



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ «ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ σε
ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ και την ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ»

**Σύστημα υποστήριξης κατασκευής ερωτημάτων με
χρήση οντολογίας.**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΙΑΖΙΤΖΟΓΛΟΥ ΜΙΧΑΗΛ

Επιβλέπων : Στάμου Γεώργιος
Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, 12 Μαρτίου 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ «ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ σε
ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ και την ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ»

Σύστημα υποστήριξης κατασκευής ερωτημάτων με χρήση οντολογίας.

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΙΑΖΙΤΖΟΓΛΟΥ ΜΙΧΑΗΛ

Επιβλέπων : Στάμου Γεώργιος
Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 16^η Μαρτίου 2015.

.....
Στάμου Γεώργιος
Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Κόλλιας Στέφανος
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Σταφυλοπάτης Ανδρέας-
Γεώργιος
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, 12 Μαρτίου 2015

Περίληψη

Η εργασία αυτή παρουσιάζει μια πρώτη έκδοση ενός συστήματος, που συνδυάζει ένα γραφικό περιβάλλον υποστήριξης ανάπτυξης ερωτημάτων με χρήση μιας οντολογίας, τα οποία στη συνέχεια μπορούν να απαντηθούν από συμβατικές μηχανές αναζήτησης. Η τεχνική βασίζεται στην επαναγραφή ενός ερωτήματος με βάση την οντολογία και τη μετατροπή των παραγομένων επερωτημάτων σε αναζητήσεις με λέξεις κλειδιά. Το γραφικό περιβάλλον υποστήριξης περιλαμβάνει ένα βασικό σύστημα πλοήγησης στα στοιχεία μιας οντολογίας και μια σειριακή λίστα επεξεργασίας συζευκτικών ερωτημάτων με εύληπτο τρόπο. Το σύστημα προορίζεται για να αποτελέσει το εναρκτήριο σημείο μιας ευρύτερης εφαρμογής που συγκεντρώνει τα συνολικά αποτελέσματα των αναζητήσεων για την εξαγωγή στατιστικών συμπερασμάτων και δεδομένων.

Abstract

This thesis presents a first version of an application that incorporates a visual query support interface with an underlying ontology, which can then submit the constructed queries to a traditional web search engine. This is achieved by rewriting the queries with respect to the ontology and then converts the rewritings to sets of keywords. The visual interface includes a basic navigation system for the entities of an ontology and a simple but intuitive sortable list for creating conjunctive queries. The system is the starting point for a more sophisticated application that aggregates search results for the extraction of statistical results and data.

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντά μου κ. Στάμου Γεώργιο για την καθοδήγηση και την υποστήριξη που μου έδωσε σε όλη τη διάρκεια της εργασίας μου. Επίσης, θέλω να δώσω μεγάλα ευχαριστώ στον Αλέξανδρο Χορταρά και την Δέσποινα Τριβελά που ήταν πάντα πρόθυμοι να απαντήσουν οποιαδήποτε ερώτησή μου και βοήθησαν τόσο πολύ. Ακόμη, ευχαριστώ τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής κ. Κόλλια Στέφανο και κ. Σταφυλοπάτη Ανδρέα-Γεώργιο.

Περιεχόμενα

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Εισαγωγή | 2 |
| 2 | Θεωρία | 4 |
| 2.1 | Σημαιολογικός Ιστός | 4 |
| 2.2 | Οντολογίες | 5 |
| 2.3 | Γλώσσες Περιγραφικής Λογικής | 6 |
| 2.3.1 | Ονοματολογία περιγραφικών λογικών | 8 |
| 2.3.2 | Ερμηνείες και μοντέλα | 9 |
| 2.4 | Αλγόριθμοι Συλλογιστικής | 11 |
| 2.5 | Web Ontology Language (OWL) | 12 |
| 2.5.1 | Προφίλ της OWL | 14 |
| 2.6 | Επαναγραφή ερωτημάτων | 15 |
| 2.6.1 | Συλλογιστική και ερμηνείες στα προφίλ της OWL | 16 |
| 2.6.2 | Επαναγραφή ερωτημάτων | 17 |
| 3 | Συστήματα οπτικής επεξεργασίας ερωτημάτων και σημασιολογικής αναζήτησης | 19 |
| 3.1 | Προσεγγίσεις για τη σημασιολογική αναζήτηση | 19 |
| 3.2 | Συστήματα οπτικής κατασκευής ερωτημάτων | 20 |
| 3.3 | Το σύστημα Serene | 20 |
| 3.3.1 | Αρχιτεκτονική | 21 |
| 3.4 | Το σύστημα OptiqueVQS | 23 |
| 3.5 | Το σύστημα SemFacet | 24 |
| 4 | Παρουσίαση Εφαρμογής | 27 |
| 4.1 | Χρήση | 27 |
| 4.2 | Λογισμικό | 32 |
| 4.2.1 | Το OWL API | 33 |
| 4.2.2 | Ο συλλογιστής Hermit | 33 |
| 4.2.3 | Το σύστημα Rapid | 34 |
| 4.3 | Ανάλυση επιμέρους τμημάτων | 35 |
| 4.3.1 | Έναρξη της εφαρμογής | 35 |
| 4.3.2 | Εύρεση σχέσεων υπαγωγής | 35 |
| 4.3.3 | Κατασκευή ερωτημάτων | 36 |
| 4.3.4 | Επαναγραφή ερωτημάτων και μετατροπή σε αναζήτηση ιστού | 36 |
| 5 | Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις | 37 |
| 5.1 | Βελτιώσεις | 37 |
| 5.2 | Επεκτάσεις | 37 |
| 5.3 | Συμπεράσματα | 38 |

1 Εισαγωγή

Η εργασία αυτή παρουσιάζει μια πρώτη έκδοση ενός συστήματος, που συνδυάζει ένα γραφικό περιβάλλον υποστήριξης ανάπτυξης ερωτημάτων με χρήση μιας οντολογίας, τα οποία στη συνέχεια μπορούν να απαντηθούν από συμβατικές μηχανές αναζήτησης. Η τεχνική βασίζεται στην επαναγραφή ενός ερωτήματος με βάση την οντολογία και τη μετατροπή των παραγομένων επερωτημάτων σε αναζητήσεις με λέξεις κλειδιά. Το γραφικό περιβάλλον υποστήριξης περιλαμβάνει ένα βασικό σύστημα πλοήγησης στα στοιχεία μιας οντολογίας και μια σειριακή λίστα επεξεργασίας ερωτήματος με εύληπτο τρόπο. Το σύστημα προορίζεται για να αποτελέσει το εναρκτήριο σημείο μιας ευρύτερης εφαρμογής που συγκεντρώνει τα συνολικά αποτελέσματα των αναζητήσεων για την εξαγωγή στατιστικών συμπερασμάτων και δεδομένων.

