

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

Βασίλειος Ε. Παπαταξιάρχης<sup>1</sup>

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη, Ιλίσια, 15784, Αθήνα, Ελλάδα,  
[vrp@di.uoa.gr](mailto:vrp@di.uoa.gr)

**Περίληψη.** Η παρούσα εργασία αξιολογεί ποιοτικά και πειραματικά τις υπάρχουσες τεχνολογίες αναπαράστασης γνώσης και συμπερασμού στα πλαίσια ανάπτυξης ενός συστήματος βασισμένου σε γνώση με καθορισμένες απαιτήσεις. Συγκεκριμένα, προτείνεται ένα επεκτάσιμο σύστημα βασισμένο σε τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού (Semantic Web) που επιτρέπει την ανάπτυξη υπηρεσιών αξιοποιήσιμων από έναν προπονητή ποδοσφαίρου.

**Λέξεις κλειδιά:** αναπαράσταση γνώσης, συλλογιστική, οντολογία, κανόνες

## 1 Εισαγωγή

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. Το βασικό σημείο διαμάχης των επιμέρους προσπαθειών αφορά το βαθμό στον οποίο θα ενοποιηθούν τα επίπεδα οντολογιών και κανόνων του Semantic Web Layer Cake.

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι διττός. Σε πρώτη φάση μελετούνται οι υπάρχουσες τεχνολογίες γνώσης για την ανάπτυξη συστημάτων βασισμένων σε γνώση. Η σύγκριση αυτή περιλαμβάνει τόσο την ποιοτική αξιολόγηση διαφόρων φορμαλισμών αναπαράστασης γνώσης (Ενότητα 2) όσο και την πειραματική αξιολόγηση των αντίστοιχων εργαλείων συμπερασμού (Ενότητα 3). Παράλληλα, σε αυτή την εργασία προτείνεται ένα επεκτάσιμο σύστημα βασισμένο σε τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού (Semantic Web) που επιτρέπει την ανάπτυξη υπηρεσιών

<sup>1</sup> Επιβλέποντες: Καράλη Ιζαμπά, Σταματόπουλος Παναγιώτης

αξιοποιήσιμων από έναν προπονητή ποδοσφαίρου (Ενότητα 4). Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση του συστήματος βασίζονται στα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη διαδικασία αξιολόγησης των διαφόρων γλωσσών και εργαλείων. Η λειτουργικότητα και οι επιδόσεις του συστήματος δοκιμάστηκαν μέσω προσομοίωσης (Ενότητα 5).

## 2 Μεθοδολογίες Αναπαράστασης Γνώσης

Η ενότητα αυτή περιγράφει συνοπτικά τους υπάρχοντες φορμαλισμούς αναπαράστασης γνώσης και πραγματοποιεί μία συγκριτική μελέτη των χαρακτηριστικών τους.

**Περιγραφικές Λογικές.** Με τον όρο Περιγραφικές Λογικές (Description Logics - DL) [1] αναφερόμαστε σε μια δομημένη μέθοδο αναπαράστασης γνώσης, με τη βοήθεια της οποίας μπορούμε να αναπαραστήσουμε έννοιες και συσχετίσεις ενός πεδίου εφαρμογής με φορμαλιστικό τρόπο που επιτρέπει εξαγωγή συμπερασμάτων μέσω συλλογιστικής. Οι Περιγραφικές Λογικές αποτελούν υποσύνολα της λογικής πρώτης τάξης και είναι εφοδιασμένες με τυπικά ορισμένη σημασιολογία, η οποία είναι προσανατολισμένη στις διαδικασίες συμπερασμού (π.χ., έλεγχος συνέπειας, ικανοποιησιμότητας και στιγμιότυπων). Τα βασικά στοιχεία που απαρτίζουν μια τέτοια γλώσσα είναι οι έννοιες, οι ρόλοι και τα χαρακτηριστικά (TBox), καθώς και τα στιγμιότυπά τους (ABox).

**Προγράμματα Περιγραφικών Λογικών.** Τα Προγράμματα Περιγραφικών Λογικών (Description Logic Programs - DLP) [4] 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.

