πεδίο με εύκολο τρόπο. Έτσι,



η βάση γνώσης του i-footman δομήθηκε με μεθοδολογία κατάλληλη που επιτρέπει την προσθήκη γνώσης χωρίς να επιβάλλει την τροποποίηση της υπάρχουσας.

## 8.2 Ανοικτά Θέματα

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας, διαπιστώθηκαν αρκετά ανοικτά θέματα που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης στο μέλλον. Αρχικά, ένα παγκόσμιο πρότυπο για τη δημιουργία κανόνων στο Διαδίκτυο κρίνεται σήμερα αναγκαίο. Πιο συγκεκριμένα, αυτό το πρότυπο θα επιτρέπει την δημιουργία, ανάπτυξη και σύνταξη κανόνων για την ενσωμάτωσή τους σε διαδικτυακές εφαρμογές. Άποψή μας είναι πως μία τέτοια γλώσσα θα πρέπει να διακρίνεται από απλότητα και να μην εστιάζει τόσο πολύ σε εκφραστικότητα, η οποία είναι πιθανό να οδηγήσει σε ένα δύσχρηστο φορμαλισμό. Με άλλα λόγια, αυτή η γλώσσα πιστεύουμε πως πρέπει να στοχεύει σε όλα τα άτομα που αναπτύσσουν διαδικτυακές εφαρμογές και όχι σε μεμονωμένους ανθρώπους που κατέχουν ιδιαίτερες γνώσεις αναπαράστασης γνώσης. Η ομάδα εργασίας Rule Interchange Format (RIF) [56] έχει συσταθεί με σκοπό την παραγωγή προτάσεων για το W3C που θα καταλήξουν στη χρήση ενός κοινού φορμαλισμού αναπαράστασης γνώσης σε μορφή κανόνων. Η συγκεκριμένη ομάδα εργασίας δε φιλοδοξεί στην εύρεση ρητών αντιστοιχήσεων ανάμεσα σε όλες τις γλώσσες κανόνων, αλλά στον καθορισμό ενός μηχανισμού ικανού να περιγράψει το νόημα κανόνων εκφρασμένων σε διαφορετικές γλώσσες αναπαράστασης. Με αυτό τον τρόπο, οι κανόνες θα είναι δυνατό να μεταφράζονται αυτομάτως από ένα φορμαλισμό σε οποιονδήποτε άλλο.

Επιπλέον, η ανάπτυξη περισσότερο αποδοτικών αλγορίθμων για τη συλλογιστική πάνω από κανόνες, καθώς και το συμπερασμό σε ABox/TBox, κρίνεται αναγκαία. Αυτοί οι αλγόριθμοι πρέπει να είναι ικανοί να χειριστούν μεγάλες και εκφραστικές βάσεις γνώσεις που συνδυάζουν κανόνες και οντολογίες που περιέχουν μεγάλο πλήθος εννοιών, συσχετίσεων και στιγμιότυπων. Τέτοιες βάσεις γνώσης είναι υπαρκτές, ειδικά σε εφαρμογές που απαιτούν ολοκλήρωση πληροφορίας (information integration) όπου πολλές οντολογίες περιγραφής ενός πεδίου εφαρμογής (application domain ontologies) συνδυάζονται με άλλες υψηλότερου επιπέδου οντολογίες (upper-level ontologies). Επιπροσθέτως, το Διαδίκτυο αποτελεί ένα ανοικτό και μεγάλης κλίμακας (large scale) περιβάλλον, το οποίο καθημερινά διογκώνεται με την εισαγωγή ενός μεγάλου πλήθους νέων πόρων (π.χ., έγγραφα, πολυμεσικά αρχεία κλπ.). Ως άμεσο αποτέλεσμα, οι μελλοντικές βάσεις γνώσεις θα πρέπει να περιέχουν ολοένα και περισσότερες

περιγραφές στιγμιότυπων. Τα παραπάνω θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη από τους σχεδιαστές νέων αλγορίθμων συλλογιστικής.

Επίσης, ένα πιο πρακτικό ζήτημα που πρέπει να διερευνηθεί είναι η ανάπτυξη ενός ενιαίου πλαισίου για τη διαχείριση και το συμπερασμό γνώσης από το συνδυασμό οντολογιών και κανόνων. Σήμερα, δεν υπάρχει κανένα αποδοτικό και εύχρηστο εργαλείο ικανό να εκτελέσει διαδικασίες συμπερασμού πάνω και από τους δύο φορμαλισμούς. Ως συνέπεια, το άτομο που αναπτύσσει μία ανάλογη εφαρμογή είναι συνήθως αναγκασμένο να χρησιμοποιήσει τουλάχιστον δύο μηχανές συμπερασμού (δλδ. μία για κάθε φορμαλισμό). Εν κατακλείδι, τέτοιες καταστάσεις μπορεί να οδηγήσουν σε μη-επιθυμητές καταστάσεις, όπως είναι η ασυνέπεια στη βάση γνώσης. Πρακτικά, αυτό σημαίνει πως το άτομο που αναπτύσσει τέτοιες εφαρμογές θα πρέπει να καταφεύγει συχνά σε διάφορες διαδικασίες (π.χ. έλεγχο της συνέπειας της βάσης γνώσης μετά την εκτέλεση των κανόνων) που δε συνάδουν με την ευχρηστία και την πρακτικότητα της εφαρμογής.