Η άμεση χρηστικότητα αυτού του συστήματος είναι για τον μέσο χρήστη που δεν είναι οικείος με το λεξιλόγιο του αντικείμενου στο οποίο αναζητά και ούτε με την διατύπωση ερωτημάτων σε γλώσσες ερωτημάτων (πχ SPARQL). Υποστηρίζουμε ότι η αδυναμία διατύπωσης ερωτημάτων δεν οφείλεται μονάχα στην δυσκολία να μάθει κανείς τη γλώσσα, αλλά και στην θεμελιώδη αδυναμία να μπει κανείς στη λογική της διατύπωσης των ερωτημάτων, ανεξαρτήτως γλώσσας. Πολλές φορές ακόμη και όταν κάποιος ψάχνει κάτι διατυπώνοντας την αναζήτησή του στη φυσική γλώσσα, αδυνατεί να διατυπώσει ορθά το ερώτημά του. Για παράδειγμα, σκεφτείτε κάποιον που θέλει να αναζητήσει προϊόντα σε έναν κατάλογο χωρίς πρώτα να τον έχει ξεφυλλίσει. Γνωρίζει προφανώς τα ονόματα των κοινών προϊόντων ενός καταλόγου και γνωρίζει και τη φυσική γλώσσα. Διαισθητικά, στην καλύτερη περίπτωση, η αναζήτηση θα καταλήξει σε ένα παιχνίδι όπως αυτό των 20 ερωτήσεων, δηλαδή σε μια δενδρική αναζήτηση, μια αναζήτηση περιορισμένης εκφραστικότητας. Όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, πολλά συστήματα που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικά μαγαζιά υλοποιούν μια αναζήτηση με όψεις (facets) στον κατάλογο των προϊόντων τους. Τα ερωτήματα που παράγονται από διεπαφές όψεων αποδεικνύεται πως έχουν πάντα τη μορφή δένδρων.

Επομένως οι περιορισμοί στην εκφραστικότητα των ερωτημάτων δεν είναι πάντα ανεπιθύμητοι. Μπορεί να φαίνονται σαν μειονεκτήματα, αλλά στην πραγματικότητα για έναν απλό χρήστη, η περίσσεια δυνατοτήτων δεν προσφέρει κάποιο πλεονέκτημα αφού δεν μπορεί να τις χρησιμοποιήσει. Σε ορισμένες περιπτώσεις συστημάτων οπτικής κατασκευής ερωτημάτων που επιτρέπουν την κατασκευή ερωτημάτων με πολύπλοκους γράφους, στις οποίες το γραφικό περιβάλλον του συστήματος δεν "κρύβει" σωστά τις επιλογές για πολύπλοκες ενέργειες, οι χρήστες μπορεί να αποφεύγουν την αλληλεπίδραση με το σύστημα. Δεδομένου του πόσο διαισθητική και απλή φαίνεται η αναζήτηση με όψεις, κάνουμε την παραδοχή ότι ο μέσος χρήστης θα προτιμήσει να θυσιάσει την εκφραστικότητα (που συνήθως δεν μπορεί να εκμεταλλευτεί ούτως η άλλως όταν του παρέχεται η δυνατότητα), για χάρη της ευκολίας και της ταχύτητας.

Στο σύστημα που παρουσιάζουμε δανειζόμαστε μερικά στοιχεία από την αναζήτηση με όψεις για να διευκολύνουμε την περιήγηση σε μία οντολογία. Μία πρόκληση είναι να δούμε κατά πόσο αυτό είναι δυνατόν χωρίς μια συλλογή στοιχείων που να είναι ανασημασμένα με βάση την οντολογία, δηλαδή χωρίς ένα ABox. Άλλη μια πρόκληση είναι το σύστημα να μπορεί να χρησιμο-

ποηθεί διαισθητικά από χρήστες που δεν έχουν μεγάλη οικειότητα με γλώσσες επερωτημάτων. Τέλος, επιθυμούμε και την άμεση χρηστικότητα μέσω της υποβοήθησης σε αναζητήσεις στον παγκόσμιο ιστό. Καταλήγουμε σε ένα συνδυασμό στοιχείων αναζήτησης με όψεις, μιας λίστας επεξεργασίας σειριακών συζευκτικών ερωτημάτων και την υιοθέτηση της τεχνικής της επαναγραφής των.

Η δομή αυτής της εργασίας έχει ως εξής. Στο κεφάλαιο της θεωρίας παρουσιάζονται συνοπτικά μερικές έννοιες που είναι απαραίτητες για την βαθιά κατανόηση των υποσυστημάτων της εφαρμογής. Αναφερόμαστε στις τεχνολογίες του σημασιολογικού ιστού, οντολογίες, περιγραφικές λογικές και διατυπώνουμε αναλυτικά τις διαδικασίες απάντησης ερωτημάτων με έμφαση σε αυτή της επαναγραφής.

Στο κεφάλαιο των συστημάτων οπτικής επεξεργασίας ερωτημάτων και σημασιολογικής αναζήτησης κάνουμε μια περιγραφή του τι αφορούν αυτά τα συστήματα και παρουσιάζουμε μερικά που είχαν την μεγαλύτερη συνάφεια με την εργασία μας.

Στο κεφάλαιο της παρουσίασης της εφαρμογής δίνουμε μια λεπτομερή περιγραφή της χρήσης του συστήματος με εικόνες βήμα προς βήμα. Ακόμη περιγράφουμε τα επιμέρους τμήματα με λεπτομέρειες για το λογισμικό και τις τεχνικές που χρησιμοποιούμε.

Τέλος αναφέρουμε μερικές βελτιώσεις που έχουμε υπόψιν και κάποιες σημαντικές επεκτάσεις ώστε να δείξουμε ότι στο μέλλον η εφαρμογή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διαφορετικούς σκοπούς από αυτούς για τους οποίους προορίζεται αυτή τη στιγμή.

2 Θεωρία

2.1 Σημασιολογικός Ιστός

Ο παγκόσμιος ιστός όπως τον έχουμε συνηθίσει είναι μια τεράστια συλλογή εγγράφων με δεσμούς που οδηγούν από το ένα στο άλλο. Η δομή μεταξύ των δεδομένων του ιστού είναι πολύ χαμηλή και αυτό οφείλεται στο ότι έχει δημιουργηθεί για προσπέλαση από ανθρώπους. Όταν οι άνθρωποι θέλουν να αναζητήσουν έγγραφα στον ιστό, τότε οι μηχανές αναζήτησης αντιμετωπίζουν προβλήματα που ξεκινούν από την απλοϊκή δομή που έχει ο ιστός. Μια λύση λοιπόν είναι η υποδομή του παγκόσμιου ιστού να αλλάξει και αυτός να μετατραπεί από ιστός εγγράφων σε ιστό δεδομένων (web of data). Η ιδέα εδώ είναι ότι οι δεσμοί μεταξύ εγγράφων θα γίνουν δεσμοί μεταξύ των εννοιών που περιέχονται στα έγγραφα. Για να διευκολυνθεί αυτή η μετάβαση, έχουν καθιερωθεί κάποια πρότυπα για το πώς πρέπει να γίνει αυτή η ανασήμανση των εγγράφων με σημασιολογικά δεδομένα (semantic data). Αναφερόμαστε στα κύρια από αυτά.

Ξεκινάμε από το πλαίσιο αναπαράστασης πληροφοριών RDF (resource description framework). Πρόκειται για ένα μοντέλο δεδομένων για την περιγραφή εννοιών και σχέσεων μεταξύ εννοιών. Αποτελείται από ισχυρισμούς για έννοιες, δηλαδή πηγές του ιστού, με τη μορφή υποκειμένο, κατηγορημα, αντικείμενο που επίσης ονομάζονται τριάδες (triples). Οι έννοιες που μπαίνουν στις τριάδες των ισχυρισμών RDF υπόκεινται και αυτές σε μια βασική προτυποποίηση. Όπως η κάθε σελίδα στον ιστό έχει ένα προσδιορισμένο και μοναδικό URI, έτσι και τα δεδομένα του σημασιολογικού ιστού είναι προσδιορισμένα με ένα IRI (International Resource Identifier), που είναι μια επέκταση και βελτίωση των URI των σελίδων. Υπάρχουν αρκετά λεξιλόγια με IRI, μερικά από τα πιο γνωστά είναι τα RDF Schema, Dublin Core (βιβλία, μουσική, ταινίες κτλ), SKOS (θησαυροί, ταξινομίες, άλλες κατηγοριοποιήσεις), schema.org, FOAF (friend of a friend, άνθρωποι και ανθρώπινες σχέσεις). Η ανασήμανση των ιστοσελίδων με δεδομένα RDF γίνεται με τις διάφορες σειριοποιήσεις που υπάρχουν όπως η turtle, η N-triples και η RDF/XML.