**Προγραμματισμός Συνόλου Απαντήσεων.** Ο Προγραμματισμός Συνόλου Απαντήσεων (Answer Set Programming - ASP) [3] αποτελεί μία πλήρως δηλωτική μορφή αναπαράστασης γνώσης, καθώς η σειρά εκτέλεσης των κανόνων ενός προγράμματος δεν έχει ποιοτική σημασία. Επίσης, τα προγράμματα συνόλου απαντήσεων είναι εν γένει αποφασίσιμα. Παράλληλα, η γλώσσα προσφέρει τη δυνατότητα έκφρασης και ισχυρής άρνησης (strong negation) και ασθενούς (negation-as-failure). Ένα ASP πρόγραμμα μπορεί να έχει περισσότερα του ενός σύνολα απαντήσεων (answer sets), τα οποία αποτελούν μοντέλα του προγράμματος.

**Αναιρέσιμη Λογική.** Η αναιρέσιμη λογική (defeasible logic) 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. Η βασική ιδέα των συστημάτων αυτών ήταν η δυνατότητα χειρισμού επιπρόσθετων χαρακτηριστικών όπως η επιβολή προτεραιότητας στην εκτέλεση κανόνων, η κληρονομικότητα και οι εξαιρέσεις.

### Ποιοτική Σύγκριση Κλασσικής Λογικής και Λογικού Προγραμματισμού

Σε αυτή την ενότητα προσπαθούμε να συγκεντρώσουμε τις βασικότερες διαφορές

που δυσχεραίνουν το συνδυασμό των προσεγγίσεων της Κλασικής Λογικής και του Λογικού Προγραμματισμού κάτω από ένα κοινό πλαίσιο αναπαράστασης γνώσης.

**Μονοτονία.** Η Κλασική Λογική είναι βασισμένη στο συνολοθεωρητικό μοντέλο σημασιολογίας, με αποτέλεσμα να υπακούει στη μονοτονία των βάσεων γνώσης που προκύπτουν από τη διαδικασία συμπερασμού. Με τον όρο «μονοτονία» εννοούμε πως η προσθήκη οποιασδήποτε νέας πληροφορίας σε μία υπάρχουσα βάση γνώσης δεν μπορεί να ακυρώσει τη γνώση που έχει ήδη εξαχθεί από τη συγκεκριμένη βάση. Αντίθετα με την Κλασική Λογική, ο Λογικός Προγραμματισμός 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. Αντίθετα, στην Κλασική Λογική δεν υπάρχει πλήρης αντιστοιχία μεταξύ των ονομάτων και των αντικειμένων του κόσμου.

**Άρνηση.** Βασισμένη στη μονοτονικότητα της φύσης, η άρνηση της Κλασικής Λογικής επιτρέπει το συμπερασμό γνώσης μόνο στις περιπτώσεις που η αλήθεια ή το ψεύδος μίας λογικής πρότασης είναι δηλωμένα 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 λογικός αληθής. Έτσι, η απουσία γνώσης οδηγεί σε νέα γνώση, με αποτέλεσμα η προσθήκη γνώσης να είναι πιθανό να μειώσει τα συμπεράσματα που προκύπτουν.

**Άλλες Διαφορές.** 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. Επίσης, ο Λογικός Προγραμματισμός αδυνατεί να εξάγει συμπεράσματα που δεν αφορούν γεγονότα ή στιγμιότυπα της βάσης γνώσης (π.χ., ιεραρχία κλάσεων). Παράλληλα, υπάρχουν διαφορές σε ότι αφορά την αποφασιστικότητα των διαδικασιών συμπερασμού. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως οι δύο προσεγγίσεις χειρίζονται και αντιμετωπίζουν με διαφορετικό τρόπο τους τύπους δεδομένων (π.χ., ακεραίους).

### 3 Εργαλεία Συμπερασμού

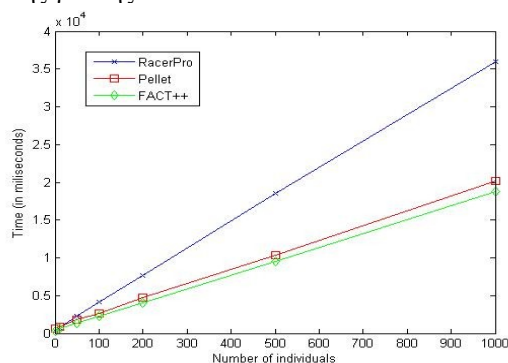
Για την εξαγωγή συμπερασμάτων σε εφαρμογές Τεχνητής Νοημοσύνης, και πιο συγκεκριμένα στον Σημασιολογικό Ιστό, υπάρχουν δύο βασικοί τύποι εργαλείων: οι μηχανές συμπερασμού και οι μηχανές κανόνων. Η διαφοροποίησή τους έγκειται στους φορμαλισμούς αναπαράστασης γνώσης που μπορούν να χειριστούν, στον τρόπο λειτουργίας τους, καθώς και στο είδος των νέων συμπερασμάτων που μπορούν να παράγουν. Μια *μηχανή κανόνων* (rule engine), εν γένει, διαχειρίζεται μια βάση γνώσης, η οποία περιέχει τόσο το μοντέλο του κόσμου που μας ενδιαφέρει όσο και