Επιπρόσθετα, οι σύγχρονες εφαρμογές φαίνεται πως απαιτούν τη χρήση ολοένα και περισσότερο εκφραστικών γλωσσών αναπαράστασης γνώσης και τεχνικών σχεδιασμού. Παράλληλα, πολλά από τα χαρακτηριστικά που χρήζουν μοντελοποίησης εκφράζονται μέσω μη-συμβολικής πληροφορίας, γεγονός που συχνά οδηγεί στην απαίτηση για χρήση ασαφών (fuzzy) τεχνικών περιγραφής της πληροφορίας. Το παραπάνω επηρεάζει άμεσα τις γλώσσες αναπαράστασης γνώσης που πρέπει να αυξήσουν την εκφραστικότητά τους. Το γεγονός αυτό έχει απασχολήσει την ερευνητική κοινότητα και έχουν προταθεί κάποιες επεκτάσεις των υπάρχουσών γλωσσών μοντελοποίησης της γνώσης. Για παράδειγμα, στα πλαίσια του Σημασιολογικού Ιστού έχει προταθεί η γλώσσα fuzzy-OWL [66] η οποία βασίζεται σε Ασαφείς Περιγραφικές Λογικές (ΑΠΛ) και αποτελεί παραλλαγή της γλώσσας OWL. Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με επεκτάσεις ασαφούς λογικής επί της γλώσσας OWL μπορούν να βρεθούν στο [62]. Ωστόσο, η έρευνα πρέπει να εξετάσει και τις δυνατότητες συμπερασμού πάνω από τέτοιες εκφραστικές λογικές. Έτσι, απαιτείται προσπάθεια για την ανάπτυξη αποδοτικών και γρήγορων αλγορίθμων συμπερασμού που διαχειρίζονται αυτές τις επεκτάσεις (δλδ. ασαφείς τελεστές).

Όμως, ακόμα και οι υπάρχουσες γλώσσες αναπαράστασης γνώσης παρουσιάζουν προβλήματα σε ότι αφορά τη διαδικασία συμπερασμού νέας γνώσης. Είναι γνωστό, εξάλλου, στην επιστημονική κοινότητα πως η αύξηση της εκφραστικότητας μίας γλώσσας είναι δυνατό να επιφέρει δυσάρεστες συνέπειες σε ότι αφορά τη δυνατότητα

ανάπτυξης αποδοτικών αλγορίθμων συμπερασμού για τη γλώσσα (*expressiveness vs. tractability tradeoff*). Κάθε φορά που προστίθεται στη γλώσσα ένας τελεστής ή μία καινούρια δυνατότητα αναπαράστασης, νέες τεχνικές βελτιστοποίησης των αλγορίθμων απαιτούνται. Έτσι, η ανάπτυξη αλγορίθμων και εργαλείων αποδοτικών θα παραμείνει στο επίκεντρο της επιστημονικής έρευνας για τα επόμενα χρόνια, ιδιαίτερα σε ότι αφορά τις τρέχουσες τεχνολογίες του Σημασιολογικού Ιστού. Προς το παρόν, όπως φάνηκε και στα πλαίσια αυτής της εργασίας, οι δυνατότητες των σημερινών αλγορίθμων δεν είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικές σε ότι αφορά τις Περιγραφικές Λογικές και ιδιαίτερα στην περίπτωση μεγάλου αριθμού στιγμιότυπων.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

### **ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Πανεπιστημιούπολη 157 84, ΑΘΗΝΑ

Τηλ. : + (30) 210 727 5202

Fax. : + (30) 210 727 5214

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Το ερευνητικό έργο i-Footman (intelligent-Football Manager) στοχεύει στη δημιουργία ενός καινοτόμου υπολογιστικού συστήματος, το οποίο φιλοδοξεί να αποτελέσει ένα συμβουλευτικό εργαλείο για προπονητές ποδοσφαίρου. Πιο συγκεκριμένα, αποτελεί μία ερευνητική προσπάθεια με σκοπό την ανάπτυξη ενός συστήματος βασισμένου στη γνώση (knowledge-based system), το οποίο θα παρέχει υπηρεσίες στους ειδικούς του χώρου.

Αντίστοιχα συστήματα, προερχόμενα από τεχνολογίες της πληροφορικής, έχουν αναπτυχθεί και έχουν βρει εφαρμογή με επιτυχία σε πολλούς επιστημονικούς και επαγγελματικούς τομείς, όπως για παράδειγμα είναι η ιατρική. Δυστυχώς, στο χώρο του ποδοσφαίρου δεν κατέχουμε αυτή την εξειδικευμένη γνώση και για το λόγο αυτό ελπίζουμε στη συνεργασία σας. Το ερωτηματολόγιο που ακολουθεί απευθύνεται σε πρόσωπα καταρτισμένα στο χώρο του ποδοσφαίρου και αποβλέπει στην καταγραφή και στην κατανόηση βασικών εννοιών που αφορούν το συγκεκριμένο πεδίο.

Το εργαλείο αυτό, μετά την ολοκλήρωσή του, θα είναι ελεύθερα διαθέσιμο προς χρήση από οποιονδήποτε προπονητή. Θα πρέπει να σημειωθεί πως το συγκεκριμένο έργο εκπονείται σε αυστηρώς ακαδημαϊκά πλαίσια και δεν έχει σε καμία περίπτωση κερδοσκοπικό χαρακτήρα.