Τα δεδομένα σε μορφή RDF μπορούν να αποθηκεύονται χρησιμοποιώντας σχεσιακές βάσεις δεδομένων, αν και αυτό πλέον εγκαταλείπεται και όλες οι μεγάλες βάσεις δεδομένων RDF (triplestores) είναι εξειδικευμένα προγράμματα για την αποθήκευση τριάδων. Σε αυτά τα δεδομένα έχουμε πρόσβαση μέσω της απάντησης σε ερωτήματα, που διατυπώνονται στη γλώσσα SPARQL κατά αντιστοιχία με την SQL για τις βάσεις δεδομένων. Η σημασιολογική ολοκλήρωση των δεδομένων γίνεται με χρήση οντολογιών στη γλώσσα OWL που θα παρουσιάσουμε αργότερα. Η ιδέα είναι ότι εκτός από δηλώσεις για σχέσεις μεταξύ δεδομένων, έχουμε και σχέσεις που περιγράφουν τη γνώση που αφορά αυτά δεδομένα.

Η ανασήμανση ιστοσελίδων με σημασιολογικές πληροφορίες γίνεται με τις αρχές των Linked Data, που ενθαρρύνουν τη χρήση IRI με τη μορφή HTTP για την αναπαράσταση εννοιών στη σελίδα, την παροχή δεδομένων RDF για αυτές τις σελίδες των IRI και τη διασύνδεση αυτών των RDF με άλλα ώστε οι χρήστες να μπορούν να μεταφερθούν σε νέα δεδομένα. Τελικά με τα Linked Data έχουν δημιουργηθεί διάφορες βάσεις δεδομένων όπως η DBpedia ή το Freebase, που περιέχουν περιγραφές για εκατομμύρια θέματα.

Όσο πολλά υποσχόμενος και αν φαίνεται ο σημασιολογικός ιστός όμως, δεν έχει καταφέρει να αλλάξει το διαδίκτυο όπως το ξέρουμε. Τουλάχιστον όχι ακόμη.

Σιγά σιγά οι μηχανές αναζήτησης χρησιμοποιούν τις ανασημάνσεις για την κατάταξη των αποτελεσμάτων τους. Όμως πολλές υποσχέσεις δεν έχουν πραγματοποιηθεί ακόμη. Στη συνέχεια του κεφαλαίου εξετάζουμε με λεπτομέρεια ένα κομμάτι των τεχνολογιών του σημασιολογικού ιστού που ακόμη αναπτύσσεται. Στην εργασία αυτή, πέρα από την εφαρμογή καθεαυτή, ελπίζουμε ότι θα μεταφέρουμε στον αναγνώστη και τη λογική της αναζήτησης στον σημασιολογικό ιστό που τελικά ίσως είναι αρκετά διαφορετική από τις κλασσικές μηχανές αναζήτησης. Η θέση μας είναι ότι εάν οι χρήστες γνώριζαν τις δυνατότητες που υπάρχουν για την αναζήτηση, η ανάπτυξη του σημασιολογικού ιστού θα ερχόταν γρηγορότερα, προς όφελος όλων.

2.2 Οντολογίες

Οντολογία είναι ένας όρος της φιλοσοφίας που αναφέρεται στη μελέτη της ύπαρξης. Στην επιστήμη των υπολογιστών οι οντολογίες κατασκευάζονται για να αναπαραστήσουν ένα μοντέλο του κόσμου όταν αυτός περιορίζεται σε ένα πεδίο ενδιαφέροντος (domain). Αυτό το πεδίο είναι ο κόσμος όπως τον αντιλαμβάνεται η εκάστοτε εφαρμογή που χρησιμοποιεί την οντολογία. Η αναπαράσταση αυτού του κόσμου γίνεται συλλέγοντας τις έννοιες που τον αποτελούν και τις μεταξύ τους σχέσεις.

Η χειρωνακτική (manual) κατασκευή μιας οντολογίας γίνεται συνήθως με τη συνεργασία ειδικών ενός τομέα και μηχανικούς υπολογιστών, όμως υπάρχει και ένας αναπτυσσόμενος κλάδος που ασχολείται με την αυτόματη ανάπτυξη οντολογιών από διάφορες πηγές (κυρίως σώματα κειμένου), αυτός της εκμάθησης οντολογιών (ontology learning). Οι οντολογίες χωρίζονται ανάλογα με το εύρος του πεδίου τους σε δύο κατηγορίες, τις (upper ontologies) και τις (domain ontologies). Οι πρώτες αποτελούν περιγραφές εξειδικευμένων πεδίων, όπως πχ βιοϊατρικές. Οι δεύτερες είναι προσπάθειες αναπαράστασης γενικότερων εννοιών, με απώτερο σκοπό να αποτελέσουν βάση για τις εξειδικευμένες.

Άλλη μια κατηγοριοποίηση έχει να κάνει με το εννοιολογικό τους επίπεδο και από τις μεθόδους που κωδικοποιούν τις οντολογίες. Ο [JFO3] χωρίζει τις οντολογίες στις πρωτότυπες (prototype-based ontologies), τις ορολογίες (terminological ontologies) και τις τυπικές (formal ontologies). Στις πρωτότυπες οι κατηγορίες είναι μονάχα συστάδες συναφών όρων, ενώ στις ορολογίες έχουμε και μια ταξινόμηση των κατηγοριών σε σχέσεις ισοδυναμίας και υπό και υπέρ-τύπους. Τα δύο αυτά είδη είναι περισσότερο γνωστά ως θησαυροί (thesaurus) και ταξινομίες (taxonomies) αντίστοιχα.

Οι τυπικές οντολογίες είναι οι πιο σύνθετες και στο υπόλοιπο κείμενο θα ασχοληθούμε μονάχα με αυτές. Η βιβλιογραφία, γενικά, αναφέρεται σε αυτές με τον όρο οντολογία και όμοια πράττουμε σε αυτό το κείμενο. Σε αυτές η αναπαράσταση γίνεται με αυστηρές περιγραφές (formal descriptions) ώστε να μην υπάρχουν παρερμηνείες στη γνώση που αναπαριστά. Στον κλάδο της αναπαράστασης γνώσης οι οντολογίες αποτελούνται από συλλογές αξιωμάτων και ορισμών στη γλώσσα της λογικής, ούτως ώστε να υποστηρίζουν την εξαγωγή συμπερασμάτων (inferencing) μέσω ειδικών αλγορίθμων συλλογιστικής (reasoners) που επεξεργάζονται τις πληροφορίες που περιέχονται σε αυτές. Το σχήμα που έχουν αυτές οι οντολογίες λοιπόν μπορεί να είναι γράφος. Για την περιγραφή οντολογιών που χρησιμοποιούνται στον σημασιολογικό ιστό και όχι μόνο, χρησιμοποιούνται οι γλώσσες περιγραφικής λογικής στις οποίες αναφερόμαστε στη συνέχεια.