τους κανόνες με βάση τους οποίους γίνεται η συλλογιστική (reasoning). Παραδείγματα τέτοιων εργαλείων είναι οι μηχανές Jess, Bossam, dlhex και DR-Device. Αντίθετα, οι *μηχανές συμπερασμού* (reasoners) προορίζονται για το χειρισμό γνώσης εκφρασμένης με τη μορφή Περιγραφικών Λογικών (π.χ. γλώσσα OWL). Οι πλέον δημοφιλείς μηχανές συμπερασμού είναι οι RacerPro, Fact++, Pellet και Jena2.

### Πειραματική Αξιολόγηση Εργαλείων Συμπερασμού

Αυτή η ενότητα αποσκοπεί στην αξιολόγηση δημοφιλών μηχανών συμπερασμού δεδομένου του συνολικού χρόνου που απαιτούν για την εκτέλεση κάποιων βασικών μορφών συμπερασμού (ABox, TBox και εκτέλεση κανόνων). Στα πλαίσια της πειραματικής αξιολόγησης χρησιμοποιήθηκαν οι τελευταίες σταθερές εκδόσεις των εργαλείων που ήταν διαθέσιμες. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε μία απλοποιημένη έκδοση της Οντολογίας Παικτών Ποδοσφαίρου 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 1 αναπαριστά τις επιδόσεις τριών δημοφιλών μηχανών συμπερασμού Περιγραφικών Λογικών κατά τον έλεγχο συνέπειας της βάσης γνώσης. Παρόμοια αποτελέσματα εξήχθησαν και από τις μετρήσεις που έγιναν κατά την εκτέλεση της διαδικασίας κατηγοριοποίησης. Οι μετρήσεις που παρουσιάζονται 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.

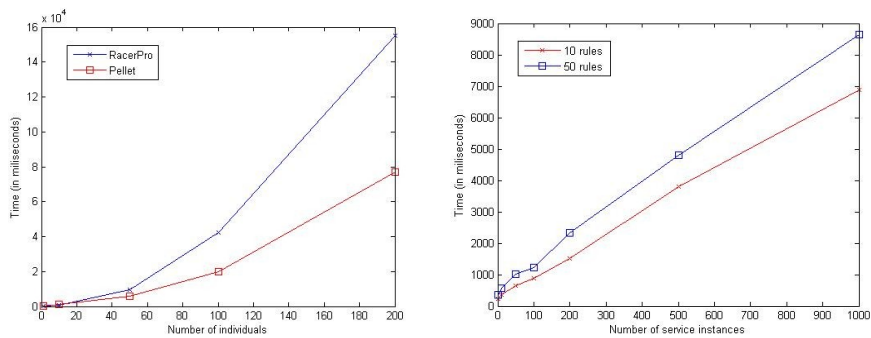


Εικ. 1. Πειραματική αξιολόγηση του ελέγχου συνέπειας (TBox consistency check)

Η Εικόνα 2α 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.

Τέλος, η Εικόνα 2β 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 (50 και 100 κανόνες αντίστοιχα) πάνω σε οντολογίες που περιείχαν διαφορετικό πλήθος στιγμιότυπων. Και στις δύο περιπτώσεις, οι χρόνοι εκτέλεσης αυξάνονταν αναλογικά με 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.



Εικ. 2. α) Πειραματική αξιολόγηση της σε επίπεδο ABox (υπολογισμός κλάσεων των στιγμιότυπων), β) Πειραματική αξιολόγηση της μηχανής Jess κατά την εκτέλεση SWRL κανόνων

#### 4 i-footman: Ένας Έξυπνος Βοηθός Προπονητή Ποδοσφαίρου

Η βασική λειτουργικότητα του προτεινόμενου 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. Κύριος στόχος του συστήματος είναι η δυνατότητα επεκτασιμότητας του συστήματος. Αυτό προϋποθέτει την υιοθέτηση κατάλληλων τεχνολογιών που επιτρέπουν την εύκολη επέκταση στο επίπεδο των υπηρεσιών που αυτό προσφέρει. Σε αυτή την ενότητα περιγράφουμε τη βασική λειτουργικότητα του συστήματος που αναπτύχθηκε, ενώ στην Εικόνα 3 εμφανίζεται η γενική αρχιτεκτονική του.