Από την πλευρά μας, δεσμευόμαστε να γίνει σαφής δημόσια αναφορά, με κάθε πρόσφορο μέσο, της συμμετοχής σας και της συνεισφοράς σας στην έρευνα αυτή. Ευχαριστούμε πολύ για τη συνεργασία σας.

Σημείωση: Είναι κατανοητό ότι η απάντηση του παρακάτω ερωτηματολογίου σε σύντομο χρόνο και με πληρότητα αποτελεί ένα δύσκολο εγχείρημα. Για την διευκόλυνση σας θα θέλαμε να υπενθυμίσουμε ότι το ενδιαφέρον επικεντρώνεται σε βασικές αρχές και γενικές γνώσεις και όχι σε ειδικές περιπτώσεις. Επομένως, οι απαντήσεις δεν χρειάζεται να είναι εξαντλητικές, απλά να αποτυπώνουν την οπτική σας για το ποδόσφαιρο.

## ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

### **A. ΠΡΟΣΩΠΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

**Συμπληρώστε τα στοιχεία σας:**

Όνοματεπώνυμο: \_\_\_\_\_

Επαγγελματική Θέση : \_\_\_\_\_

Τηλέφωνο επικοινωνίας: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_

## **B. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ**

### ***B1. Για το σύστημα***

**1. Κατά την προσωπική σας άποψη, σε τι βαθμό θα ήταν χρήσιμο κάθε ένα από τα συστήματα που περιλαμβάνονται στον ακόλουθο πίνακα;**

	<b>Πολύ</b>	<b>Αρκετά</b>	<b>Μέτρια</b>	<b>Λίγο</b>	<b>Καθόλου</b>
Ένα σύστημα που θα αποτελούσε βοήθημα στην εξαγωγή της βέλτιστης τακτικής (ενδεκάδα, άμυνα, επίθεση) σε έναν αγώνα ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του αντιπάλου					
Ένα σύστημα που θα προσδιόριζε αδυναμίες και πλεονεκτήματα κάθε ομάδας					
Ένα σύστημα που θα αποτελούσε ένα σύμβουλο πιθανών μεταγραφικών στόχων					

**Αναφέρατε άλλες πιθανές λειτουργίες που πιστεύετε ότι θα ήταν χρήσιμες σε έναν προπονητή.**

---



---



---



---

### ***B2. Για το ποδόσφαιρο***

**2. Ποιες είναι όλες οι δυνατές θέσεις που μπορεί να έχει ένας τυχαίος ποδοσφαιριστής σε έναν ποδοσφαιρικό αγώνα; Οι θέσεις που εμφανίζονται στη διπλανή εικόνα σας καλύπτουν; Αν όχι, ποιες θα προσθέτατε;**

---

---

---

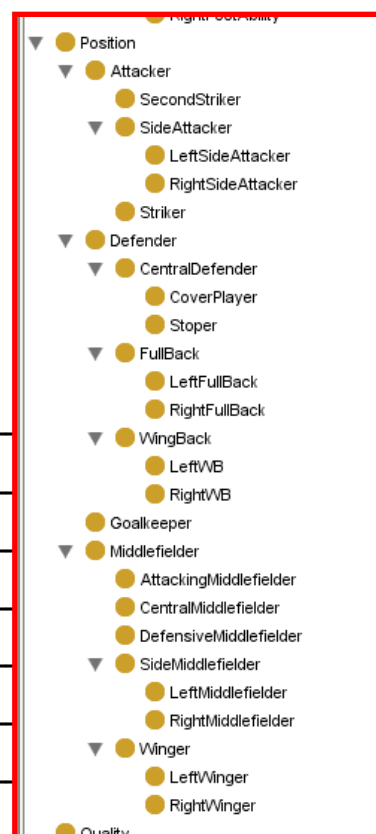
---

---

---

---

---



**3. Ποια πιστεύετε ότι είναι τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά-προσόντα (σωματικά και τεχνικά) που πρέπει να διακρίνει κάθε μία κατηγορία από τις παραπάνω; Τα χαρακτηριστικά που εμφανίζονται στη διπλανή εικόνα σας καλύπτουν; Αν όχι, ποια θα προσθέτατε;**