Formal ontology

Axioms:

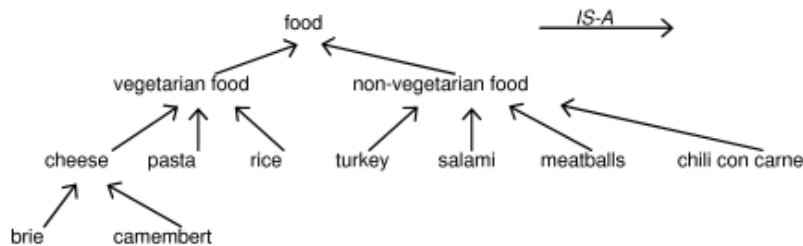
food(brie), food(camembert), food(turkey), food(meatballs), food(chili con carne), meat(turkey), meat(minced meat), part_of(minced meat, chili con carne), part_of(minced meat, meatballs)

veg_food(x) = { x | food(x) ∧ (¬part_of(y,x) ∧ meat(y)) ∧ ¬meat(x) }

non_veg_food(x) = { x | food(x) ∧ ((part_of(y,x) ∧ meat(y)) ∨ meat(x)) }

Possible to derive: "turkey" and "chili con carne" are non-vegetarian foods

Terminological ontology



Prototype-based ontology



Σχήμα 1: Στην εικόνα φαίνονται οι τρεις κατηγορίες οντολογιών.

2.3 Γλώσσες Περιγραφικής Λογικής

Οι γλώσσες περιγραφικής λογικής ή περιγραφικές λογικές (Description Logics – DL) [BCM⁺03] είναι μια οικογένεια γλωσσών τυπικής αναπαράστασης γνώσης που μελετώνται στις περιοχές της τεχνητής νοημοσύνης, του σημασιολογικού ιστού και της περιγραφής οντολογιών. Οι γλώσσες αυτές λειτουργούν με τις έννοιες (concepts) για να αναπαραστήσουν κλάσεις ατόμων (individuals), τους ρόλους (roles) για αναπαραστήσουν δυαδικές σχέσεις μεταξύ των ατόμων και τα ονόματα των ατόμων (individual names).

Κάθε γλώσσα περιγραφικής λογικής έχει ένα δικό της συντακτικό, δηλαδή ένα σύνολο λογικών κατασκευαστών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Χρησιμοποιώντας αυτούς τους κατασκευαστές μπορεί κανείς να γράψει αξιώματα (axioms), λογικές προτάσεις δηλαδή που περιγράφουν τις έννοιες. Το κάθε αξίωμα με τη σειρά του θα παράγει πιο σύνθετες έννοιες και ρόλους. Το σύνολο των αξιωμάτων αποτελεί μια βάση γνώσης (Knowledge Base) και είναι το σύνολο της αναπαριστώμενης γνώσης. Κάθε βάση γνώσης σε περιγραφικές λογικές είναι και μία οντολογία, επομένως τα αξιώματα μιας βάσης γνώσης μπορούν να

αναπαρασταθούν με ένα γράφο. Τα άτομα είναι τα δεδομένα που περιγράφονται από την βάση γνώσης.

Το συντακτικό των περιγραφικών λογικών παράγει αξιώματα που κατατάσσονται σε δύο ομάδες που συμβατικά ονομάζονται boxes (κουτιά). Το ABox περιέχει αξιώματα ισχυρισμών (assertional axioms) που αντιστοιχούν την οντολογική γνώση για ονοματισμένα άτομα και το TBox αξιώματα ορολογίας (terminological axioms) για τις σχέσεις ανάμεσα σε έννοιες και ρόλους. Ορισμένες φορές στη βιβλιογραφία το TBox αναφέρεται μόνο σε σχέσεις μεταξύ εννοιών και χρησιμοποιείται επιπλέον το RBox, που περιγράφει τις σχέσεις ανάμεσα σε ρόλους.

Στο ABox περιγράφονται οι έννοιες στις οποίες ανήκουν τα εκάστοτε άτομα με τους ισχυρισμούς εννοιών (concept assertions), για παράδειγμα έχουμε:

Student(john)

που μας λέει ότι ο john είναι στιγμιότυπο (instance) της έννοιας Student. Οι σχέσεις μεταξύ ατόμων περιγράφονται με ισχυρισμούς ρόλων (role assertions), πχ:

takesClass(john, math)

που ορίζει ότι ο john παρακολουθεί το μάθημα math.

Το TBox, θα περιέχει σχέσεις του τύπου ορολογίας όπως η υπαγωγή εννοιών, που μας δείχνουν σχέσεις ταξινόμησης μεταξύ εννοιών, δηλαδή ότι η μια έννοια υπονοεί (subsumes) μια άλλη. Σημειώστε ότι συμβατικά τα ονόματα στιγμιότυπων ξεκινούν με μικρό γράμμα ενώ των εννοιών με κεφαλαίο. Οι σχέσεις υπαγωγής ορίζουν τις εκφράσεις υποέννοια και υπερέννοια για να αναφερόμαστε καλύτερα στην ταξινόμηση τους. Θα ισχύει ότι όλα τα άτομα μιας υποέννοιας, θα ανήκουν και στις υπερέννοιές της. Για παράδειγμα,

GraduateStudent \sqsubseteq Student

δηλαδή ότι η έννοια του προπτυχιακού φοιτητή είναι υποσύνολο της έννοιας φοιτητής. Παρόμοιες σχέσεις υπάρχουν και για τους ρόλους, για παράδειγμα

hasGraduateDegree \sqsubseteq hasDegree

που μας λέει ότι η κατοχή πτυχίου μεταπτυχιακών σπουδών είναι και κατοχή πτυχίου γενικότερα. Εδώ δηλώνεται μια σχέση ρόλου – υπορόλου. Αντίστοιχα μπορούν να οριστούν και σχέσεις ισοδυναμίας για έννοιες και ρόλους. Υπάρχουν πολλοί ακόμα κατασκευαστές που μπορούν να περιγράψουν πολύ περίπλοκες εκφράσεις για να ορίσουν νέες έννοιες και ρόλους. Εκτός από το διαχωρισμό σε αυτά τα δύο, μπορούμε να χωρίσουμε περαιτέρω τους κατασκευαστές εννοιών σε κατασκευαστές Boolean, τους κατασκευαστές που θέτουν περιορισμούς για τους ρόλους, τους κατασκευαστές nominals και τους σύνθετους κατασκευαστές ρόλων τα λεγόμενα αξιώματα σύνθεσης ρόλων (rule composition axioms).

Συνολικά οι κατασκευαστές εννοιών δίνονται στον πίνακα και οι κατασκευαστές ρόλων στον πίνακα, μαζί με τις εκφράσεις τους.

| Όνομα | Έκφραση | Περιγραφή |
|----------------------------------|--|---|
| Τομή | $C \sqcup D$ | Το σύνολο των ατόμων που είναι στιγμιότυπα αμφοτέρων των C και D . |
| Ένωση | $C \sqcap D$ | Το σύνολο των ατόμων που είναι στιγμιότυπα της C ή της D . |
| Συμπλήρωμα | $\neg C$ | Το σύνολο των ατόμων που δεν είναι στιγμιότυπα της C . |
| Περιορισμός τιμής | $\forall R.C$ | Το σύνολο των ατόμων που συνδέονται μέσω του ρόλου R μόνο με στιγμιότυπα της C . |
| Υπαρξιακή ποσοδεικτοδότηση | $\exists R.C$ | Το σύνολο των ατόμων που συνδέονται μέσω του ρόλου R με κάποιο στιγμιότυπα της C . |
| Γενικός περιορισμός πληθικότητας | $\geq nR$ $\leq nR$ $= nR$ | Το σύνολο των ατόμων που συνδέονται μέσω του ρόλου R με τουλάχιστον, το πολύ, ή ακριβώς n άτομα. |
| Ειδικός περιορισμός πληθικότητας | $\geq nR.C$ $\leq nR.C$ $= nR.C$ | Το σύνολο των ατόμων που συνδέονται μέσω του ρόλου R με τουλάχιστον, το πολύ, ή ακριβώς n στιγμιότυπα της έννοιας C . |

Πίνακας 1: Κατασκευαστές εννοιών στις περιγραφικές λογικές.