Εικ. 3. Η γενική αρχιτεκτονική του συστήματος i-footman

### Οντολογία Παικτών Ποδοσφαίρου

Η Οντολογία Παικτών Ποδοσφαίρου (Football Player Ontology – FPO) που αναπτύχθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας είναι η πρώτη οντολογία περιγραφής παικτών ποδοσφαίρου που δίνει έμφαση στα χαρακτηριστικά των παικτών που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο κατά τη διαδικασία επιλογής τους από τον προπονητή της ομάδας. Συγκεκριμένα, η οντολογία αναπτύχθηκε σε γλώσσα OWL [2] και 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. Για παράδειγμα, η κλάση του δημιουργικού μέσου ορίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} \text{fpo:CreativeMiddlefielder} &\equiv (\text{fpo:hasPassing.GoodAbility} \sqcup \\ &\text{fpo:hasPassing.VeryGoodAbility}) \sqcap \text{fpo:playsInPosition.Middlefielder} \end{aligned} \quad (1)$$

Στην Εικόνα 4 δίνεται η ιεραρχία των βασικών κλάσεων της FPO.

### Οντολογία Ομάδων Ποδοσφαίρου

Ένα κύριο τμήμα της βάσης γνώσης που διαχειρίζεται το σύστημα 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 πρέπει να ακολουθήσουν. Το λεξιλόγιο αυτό είναι εκφρασμένο σε γλώσσα OWL και είναι συνδεδεμένο με την Οντολογία Παικτών Ποδοσφαίρου, καθώς χρησιμοποιεί έννοιες και συσχετίσεις της FPO, την οποία επεκτείνει.

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.



Εικ. 4. Η ιεραρχία των βασικών κλάσεων της Οντολογίας Παικτών Ποδοσφαίρου

### Κανόνες Επιλογής

Οι κανόνες αυτοί είναι εκφρασμένοι σε γλώσσα SWRL [5] και κάνουν χρήση του λεξιλογίου (έννοιες και συσχετίσεις) που παρέχεται από τις οντολογίες με βασικό σκοπό να ορίσουν πολύπλοκες συσχετίσεις που αφορούν το πεδίο του ποδοσφαίρου. Πιο συγκεκριμένα, οι κανόνες αυτοί μπορούν να χωριστούν σε 4 κατηγορίες:

**Κανόνες αναγνώρισης δυνατοτήτων και αδυναμιών του αντιπάλου.** 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, για παράδειγμα,

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.

**Κανόνες επιλογής τακτικού 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.

**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.

**Κανόνες επιλογής οδηγιών.** Οι κανόνες επιλογής των οδηγιών που θα δοθούν στην ομάδα που καθοδηγείται από το i-footman 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.

Ένα παράδειγμα κανόνα είναι το ακόλουθο:

$$\begin{aligned} & \text{fto:hasStartingPlayer} (?t1,?p1) \wedge \text{fto:hasStartingPlayer} (?t1,?p2) \wedge \\ & \text{fpo:QuickOffensivePlayer} (?t1,?p1) \wedge \text{fpo:QuickOffensivePlayer} (?t1,?p2) \rightarrow \quad (2) \\ & \text{fto:dangerousAtCounterAttack} (?t1,true). \end{aligned}$$

Ο παραπάνω είναι ένας κανόνας αναγνώρισης δυνατοτήτων του αντιπάλου και δηλώνει πως μία ομάδα είναι επικίνδυνη στις αντεπιθέσεις αν έχει τουλάχιστον δύο παίκτες στη σύνθεσή της οι οποίοι είναι επιθετικογενείς και ταυτόχρονα αρκετά γρήγοροι.