---

---

---

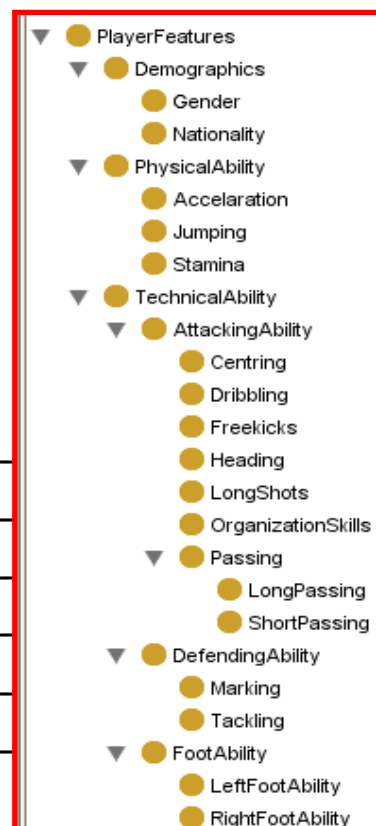
---

---

---

---

---



## **Γ. ΑΜΥΝΤΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ**

**4. Σε ποιες περιπτώσεις προτιμάτε να χρησιμοποιήσετε 2 κεντρικούς αμυντικούς;**

---

---

---

---

**5. Σε ποιες περιπτώσεις προτιμάτε να χρησιμοποιήσετε 3 κεντρικούς αμυντικούς;**

---

---

---

---

**6. Υπήρχε περίπτωση να χρησιμοποιούσατε 3 κεντρικούς αμυντικούς σε αγώνα που ο αντίπαλος χρησιμοποιεί 1 κεντρικό επιθετικό; Αν ναι, ποιες είναι αυτές οι περιπτώσεις (για παράδειγμα με βάση τα χαρακτηριστικά των παικτών);**

---

---

---

---

**7. Ο Marcello Lippi σε μία συνέντευξή του είχε πει ότι μία βασική αρχή είναι πως δεν μπορείς να αμύνεσαι με δύο μόνο αμυντικούς (για παράδειγμα μία τέτοια περίπτωση είναι όταν αγωνίζεσαι με τέσσερις πίσω και τα δύο πλάγια μπακ έχουν προωθηθεί). Συμφωνείτε με αυτή την άποψη και γιατί; Σε**



**περίπτωση ταυτόχρονης προώθησης των δύο πλάγιων μπακ επιθυμείτε την οπισθοχώρηση ενός αμυντικού χαφ στο χώρο της άμυνας;**

---

---

---

---

**8. Η επιλογή αμυντικής γραμμής με 4 παίκτες προϋποθέτει την εφαρμογή του τεχνητού off-side ή όχι απαραίτητως;**

---

---

---

---

**9. Σε περίπτωση που οι κεντρικοί αμυντικοί της ομάδας σας είναι σχετικά αργοί, προσπαθείτε να εφαρμόζετε το off-side, για να καλύπτετε ένα μεγάλο χώρο απέναντι σε γρήγορους παίκτες; Η απάντηση εξαρτάται από τον αριθμό των κεντρικών αμυντικών που θα χρησιμοποιήσετε;**

---

---

---

---

**10. Η επιλογή αμυντικής γραμμής με 3 ή 5 παίκτες προϋποθέτει τη μη εφαρμογή του τεχνητού off-side ή όχι απαραίτητως;**

---

---

---

---

**11. Θεωρείτε πάντα απαραίτητη τη χρήση των πλάγιων μπακ ή των μπακ-χαφ; Αν όχι, σε ποιες περιπτώσεις;**

---

---

---

---

**12. Σε ποιες περιπτώσεις θα επιλέγατε άμυνα ζώνης και σε ποιες περιπτώσεις man-to-man; Θεωρείτε ότι είναι δυνατό να συνδυαστούν οι δύο αυτές καταστάσεις (π.χ. 1 man-to-man και οι υπόλοιποι ζώνη);**

---

---

---

---

**13. Θα εφαρμόζατε man-to-man σε 2 αντιπάλους επιθετικούς, ενώ εσείς αγωνίζεστε με 4 παίκτες στην άμυνα;**

---

---

---

---

**14. Θεωρείτε ότι τα πλάγια μπακ ενδείκνυνται στο να παίζουν man-to-man τα αντίπαλα εξτρέμ ή τα πλάγια χαφ; Αν ναι, σε ποιες περιπτώσεις;**

---

---

---

---

**15. Πιστεύετε ότι είναι δυνατός ο συνδυασμός άμυνας ζώνης με μη εφαρμογή του τεχνητού off-side και το αντίστροφο;**

---

---

---

---

**16. Υπάρχει περίπτωση τα προσωπικά μαρκάρια να αλλάζουν όταν οι αντίπαλοι επιθετικοί βρίσκονται εκτός περιοχής;**

---

---

---

---

**17. Υπάρχει περίπτωση να τοποθετείτε ατομικά μαρκάρια και σε αντίπαλους παίκτες που δεν είναι επιθετικοί; Αν ναι, ποια είναι τα χαρακτηριστικά των παικτών που σας οδηγούν σε αυτή την επιλογή;**

---

---

---

---

**18. Σε ποιες περιπτώσεις πιστεύετε ότι ενδείκνυται η διπλή άμυνα ζώνης; Εξαρτάται από το σχήμα του αντιπάλου; Με ποια συστήματα και απέναντι σε ποια συστήματα ταιριάζει περισσότερο;**

---

---

---

---

#### **Δ. ΜΕΣΑΙΑ ΓΡΑΜΜΗ**

**19. Ποιοι παράγοντες συμβάλλουν στη λήψη της απόφασης για το πόσο ψηλά θα πρεσάρει η ομάδα σας και με ποιον τρόπο;**

---

---

---

---

**20. Ο αριθμός των αμυντικών χαφ της ομάδας σας από ποιους παράγοντες εξαρτάται;**

---

---

---

---

**21. Προτιμάτε να υπερισχύετε στο χώρο της μεσαίας γραμμής (χρησιμοποιώντας πιθανότατα έναν επιπλέον παίκτη από τον αντίπαλο) ή προτιμάτε την τοποθέτηση ενός επιπλέον παίκτη στο χώρο της άμυνας ή της επίθεσης;**