2.3.1 Ονοματολογία περιγραφικών λογικών

Επειδή υπάρχουν πολλές διαφορετικές περιγραφικές λογικές, έχει καθιερωθεί μια ονοματολογία που βασίζεται στους κατασκευαστές και τους τύπους αξιωμάτων που επιτρέπει η κάθε μια. Για παράδειγμα αλλά και για να συνοψίσουμε αυτά που είπαμε ως τώρα για το συντακτικό, θα χρησιμοποιήσουμε τη γλώσσα \mathcal{ALC} .

Το αλφάβητο της \mathcal{ALC} λοιπόν, περιέχει τρία ανά ζεύγη διακριτά και απείρως μετρήσιμα σύνολα, τα ονόματα εννοιών A_1, A_2, \dots , τα ονόματα ρόλων P_1, P_2, \dots και τα ονόματα ατόμων a_1, a_2, \dots . Οι έννοιες σε όλες τις περιγραφικές λογικές κατασκευάζονται από δύο αρχέγονες έννοιες, την καθολική (top) που συμβολίζεται με \top και την κενή (bottom) με το σύμβολο \perp . Στην \mathcal{ALC} οι νέες έννοιες κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας το παρακάτω συντακτικό:

$$C ::= A_i \mid \top \mid \perp \mid C_1 \sqcup C_2 \mid C_1 \sqcap C_2 \mid \exists R.C \mid \forall R.C$$

Το TBox, είναι ένα πεπερασμένο σύνολο αξιωμάτων υπαγωγής (concept inclusion axioms) εννοιών της μορφής:

$$C_1 \sqsubseteq C_2,$$

| Όνομα | Έκφραση | Περιγραφή |
|------------|--------------|---|
| Τομή | $R \sqcup S$ | Το σύνολο των ζευγών ατόμων που είναι στιγμιότυπα αμφοτέρων των R και S . |
| Ένωση | $R \sqcap S$ | Το σύνολο των ζευγών ατόμων που είναι στιγμιότυπα του R ή του S . |
| Συμπλήρωμα | $\neg R$ | Το σύνολο των ζευγών ατόμων που δεν είναι στιγμιότυπα του R . |
| Αντιστροφή | R^- | Το σύνολο των αντεστραμμένων ζευγών ατόμων που είναι στιγμιότυπα του R . |
| Σύνθεση | $R \circ S$ | Το σύνολο των ζευγών ατόμων (a, b) για τα οποία υπάρχει κάποια άτομο c για το οποίο το (a, c) είναι στιγμιότυπο του R και το (c, b) στιγμιότυπο του S . |

Πίνακας 2: Κατασκευαστές ρόλων στις περιγραφικές λογικές.

όπου C_1, C_2 είναι έννοιες. Η \mathcal{ALC} δεν επιτρέπει υπαγωγές ρόλων. Το ABox , είναι το πεπερασμένο σύνολο αξιωμάτων ισχυρισμών ρόλων και εννοιών της μορφής:

$$C(a) \text{ και } R(a, b),$$

όπου C μια έννοια, R ένας ρόλος και a, b ονόματα ατόμων. Δεδομένου ενός ABox και ενός TBox , θα έχουμε για την \mathcal{ALC} τη βάση γνώσης:

$$\mathcal{K} = (\mathcal{T}, \mathcal{A}).$$

Εάν επεκτείνουμε την \mathcal{ALC} με ιεραρχίες ρόλων (role hierarchies), προσθέτουμε ένα \mathcal{H} στο όνομα της νέας γλώσσας που θα προκύψει. Αντίστοιχα, το \mathcal{I} σηματοδοτεί αντίστροφους ρόλους, το \mathcal{O} nominals, το \mathcal{Q} qualified number restrictions. Εάν τα προσθέσουμε όλα αυτά στην \mathcal{ALC} , θα πάρουμε την \mathcal{ALCHIQ} .

Εάν πάλι επεκτείνουμε την \mathcal{ALC} με transitive roles, όλο το όνομα της γλώσσας αντικαθίσταται με το γράμμα \mathcal{S} . Αντίστοιχα το γράμμα \mathcal{R} αναφέρεται στην παρουσία υπαγωγών ρόλων, τοπικής ανακλαστικότητας (local reflexivity), τον καθολικό ρόλο U και στις ιδιότητες συμμετρικότητας, συμμετρίας, ασυμμετρίας ρόλων, διακριτότητας ρόλων, ανακλαστικότητας και μη. Η γλώσσα \mathcal{SROIQ} είναι το υπερσύνολο πολλών περιγραφικών λογικών και είναι σημαντική επειδή αποτελεί τη βάση για την OWL, όπως θα δούμε και αργότερα.

2.3.2 Ερμηνείες και μοντέλα

Η γλώσσα των περιγραφικών λογικών βασίζεται σε φορμαλισμούς της μαθηματικής λογικής που ξεκίνησαν στα μέσα του 19ου αιώνα. Πίσω τους, βρίσκεται το θεωρητικό μοντέλο σημασιολογίας του A. Tarski, από δημοσίευση του 1933

που αργότερα το 1956 αναπτύχθηκε περαιτέρω για να σταθεί ως ένας ορισμός για την ορθότητα σε θεωρητικά μοντέλα γλωσσών (model-theoretic languages). [Hod14] Αυτή η σημασιολογία ορίζεται χρησιμοποιώντας τους όρους της ερμηνείας (interpretation).

Μια ερμηνεία είναι ένα ζεύγος $(\Delta^{\mathcal{I}}, \mathcal{I})$ που περιέχει ένα μη κενό πεδίο (domain) ερμηνείας Δ και τη συνάρτηση ερμηνείας \mathcal{I} . Η συνάρτηση αυτή αντιστοιχεί κάθε στοιχείο $a_i \in \Delta^{\mathcal{I}}$ σε κάθε ατομικό όνομα (individual name) $a^{\mathcal{I}}$, κάθε υποσύνολο $A \subseteq \Delta^{\mathcal{I}}$ σε κάθε έννοια $A^{\mathcal{I}}$ και κάθε δυαδική συσχέτιση (binary relation) $P^{\mathcal{I}} \subseteq \Delta^{\mathcal{I}} \times \Delta^{\mathcal{I}}$ σε κάθε ρόλο $P^{\mathcal{I}}$.

Από αυτούς τους τρεις κανόνες μπορούμε επαγωγικά να γράψουμε σύνθετες εκφράσεις για τις έννοιες και τους ρόλους, για τη συνάρτηση ερμηνείας. Για τους κατασκευαστές της γλώσσας \mathcal{ALC} για παράδειγμα θα έχουμε:

$$\begin{aligned} \top^{\mathcal{I}} &= \Delta^{\mathcal{I}}, \\ \perp^{\mathcal{I}} &= \Delta^{\mathcal{I}}, \\ (C_1 \sqcap C_2)^{\mathcal{I}} &= C_1^{\mathcal{I}} \cap C_2^{\mathcal{I}}, \\ (C_1 \sqcup C_2)^{\mathcal{I}} &= C_1^{\mathcal{I}} \cup C_2^{\mathcal{I}}, \\ (\exists R.C)^{\mathcal{I}} &= \{u \mid \exists v \in C^{\mathcal{I}} \text{ τέτοιο ώστε } (u, v) \in R^{\mathcal{I}}\}, \\ (\forall R.C)^{\mathcal{I}} &= \{u \mid u \in C^{\mathcal{I}}, \forall v \text{ όπου } (u, v) \in R^{\mathcal{I}}\} \end{aligned}$$