## 5 Πειραματική Αξιολόγηση του Συστήματος

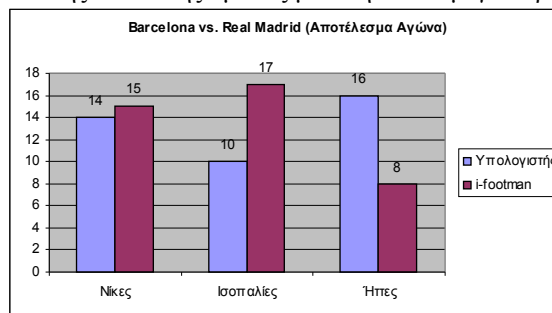
Για την αξιολόγηση του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν δύο σενάρια προσομοίωσης με χρήση δύο ηλεκτρονικών παιχνιδιών ποδοσφαίρου που ενδείκνυνται για τον καθορισμό τακτικής και οδηγιών σε ποδοσφαιρικές ομάδες: το Championship Manager 2008 (Eidos) και το Football Manager 2008 (Sports Interactive). Στα συγκεκριμένα παιχνίδια ο υπολογιστής προσομοιώνει τον ποδοσφαιρικό αγώνα, ακολουθώντας τις οδηγίες που έχουν δοθεί, και παράγει το αποτέλεσμα του αγώνα. Αξίζει να σημειωθεί πως για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης έπρεπε να προηγηθεί η διαδικασία ενσωμάτωσης των χαρακτηριστικών των παικτών και των ομάδων στο σύστημα i-footman.

Το πρώτο σενάριο που επιλέχθηκε αφορούσε την επιλογή δύο 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 συγκρίθηκαν.

Τα αποτελέσματα του πρώτου σεναρίου που πραγματοποιήθηκε παρουσιάζονται στην Εικόνα 5. 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. 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. Παράλληλα, εμφανής ήταν η διαφορά 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). Οστόσο, τα τέρματα της αντίπαλης ομάδας μειώθηκαν σε μεγάλο βαθμό (61 σε 36).



Εικ. 5. Συγκριτικά αποτελέσματα αγώνων σεναρίου 1

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. Τα αποτελέσματα και του δεύτερου σεναρίου ήταν παρόμοια.

Συνολικά, τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη φάση της ποιοτικής αξιολόγησης του συστήματος κρίνονται θετικά. 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.

Τέλος, σε ότι αφορά τις επιδόσεις της εφαρμογής, ο μέσος χρόνος απόκρισης του συστήματος ανήλθε στα 7740ms, τιμή αρκετά ικανοποιητική. Στο συγκεκριμένο χρόνο περιλαμβάνεται η κατηγοριοποίηση και ο έλεγχος στιγμιότυπων για τις δύο οντολογίες, καθώς και η εκτέλεση των κανόνων.

## 6 Συμπεράσματα

Στην παρούσα 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. Ωστόσο, διαπιστώθηκαν αρκετά ανοικτά θέματα που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης στο μέλλον. Αρχικά, η ανάπτυξη ενός ενιαίου πλαισίου για τη διαχείριση και το συμπερασμό γνώσης από το συνδυασμό οντολογιών και κανόνων κρίνεται απαραίτητη. Παράλληλα, ένα παγκόσμιο πρότυπο για τη δημιουργία κανόνων στο Διαδίκτυο θα συνέβαλλε καθοριστικά στο συνδυασμό των κανόνων με άλλες μορφές αναπαράστασης γνώσης, όπως οι οντολογίες. Τέλος, η ανάπτυξη περισσότερο αποδοτικών αλγορίθμων για τη συλλογιστική σε ABox/TBox, φαίνεται αναγκαία.

## Αναφορές

1. Baader, F., Calvanese, D., McGuinness, D., Nardi, D., Patel-Schneider, P.F.: *The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press (2003)
2. Dean, M., Schreiber, G., Bechhofer, S., van Harmelen, F., Hendler, J., Horrocks, I., McGuinness, D.L., Patel-Schneider, P.F., Stein, L.A.: *OWL Web Ontology Language Reference*. W3C Recommendation 10 February 2004. Retrieved April 22, 2008, from <http://www.w3.org/TR/owl-ref/> (2004)
3. Gelfond, M., Lifschitz, V.: Classical negation in logic programs and disjunctive databases. *New Generation Computing*, 9(3\_4), 365-386 (1991)
4. Grosz, B., Horrocks, I., Volz, R., Decker, S.: 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 (2003)
5. Horrocks, I., Patel-Schneider, P., Harold, B., Tabet, S., Grosz, B., Dean, M.: *SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML*. World Wide Web Consortium Member Submission, <http://www.w3.org/Submission/SWRL/> (2004)