---

---

---

---

**22. Τα τελευταία χρόνια, βλέπουμε πολλές ομάδες να μην χρησιμοποιούν έναν κλασσικό οργανωτή για την ανάπτυξη του παιχνιδιού. Ο ρόλος του οργανωτή (το λεγόμενο «δεκάρι») πιστεύετε πως είναι απαραίτητος σε μία ομάδα ή πιστεύετε πως ο ρόλος αυτός θα πρέπει να διαμοιράζεται σε περισσότερους από έναν παίκτες;**

---

---

---

---

### **E. ΕΠΙΘΕΤΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ**

**23. Στην περίπτωση που η αντίπαλη ομάδα αγωνίζεται με 2 κεντρικούς αμυντικούς προτιμάτε να χρησιμοποιήσετε 1 καθαρόαιμο επιθετικό ή 2;**

---

---

---

---

**24. Στην περίπτωση που η αντίπαλη ομάδα αγωνίζεται με 3 κεντρικούς αμυντικούς προτιμάτε να χρησιμοποιήσετε 1 καθαρόαιμο επιθετικό ή 2;**

---

---

---

---

**25. Πιστεύετε πως όταν η ομάδα σας αγωνίζεται με 1 καθαρόαιμο επιθετικό, είναι απαραίτητο να υπάρχει επιθετική υποστήριξη από πλάγιους επιθετικούς ή από τα πλάγια χαφ (π.χ. σύστημα 4-4-1-1);**

---

---

---

---

**26. Με ποιους τρόπους πιστεύετε ότι είναι ευκολότερο να διασπαστεί μία άμυνα ζώνης και με ποιους μία άμυνα που βασίζεται σε προσωπικά μαρκαρίσματα;**

---

---

---

---

**ΣΤ. ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ**

**27. Πιστεύετε ότι είναι εφικτή η διαφοροποίηση ενός συστήματος μεταξύ της φάσης άμυνας και επίθεσης της ομάδας (π.χ. ένα σύστημα 4-5-1 στην άμυνα να μετατρέπεται σε 4-3-3 στην επίθεση);**

---

---

---

---

**28. Με ποιο σκεπτικό αποφασίζεται η κοντινή ή μακρινή απόφαση (συνοχή) μεταξύ των γραμμών άμυνας, κέντρου και επίθεσης; Έχετε κάποια προτίμηση και για ποιο λόγο;**

---

---

---

---

**29. Με ποιο τρόπο αντιδράτε στην περίπτωση που η ομάδα σας αντιμετωπίζει αριθμητικό μειονέκτημα, λόγω της αποβολής ή του τραυματισμού κάποιου παίκτη; Σε αυτή την απόφαση παίζει ρόλο το χρονικό σημείο του αγώνα;**

---

---

---

---

**30. Υπάρχει κάποιο άλλο σημείο που πιστεύετε ότι δεν καλύφθηκε επαρκώς από τις προηγούμενες ερωτήσεις;**

---

---

---

---

## ΟΡΟΛΟΓΙΑ

Ξένος όρος	Ελληνικός Όρος	Ορισμός
Classification	Κατηγοριοποίηση	Η ταξινόμηση της γνώσης σε κλάσεις και ιεραρχίες κλάσεων
Concept	Έννοια	Η περιγραφή μίας κατηγορίας οντοτήτων του κόσμου
Inference Rules	Κανόνες Συμπερασμού	Ένα σύνολο κανόνων που η εκτέλεσή τους επιτρέπει το συμπερασμό νέας γνώσης
Instance/Individual	Στιγμιότυπο	Ένα συγκεκριμένο αντικείμενο που ανήκει σε μια κλάση οντολογίας
Knowledge-based System	Σύστημα Βασισμένο σε Γνώση	Υπολογιστικό σύστημα που βασίζεται σε τεχνολογίες αναπαράστασης γνώσης και συμπερασμού
Ontology	Οντολογία	Οντολογία είναι μια τυπική, ρητή προδιαγραφή μιας κοινής εννοιολογικής θεώρησης ενός φαινομένου
Pervasive Computing	Διάχυτος Υπολογισμός	Προσέγγιση για τα μελλοντικά υπολογιστικά περιβάλλοντα όπου οι υπολογιστικές διατάξεις λειτουργούν διαφανώς από το χρήστη
Real-time Application	Εφαρμογή Πραγματικού Χρόνου	Υπολογιστική εφαρμογή που απαιτεί το χειρισμό δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.
Reasoning	Συμπερασμός	Η εξαγωγή νέας γνώσης από υπάρχουσα γνώση και κανόνες (συνθήκες)
Taxonomy	Ταξινομία	Η ονομασία, περιγραφή και ιεράρχηση εννοιών



## ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ

ABox	Assertional Box
API	Application Programming Interface
CL	Classical Logic
CWA	Closed World Assumption
DL	Description Logics
FOL	First Order Logic
KB	Knowledge Base
LP	Logic Programming
OWA	Open World Assumption
OWL	Ontology Web Language
SW	Semantic Web
SWRL	Semantic Web Rule Language
TBox	Terminological Box
WWW	World Wide Web