Μια ερμηνεία \mathcal{I} λέμε ότι είναι μοντέλο μιας βάσης γνώσης $\mathcal{K} = (\mathcal{T}, \mathcal{A})$ εαν ικανοποιεί όλους τους ισχυρισμούς αξιωμάτων του \mathcal{A} (ABox) και ορολογίας του (TBox). Αυτό συμβολικά γράφεται $\mathcal{I} \models \mathcal{K}$. Έστω ένα TBox με τις προτάσεις:

$$\begin{aligned} \text{GraduateStudent} &\sqsubseteq \text{Student}, \\ \text{GraduateStudent} &\sqsubseteq \exists \text{takesCourse}.\text{GraduateCourse} \end{aligned}$$

και ένα ABox \mathcal{A} με την πρόταση:

$$\text{GraduateStudent}(\text{john})$$

Αυτή η βάση γνώσης δεν έχει μοναδική ερμηνεία. Τρεις ερμηνείες της είναι οι εξής:

$$\begin{array}{ll} \text{john}^{\mathcal{I}} = \text{john}, & \text{john}^{\mathcal{I}} = a, \\ \text{GraduateStudent}^{\mathcal{I}} = \{\text{john}\}, & \text{GraduateStudent}^{\mathcal{I}} = \{a\}, \\ \text{Student}^{\mathcal{I}} = \{\text{john}\}, & \text{Student}^{\mathcal{I}} = \{a\}, \\ \text{GraduateCourse}^{\mathcal{I}} = \{\text{physics}\}, & \text{GraduateCourse}^{\mathcal{I}} = \{a\}, \\ \text{takesCourse}^{\mathcal{I}} = \{(\text{john}, \text{physics})\} & \text{takesCourse}^{\mathcal{I}} = \{(a, a)\} \end{array}$$

Αυτές οι δύο ερμηνείες είναι μοντέλα της βάσης γνώσης. Η επόμενη όμως δεν είναι μοντέλο, αφού δεν ικανοποιεί το δεύτερο αξίωμα ισχυρισμού έννοιας:

$$\begin{aligned} \text{john}^{\mathcal{I}} &= \text{john}, \\ \text{GraduateStudent}^{\mathcal{I}} &= \{\text{john}\}, \\ \text{Student}^{\mathcal{I}} &= \{\text{john}\}, \\ \text{GraduateCourse}^{\mathcal{I}} &= \emptyset, \\ \text{takesCourse}^{\mathcal{I}} &= \emptyset \end{aligned}$$

Οτιδήποτε προκύπτει σε κάθε ένα από τα μοντέλα μιας βάσης γνώσης, είναι και λογική συνέπεια της βάσης, ακόμη και αν δεν είναι ρητά δηλωμένο σε αυτή. Η εύρεση των λογικών συνεπειών ονομάζεται συλλογιστική.

2.4 Αλγόριθμοι Συλλογιστικής

Η συλλογιστική έρχεται για να συμπληρώσει τη γνώση, όπως η σκέψη στον άνθρωπο. Όταν κάποιος κάνει ένα ανόητο λάθος, δεν τον κατηγορούμε επειδή δεν ήξερε πως να πράξει, αλλά επειδή δεν σκέφτηκε, επειδή δεν χρησιμοποίησε τη γνώση που ήδη είχε. Η διαδικασία της σκέψης είναι η χρήση της υπάρχουσας γνώσης και η συλλογιστική είναι η εξαγωγή υπονοούμενης γνώσης από την υπάρχουσα με τη χρήση της λογικής. Συλλογιστική είναι δηλαδή η εξαγωγή αξιωμάτων που περιέχουν λογικά συμπεράσματα από μία βάση γνώσης, τα οποία δεν είναι έχουν δηλωθεί ρητώς μέσα σε αυτή. Στην επιστήμη των υπολογιστών έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι που κάνουν αυτή τη δουλειά και ονομάζονται συλλογιστές (reasoners). Οι αλγόριθμοι συλλογιστικής καλούνται να φέρουν εις πέρας κάποιες βασικές λειτουργίες που παρουσιάζουμε εδώ.

Ένα από τα βασικά προβλήματα της συλλογιστικής είναι ο έλεγχος συνέπειας (consistency check). Μια βάση γνώσης ονομάζεται ικανοποιήσιμη ή συνεπής (satisfiable or consistent), εάν δεν περιέχει αντιφάσεις. Αυτό όπως είπαμε ισοδυναμεί με την απαίτηση η βάση γνώσης να έχει τουλάχιστον ένα μοντέλο. Έστω ένα TBox με τις προτάσεις:

$$\begin{aligned} \text{UndergraduateStudent} &\sqsubseteq \forall \text{takesCourse}.\text{UndergraduateCourse}, \\ \text{UndergraduateCourse} &\sqcup \text{GraduateCourse} \sqsubseteq \perp \end{aligned}$$

και ένα ABox \mathcal{A} με τις προτάσεις:

$$\begin{aligned} &\text{UndergraduateStudent}(\text{john}), \\ &\text{takesCourse}(\text{john}, \text{physics}), \\ &\text{GraduateCourse}(\text{physics}). \end{aligned}$$

Εδώ, εάν υποθέσουμε ότι η βάση γνώσης $(\mathcal{T}, \mathcal{A})$ έχει ένα μοντέλο, τότε ο john θα περιορίζεται στα UndergraduateCourse που δεν είναι και GraduateCourse. Όμως στο ABox ορίζουμε ότι ο john παίρνει ένα GraduateCourse, που είναι μια αντίφαση.

Άλλο ένα σημαντικό πρόβλημα είναι αυτό της κατηγοριοποίησης εννοιών (concept entailment). Λέμε ότι μια $C_1 \sqsubseteq C_2$ σχέση υπαγωγής (concept inclusion) υπονοείται από μια βάση γνώσης \mathcal{K} , δηλαδή $\mathcal{K} \models C_1 \sqsubseteq C_2$ εάν για όλα τα μοντέλα \mathcal{I} της \mathcal{K} ισχύει ότι $\mathcal{I} \models C_1^{\mathcal{I}} \subseteq C_2^{\mathcal{I}}$. Όμοια ορίζεται και η κατηγοριοποίηση για τους ρόλους. Για παράδειγμα, έστω ένα TBox με τις προτάσεις:

$$\begin{aligned} \forall \text{takesCourse. UndergraduateCourse} &\sqsubseteq \text{UndergraduateStudent}, \\ \text{FirstYearStudent} &\sqsubseteq \exists \text{takesCourse. UndergraduateCourse} \end{aligned}$$

Όταν μια βάση γνώσης \mathcal{K} συνεπάγεται (entails) ένα άτομο $C(a)$ (δηλαδή το $C(a)$ ισχύει σε όλα τα μοντέλα της \mathcal{K}), τότε λέμε ότι το a είναι στιγμιότυπο (instance) της C . Η διαδικασία ελέγχου εάν το a είναι στιγμιότυπο της C , ονομάζεται έλεγχος στιγμιοτύπων (instance checking). Ανάλογα ορίζεται και η ανάκτηση στιγμιοτύπων, δηλαδή η εύρεση όλων των ατόμων που είναι στιγμιότυπα μιας έννοιας. Η κατηγοριοποίηση ατόμων και ο έλεγχος στιγμιοτύπων είναι προβλήματα που αποδεικνύεται πως μπορούν να αναχθούν σε αυτό του ελέγχου συνέπειας της βάσης γνώσης. Ισχύουν δηλαδή οι παρακάτω προτάσεις:

Πρόταση 1: $(\mathcal{T}, \mathcal{A}) \models C_1 \sqsubseteq C_2$ αν και μόνο αν η σχέση $((\mathcal{T}, \mathcal{A}) \cup \{C_1(a), \neg C_2(a)\})$ είναι μη ικανοποιήσιμη, για κάθε νέο άτομο a , που δεν υπήρχε πριν στο \mathcal{A} .

Πρόταση 2: $(\mathcal{T}, \mathcal{A}) \models C(a)$ αν και μόνο αν η σχέση $(\mathcal{T}, \mathcal{A} \cup \{\neg C(a)\})$ είναι μη ικανοποιήσιμη.

Χρησιμοποιούμε δηλαδή την άρνηση και απαιτούμε την μη ικανοποιησιμότητα. Η απόδειξη αυτών των προτάσεων σε μερικές περιγραφικές λογικές δεν είναι τόσο απλή, καθώς μπορεί να μην ορίζεται η άρνηση και η υπαγωγή.

Ένα πιο γενικό πρόβλημα συλλογιστικής είναι η απάντηση συζευκτικών ερωτημάτων σε βάσεις γνώσης. Θα ελεγκταθούμε περισσότερο σε αυτό, αφού πρώτα κάνουμε μια αναφορά στην OWL και τα τρία προφίλ της που σχετίζονται περισσότερο με τα προβλήματα που αναφέραμε και αφού βεβαίως ορίσουμε τι είναι τα συζευκτικά ερωτήματα.

2.5 Web Ontology Language (OWL)

Η OWL (Web Ontology Language) [OWL12] [BvHH⁺04] είναι μια γλώσσα περιγραφής οντολογιών και αναπαράστασης γνώσης της οποίας την τυποποίηση έχει αναλάβει το W3C (World Web Consortium) ¹. Η γλώσσα αυτή σχετίζεται με τις περιγραφικές λογικές με το ότι το σύνολο των κατασκευαστών της είναι υπερέσυνολο αυτού των περιγραφικών λογικών. Ιστορικά αναπτύχθηκε ως επέκταση του συντακτικού του RDF Schema στο οποίο δεν αναφερόμαστε εδώ, έτσι ώστε να ενσωματώσει στις βάσεις γνώσης οντολογικές δομές.

¹<http://http://www.w3.org/>

Το συντακτικό της OWL έχει κάποιες μικρές διαφορές από αυτό των περιγραφικών λογικών, χωρίς όμως να χρειαζόμαστε ιδιαίτερη ξεχωριστή εισαγωγή σε αυτό. Στην OWL αντί για έννοιες και ρόλους αναφερόμαστε σε κλάσεις και ιδιότητες αντικειμένων αντίστοιχα. Ακόμη, στην OWL αντί για τη σύνταξη με τους κατασκευαστές που αναφέραμε προηγουμένως, χρησιμοποιούμε τη σύνταξη συναρτησιακού τύπου (functional style syntax). Για παράδειγμα, οι επόμενες προτάσεις είναι ισοδύναμες στις δύο συντάξεις.

```
SubClassOf(ObjectIntersectionOf(Person,
    ObjectSomeValuesFrom(takesCourse, Course)), student),
SubObjectPropertyOf(mastersDegreeFrom, degreeFrom),
SubClassOf(ObjectSomeValuesFrom(
    ObjectInverseOf(takesCourse), owl : Thing), Course),
ClassAssertion(Student, john),
ObjectPropertyAssertion(takesCourse, john, sw).
```

Εκφράσεις σε σύνταξη συναρτησιακού τύπου.

```
Person ⊓ ∃takesCourse.Course ⊑ Student,
mastersDegreeFrom ⊑ degreeFrom,
takesCourse-.T ⊑ Course,
Student(john),
takesCourse(john, sw).
```

Εκφράσεις σε σύνταξη περιγραφικών λογικών.

Το υποσύνολο των περιγραφικών λογικών της OWL, βασίζεται στην γλώσσα *SRIQ* [HKSo6] και ονομάζεται επίσης OWL 2 DL. Η *SRIQ* είναι μια από τις περισσότερο εκφραστικές περιγραφικές λογικές. Παρουσιάζουμε εδώ τους κατασκευαστές και το συντακτικό της *SRIQ*:

$$C ::= N_C \mid \top \mid \perp \mid C_1 \sqcup C_2 \mid C_1 \sqcap C_2 \mid \neg C \mid \exists R.C \mid \forall R.C \mid \geq nR.C \mid \leq nR.C \mid \exists R.Self \mid \{N_i\}$$

$$R ::= (U) \mid N_R \mid N_R^-$$

Όσον αφορά τη συλλογιστική για τη γλώσσα *SRIQ* που είναι και υπερέσυνολο των περιγραφικών λογικών, αυτή είναι μη-αποφάνσιμη (undecidable), ενώ οι περιγραφικές λογικές είναι αποφάνσιμες. Για τέτοιες πληροφορίες υπάρχει το πολύ καλό εργαλείο Description Logic Complexity Navigator στη σελίδα <http://www.w3.org/TR/owl2-profiles/>

2.5.1 Προφίλ της OWL

Απαραίτητη για τους αλγόριθμους συλλογιστικής είναι η εξέταση των ερωτημάτων για την αποφανσιμότητα (decidability), την υπολογιστική περιπλοκότητα (computational complexity) και την απόδοσή τους (efficiency) σε ρεαλιστικά προβλήματα. Μας ενδιαφέρει να γνωρίζουμε τόσο ότι οι αλγόριθμοι αυτοί κάποτε θα τερματίσουν τη λειτουργία τους αλλά και ότι ο τερματισμός αυτός θα γίνει σε λογικά χρονικά πλαίσια. Οι πιο εκφραστικές γλώσσες έχουν μεγαλύτερη πολυπλοκότητα και γενικά υπάρχει μια αντιστρόφως ανάλογη σχέση μεταξύ αυτών των δύο. Αυτός είναι και ο λόγος που επιλέχθηκαν τρεις συγκεκριμένες γλώσσες για τα προφίλ της OWL, που εγγυώνται την αποδοτικότητα (με την έννοια της προσπελασιμότητας - tractability) της συλλογιστικής.

Παρόλο που η ικανοποιησιμότητα μπορεί να είναι ακόμη και εκθετικού χρόνου για πολλές από αυτές τις γλώσσες, στις πρακτικές εφαρμογές οι αλγόριθμοι συλλογιστικής συνήθως έχουν να αντιμετωπίσουν οντολογίες κατασκευασμένες από ανθρώπους, που δεν είναι και τόσο πολύπλοκες, και τελικά αποφεύγεται η χειρότερη περίπτωση για τη συλλογιστική. Ακόμη, οι νεότεροι αλγόριθμοι έχουν πληθώρα βελτιστοποιήσεων για πολλές υποπεριπτώσεις. Από την άλλη, η απάντηση σε ερωτήματα στιγμιοτύπων (instance queries) και γενικότερα σε συζευκτικά ερωτήματα όταν έχουμε μεγάλες βάσεις γνώσης και όγκους δεδομένων δεν είναι πάντα τόσο αποδοτική. Για αυτό το πρόβλημα υπάρχει η τεχνική της επαναγραφής ερωτημάτων, στην οποία θα αναφερθούμε και αργότερα με περισσότερες λεπτομέρειες.

Το W3C προτείνει για την OWL 2 τρία προφίλ των περιγραφικών λογικών, τα OWL 2 RL, OWL 2 EL και OWL 2 QL ². Τα προφίλ αυτά έχουν διαφορετικές εκφραστικότητες, ανάλογα με τις εφαρμογές που καλούνται να εξυπηρετήσουν.

OWL 2 RL

Η OWL 2 RL προορίζεται για εφαρμογές που απαιτούν κλιμακούμενη συλλογιστική πραγματοποιήσιμη από συλλογιστές βασιζόμενους σε κανόνες, όπως οι μηχανές datalog. Βασίζεται στη θεωρία για τα Προγράμματα Περιγραφικής Λογικής (Description Logic Programs) και την pD.