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] J. Alferes, C. Damasio, and L. Pereira (2003). Semantic Web Logic Programming Tools. *LNCS 2901*, (pp. 16-32). Springer- Verlag.
- [2] G. Antoniou, D. Billington, G. Governatori, and M. J. Maher (2001). Representation Results for Defeasible Logic. *ACM Transactions on Computational Logic* 2(2), 255–287.
- [3] G. Antoniou, C. Damasio, B. Grosz, I. Horrocks, M. Kifer, J. Maluszynski, and P. F. Patel Schneider (2005). Combining Rules and Ontologies : A Survey. Deliverables I3-D3, REVERSE, <http://reverse.net/deliverables/m12/i3-d3.pdf>.
- [4] G. Antoniou, and F. van Harmelen (2004). *A Semantic Web Primer*. MIT Press.
- [5] F. Baader, D. Calvanese, D. McGuinness, D. Nardi, and P. F. Patel-Schneider (2003). *The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [6] N. Bassiliades, G. Antoniou, and I. Vlahavas (2006). A defeasible logic reasoner for the semantic web, *International Journal on Semantic Web and Information Systems* 2 (1), 1–4.
- [7] S. Bechhofer, R. Moller, and P. Crowther (2003). The DIG Description Logic Interface. In D. Calvanese, G. de Giacomo, and F. Franconi, editors, Proc. of the 2003 Int. Workshop on Description Logics (DL 2003), volume 81 of CEUR Workshop Proceedings, Rome, Italy, September 5–7 2003.
- [8] H. Boley, M., Kifer, P. L., Patranjan, and A., Polleres (2007). Rule Interchange on the Web. In *Reasoning Web 2007*, number 4636, (pp. 269-309). Springer, September 2007.
- [9] J., de Bruijn, H. Lausen, R. Krummenacher, A. Polleres, L. Predoiu, M. Kifer, and D. Fensel (2005). The Web Service Modeling Language WSML. Technical report, WSML. WSML Final Draft D16.1v0.21. <http://www.wsmo.org/TR/d16/d16.1/v0.21/>.
- [10] J. de Bruijn, A. Polleres, R. Lara, and D. Fensel (2005). OWL DL vs. OWL Flight: Conceptual Modeling and Reasoning on the Semantic Web. In Proc. WWW2005, (pp. 623–632), Chiba, Japan, May 10–14 2005.
- [11] J. Cardoso (2007). The semantic web vision: Where are we? *Intelligent Systems*, 22(5):84–88.

- [12] CLIPS: A tool for building expert systems. (2008). Retrieved April 22, 2008, from <http://clipsrules.sourceforge.net/>.
- [13] C. V. Damasio, A. Analyti, G. Antoniou, and G. Wagner (2006). Supporting open and closed world reasoning on the web. In José Júlio Alferes, J. Bailey and U. Schwertel (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science Vol. 4187* (pp. 149–163). Budva, Montenegro: Springer.
- [14] M. Dean, G. Schreiber, S. Bechhofer, F. van Harmelen, J. Hendler, I. Horrocks, D. L. McGuinness, P. F. Patel-Schneider, and L. A. Stein (2004). OWL Web Ontology Language Reference. W3C Recommendation 10 February 2004. Retrieved April 22, 2008, from <http://www.w3.org/TR/owl-ref/>.
- [15] M. F. Donini, M. Lenzerini, D. Nardi, and A. Schaerf (1998). AL-log: Integrating Datalog and Description Logics. *Journal of Intelligent Information Systems*, 10(3), 1998, pp. 227-252.
- [16] Drools (2008). Retrieved April 22, 2008, from <http://www.jboss.org/drools/>.
- [17] T. Eiter, G. B. Ianni, A. Polleres, R. Schindlauer, and H. Tompits (2006a). Reasoning with rules and ontologies. In Pedro Barahona, FranÉcois Bry, Enrico Franconi, Ulrike Sattler, and Nicola Henze, editors, Reasoning Web, Second International Summer School 2005, Tutorial Lectures, Lecture Notes in Computer Science. (pp. 93–127). Springer.
- [18] T. Eiter, G. B. Ianni, R. Schindlauer, and H. Tompits (2006b). dlvhx: A System for Integrating Multiple Semantics in an Answer-Set Programming Framework. In M. Fink, H. Tompits, and S. Woltran, editors, Proceedings 20th Workshop on Logic Programming and Constraint Systems (WLP 06), (pp. 206-210).
- [19] T. Eiter, G. B. Ianni, R. Schindlauer, and H. Tompits (2005). A Uniform Integration of Higher-Order Reasoning and External Evaluations in Answer Set Programming. In Proc. IJCAI 2005, Morgan Kaufmann.
- [20] T. Eiter, T. Lukasiewicz, R. Schindlauer, and H. Tompits (2004). Combining answer set programming with description logics for the semantic web. In Proc. of the International Conference of Knowledge Representation and Reasoning (KR04).
- [21] J. Farrell, and H. Lausen (2007). Semantic Annotations for WSDL and XML Schema. W3C Recommendation, W3C, August 2007. Retrieved April 22, 2008, from <http://www.w3.org/TR/sawSDL/>.

- [22] M. Fernandez, A. Gomez-Perez, and N. Juristo (1997). Methontology: From ontological art towards ontological engineering. In Proceedings of Workshop on Ontological Engineering: AAAI-97 Spring Symposium Series, (Stanford, CA, 1997), 33--40.
- [23] FIRA-Federation of International Robot-soccer Association (2008), Retrieved April 22, 2008, from <http://www.fira.net/>
- [24] C. Forgy (1982). Rete: A Fast Algorithm for the Many Pattern/Many Object Pattern Match Problem, *Artificial Intelligence*, 19, 17-37.
- [25] T. Gardiner, I. Horrocks, and D. Tsarkov (2006). Automated benchmarking of description logic reasoners. In Proc. of DL.
- [26] M. Gelfond, and V. Lifschitz (1991). Classical negation in logic programs and disjunctive databases. *New Generation Computing*, 9(3\_4), 365-386.
- [27] B. Grosz, I. Horrocks, R. Volz, and S. Decker (2003). Description logic programs: Combining logic programs with description logic. In Proc. of the Twelfth International World Wide Web Conference (WWW 2003), (pp. 48-57). ACM.
- [28] V. Haarslev, and R. Moller (2001). RACER system description. In R. Goré, A. Leitsch, and T. Nipkow, editors, International Joint Conference on Automated Reasoning, IJCAR'2001, June 18-23, Siena, Italy, (pp. 701-705). Springer-Verlag.
- [29] K. Heung-Soo, S. Hyun-Sik, J. Myung-Jin, and K. Jong-Hwan (1997). "Action Selection Mechanism for Soccer Robot", *Proceedings of IEEE international Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation*, 1997, pp. 390-395.
- [30] I. Horrocks (1998). Using an expressive Description Logic: FaCT or fiction? in: Proceedings of the Sixth International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'98), Trento, Italy, June 2-5, 1998, (pp. 636-647).
- [31] I. Horrocks, L. Li, D. Turi, and S. Bechhofer (2004a). The instance store: DL reasoning with large numbers of individuals. In Proc. of the 2004 Description Logic Workshop (DL~2004), (pp. 31-40).
- [32] I. Horrocks, P. F. Patel-Schneider, H. Boley, S. Tabet, B. Grosz, and M. Dean (2004b). SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML, W3C Member Submission, 21 May 2004. Retrieved April 22, 2008, from <http://www.w3.org/Submission/SWRL/>.

- [33] I. Horrocks, B. Parsia, P. F. Patel-Schneider, and J. Hendler (2005). Semantic web architecture: Stack or two towers? In Proc. PPSWR 2005, (pp. 37–41), Dagstuhl Castle, Germany, September 11–16 2005.
- [34] U. [Hustadt](#), B. [Motik](#), and U. [Sattler](#) (2004). Reducing SHIQ<sup>-</sup> Description Logic to Disjunctive Datalog Programs. Proc. of the 9th International Conference on Knowledge Representation and Reasoning (KR2004), June 2004, (pp. 152-162).
- [35] S. Hyun-Sik, S. Yoon-Gyeong, K. Seung-Ho, and K. Jong-Hwan (1999), "Design of Action Level in a Hybrid Control Structure for Vision Based Soccer Robo", *Proceeding of the 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1406-1411.
- [36] ILOG, Business Rule Management Systems, Optimization Tools and Engines, Visualization Software Components, Supply Chain Applications (2008). Retrieved April 22, 2008, from <http://www.ilog.com/>.
- [37] M. Jang, and J. C. Sohn (2004). Bossam: An Extended Rule Engine for OWL Inferencing. Hiroshima, Japan: In Workshop on Rules and Rule Markup Languages for the Semantic Web at the 3rd International Semantic Web Conference (LNCS 3323), (pp. 128-138). Hiroshima, Japan: Springer-Verlag.
- [38] Jess, The Rule Engine For the Java Platform (2008). Retrieved April 22, 2008, from <http://www.jessrules.com/jess/index.shtml>
- [39] KAON – The KArllsruhe ONtology and Semantic Web tool suite (2008). Retrieved April 22, 2008, from <http://kaon.semanticweb.org>.
- [40] KAON2 – Ontology Management for the Semantic Web (2008). Retrieved April 22, 2008, from <http://kaon2.semanticweb.org>.
- [41] M. Kifer, J. de Bruijn, H. Boley, and D. Fensel (2005). A Realistic Architecture for the Semantic Web. In Proc. RuleML 2005, (pp. 17–29), Galway, Ireland.
- [42] B. McBride (2002). Jena: A Semantic Web Toolkit, *IEEE Internet Computing*, 6(6):55-59.
- [43] B. Motik, U. Sattler, and R. Studer (2005). Query answering for owl-dl with rules. *Journal of Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web* 3, 41–60.

- [44] B. Motik, I. Horrocks, R. Rosati and U. Sattler (2006). Can OWL and logic programming live together happily ever after? In Proceedings ISWC-2006. LNCS, vol. 4273, (pp. 501–514). Springer.
- [45] D. Nute (1994). Defeasible logic, in: Handbook of Logic in Artificial Intelligence and Logic Programming, Nonmonotonic Reasoning and Uncertain Reasoning, vol. 3, Oxford University Press.
- [46] M. O'Connor, H. Knublauch, T. Samson, and M. Musen (2005). Writing Rules for the Semantic Web Using SWRL and Jess. Protégé With Rules WS, Madrid.
- [47] J. Z. Pan and I. Horrocks (2004). OWL-E: Extending owl with expressive datatype expressions. Technical report, IMG/2004/KR-SW-01/v1.0, Victoria University of Manchester.
- [48] J. Pan (2005). Benchmarking DL reasoners using realistic ontologies. In Proc. of the OWL: Experiences and Directions Workshop.
- [49] B. Parsia, E. Sirin, and A. Kalyanpur (2005). Debugging OWL Ontologies, in: Proceedings of the 14th International World Wide Web Conference (WWW2005), Chiba, Japan, May 2005, URL: <http://www.mindswap.org/papers/debuggingOWL.pdf>.
- [50] P. F. Patel-Schneider, and I. Horrocks (2006). Position paper: a comparison of two modelling paradigms in the Semantic Web. In Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Conference on World Wide Web (Edinburgh, Scotland, May 23 - 26, 2006). WWW '06, New York, NY, (pp. 3-12). ACM Press.
- [51] A., Polleres and R. Schindlauer (2007). DLVHEX-SPARQL: A SPARQL Compliant Query Engine Based on DLVHEX. Proceedings of 2nd International Workshop on Applications of Logic Programming to the Web, Semantic Web and Semantic Web Services (ALPSWS2007), Porto, Portugal (13th September 2007).
- [52] Prozone, (2008). Retrieved April 22, 2008, from <http://www.prozonesports.com/index.htm>
- [53] E. Prud'hommeaux, and A. Seaborne (2005). SPARQL Query Language for RDF. <http://www.w3.org/TR/2005/WD-rdf-sparql-query-20050217/>, 2005.
- [54] RacerPro (2008). Retrieved April 22, 2008, from <http://www.racer-systems.com/products/racerpro/index.phtml>.
- [55] A. Rainer, (2005). Web Service Composition under Answer Set Programming. KI-Workshop "Planen, Scheduling und Konfigurieren, Entwerfen!" (PuK).

- [56] RIF - Rule Interchange Format Working Group (2008). Retrieved April 22, 2008, from [http://www.w3.org/2005/rules/wiki/RIF\\_Working\\_Group](http://www.w3.org/2005/rules/wiki/RIF_Working_Group)
- [57] RoboCup Official Site (2008), Retrieved April 22, 2008 from <http://www.robocup.org/>
- [58] R. Rosati (2006a). DL+log: Tight Integration of Description Logics and Disjunctive Datalog. In Patrick Doherty, John Mylopoulos, and Christopher A. Welty, editors, Proceedings of the 10th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR 2006), Lake District, UK (pp. 68-78). AAAI Press.
- [59] R. Rosati (2006b). Integrating Ontologies and Rules: Semantic and Computational Issues. In Pedro Barahona, François Bry, Enrico Franconi, Nicola Henze, and Ulrike Sattler, editors, Reasoning Web, Second International Summer School 2006, Lissabon, Portugal, September 4\_8, 2006, Tutorial Lectures, volume 4126 of Lecture Notes in Computer Science (LNCS), (pp. 128-151). Springer.
- [60] R. Rosati (2006c). DL+log: Tight Integration of Description Logics and Disjunctive Datalog. In Proceedings of the Tenth International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR 2006), pages 68–78. AAAI Press, 2006.
- [61] RuleML, Rule Markup Initiative (2008). Retrieved April 22, 2008, from <http://www.ruleml.org/>.
- [62] E. Sanchez (2006). *Fuzzy Logic and the Semantic Web*. Elsevier Science and Technology
- [63] E. Sirin, B. Parsia, B. C. Grau, A. Kalyanpur, and Y. Katz (2007). Pellet: A practical OWL-DL reasoner, *Journal of Web Semantics*, 5(2).
- [64] Soccer Ontology, (2002). Retrieved April 22, 2008, from <http://www.lgi2p.ema.fr/~ranwezs/ontologies/soccerV2.0.daml>
- [65] L. Song Hong (1998), "Robot Soccer System", *Proceeding of RoboCup Workshop*, November, 1998, pp. 50-54.
- [66] G. Stoilos, G. Stamou, V. Tzouvaras, J. Pan, and I. Horrocks (2005). 'Fuzzy OWL: Uncertainty and the semantic web'. Int. Workshop of OWL: Experiences and Directions, Galway, 2005.

- [67] B. W. Tranter (2005). The Ontology of a Football Team, Final Year Report in University of Leeds, Retrieved April 22, 2008, from <http://www.comp.leeds.ac.uk/fyproj/previous-titles/bsc2004.html> .
- [68] D. Tsarkov, and I. Horrocks (2006). FaCT++ Description Logic Reasoner: System Description. In Proc. of the International Joint Conference on Automated Reasoning (IJCAR 2006).
- [69] M. Veloso and P. Stone (1998). "Individual and Collaborative Behaviours in a Team of Homogeneous Robotic Soccer Agents", *Proceedings of International Conference on Multi-Agent Systems*, 1998, pp. 309-316.
- [70] W3C Semantic Web Activity (2008). Retrieved April 22, 2008, from <http://www.w3.org/2001/sw/>.
- [71] G. Wagner (2003). Web Rules Need Two Kinds of Negation. LNCS, Vol. 2901., Berlin Heidelberg New York (pp. 33-50). Springer- Verlag.