Κύριο στοιχείο εδώ είναι ότι δεν επιτρέπεται η χρήση υπαρξιακών ποσοδεικτών (existential quantifiers) στα δεξιά των σχέσεων υπαγωγής εννοιών. Ακόμη, δεν επιτρέπονται τα σύμβολα τομής U. Τα ABox όπως αυτό της RL ονομάζονται απλά (simple). Αυτό σημαίνει ότι στη συλλογιστική δεν αντιμετωπίζονται άτομα που δεν έχουν δηλωθεί ρητώς στο ABox της βάσης γνώσης, δηλαδή επιτρέπονται μόνο ισχυρισμοί της μορφής $A(a)$ για έννοιες και $R(a, b)$ για ρόλους. Τα προβλήματα συλλογιστικής στην OWL 2 RL μπορούν να επιλυθούν σε πολυωνυμικό χρόνο ως προς το μέγεθος της οντολογίας.

OWL 2 EL

Η OWL 2 EL κατασκευάστηκε για εφαρμογές με μεγάλες οντολογίες κυρίως με δηλώσεις ορολογίας, μετά την παρατήρηση ότι οι μεγάλες βιοϊατρικές οντολογίες όπως οι SNOMED, NCI και GO, χρησιμοποιούν μόνο τη σύζευξη (conjunction) και υπαρξιακούς ποσοδείκτες (existential quantifiers).

²<http://www.w3.org/TR/owl2-profiles/>

Και εδώ έχουμε απλά ABox. Παρά την καλή εκφραστικότητα τους, είναι ενδιαφέρον ότι όλες οι βασικές εργασίες συλλογιστικής για τις γλώσσες \mathcal{EL} εκτελούνται σε πολυωνυμικό χρόνο. Υπάρχουν επομένως αρκετοί καλοί συλλογιστές για αυτές τις γλώσσες.

OWL 2 QL

Η OWL 2 QL σχεδιάστηκε για πρόσβαση σε μεγάλους όγκους δεδομένων, που μπορούν να είναι αποθηκευμένα σε σχεσιακές βάσεις δεδομένων, με τη χρήση οντολογιών για την αύξηση της εκφραστικότητας των ερωτημάτων. Αυτό το προφίλ προορίζεται και για την χρήση μεθόδων επαναγραφής ερωτημάτων (query rewriting). Η ιδέα είναι ότι η απάντηση σε συζευκτικά ερωτήματα πάνω σε μια βάση γνώσης στην QL θα ανάγεται στην απάντηση ερωτημάτων λογικής πρώτης τάξης πάνω σε μια βάση δεδομένων που έχει αποθηκευμένο το ABox της βάσης γνώσης. Το προφίλ αυτό βασίζεται στην οικογένεια περιγραφικών λογικών DL-Lite.

Στο συντακτικό της DL-Lite δεν επιτρέπονται περιορισμοί τιμών (universal restrictions A), ενώ οι υπαρξιακοί ποσοδείκτες στην αριστερή πλευρά των δηλώσεων υπαγωγής εννοιών πρέπει να αναφέρονται μόνο στην καθολική έννοια T. Αυτοί οι περιορισμοί ονομάζονται unqualified. Οι υπαρξιακοί ποσοδείκτες στα δεξιά των δηλώσεων υπαγωγής, μπορούν να είναι qualified.

Οι εργασίες συλλογιστικής μπορούν να γίνουν σε πολυωνυμικό χρόνο, εκτός από την απάντηση ερωτημάτων που γίνεται σε λογαριθμικό ως προς τον όγκο των δεδομένων.

2.6 Επαναγραφή ερωτημάτων

Θα εξετάσουμε τώρα την απάντηση συζευκτικών ερωτημάτων σε οντολογίες στις γλώσσες περιγραφικής λογικής. Για να αναφερθούμε στα συζευκτικά ερωτήματα, πρέπει να ορίσουμε τι είναι ένα ερώτημα. Κάθε ερώτημα Q είναι ένας τύπος της λογικής πρώτης τάξης (first order logic formula) ή άτομο: τις ελεύθερες μεταβλητές

$$\phi(x_1, \dots, x_k, a_1, \dots, a_m)$$

όπου το ϕ είναι ένα κατηγορημα, τα x_1, x_2, \dots, x_k είναι μεταβλητές, τα a_1, \dots, a_m είναι σταθερές και λέμε ότι ο ϕ έχει βαθμό (arity) που στην προκειμένη είναι ίσο με $(k + m)$. Οι μεταβλητές, οι σταθερές και οι συναρτήσεις (που δε θα επεκταθούμε αρκετά ώστε να μας απασχολούν) ονομάζονται όροι (terms). Στις περιγραφικές λογικές τα συζευκτικά ερωτήματα (conjunctive queries) είναι σύνθετοι τύποι που διατυπώνονται χρησιμοποιώντας μονάχα το σύμβολο της σύζευξης \wedge και τον υπαρξιακό ποσοδείκτη \exists , δηλαδή είναι της μορφής

$$Q(x) = \exists y. \phi_1(x, y) \wedge \dots \wedge \phi_r(x, y)_r,$$

όπου $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ λέγονται μεταβλητές απάντησης (answer variables), ενώ τα $y = (y_1, \dots, y_m)$ ονομάζονται υπαρξιακά ποσοδεικτοδοτημένες μεταβλητές (existentially quantified variables). Τα $\phi_1 \wedge \dots \wedge \phi_r$ ως ατομικοί τύποι των περιγραφικών λογικών θα είναι έννοιες ή ρόλοι.

Λέμε ότι θέτουμε το ερώτημα σε μια βάση γνώσης $\mathcal{K} = (\mathcal{T}, \mathcal{A})$ εάν όλοι οι όροι του αντιστοιχούν σε έννοιες ή ρόλους της \mathcal{K} και έχουν βαθμό 1 ή 2 αντίστοιχα. Απάντηση σε ένα ερώτημα που έχει τεθεί σε μια βάση γνώσης είναι μία πλειάδα (tuple) από ονόματα ατόμων $a = (a_1, \dots, a_n)$ του ABox \mathcal{A} που να μπορεί να αντικαταστήσει κάθε μεταβλητή απάντησης x_i στο $Q(x)$, με ένα αντίστοιχο ονοματισμένο άτομο a . Λέμε ότι αυτή η πλειάδα είναι η βέβαιη απάντηση (certain answer) όταν ισχύει ότι για κάθε μοντέλο \mathcal{I} της βάσης γνώσης ισχύει ότι $\mathcal{I} \models Q(a)$.

Επομένως η απάντηση σε ένα ερώτημα θα είναι μια αντιστοίχιση του γράφου του ερωτήματος με το γράφο της βάσης γνώσης. Στην περίπτωση ερωτημάτων σε SPARQL με δεδομένα σε μορφή RDF αυτό ακριβώς γίνεται, χρησιμοποιούμε δηλαδή τις εντολές της και διατυπώνουμε ερωτήματα που η απάντηση δίνεται από την αντικατάσταση κάποιων κόμβων ή ακμών των τριάδων RDF με μεταβλητές. Δεν θα επεκταθούμε στο πώς απαντώνται τα ερωτήματα από τα συστήματα βάσεων δεδομένων με τριάδες (triplestores), αλλά παραπέμπουμε στα πρότυπα του W3C για μια αναλυτική περιγραφή [R2R12] [Dir12].

Θα αναφερθούμε αργότερα σε προγράμματα Datalog. Οι προτάσεις Horn που ίσως είναι γνωστές στον αναγνώστη, είναι προτάσεις της μορφής:

$$\forall y(\gamma_1(y) \wedge \dots \wedge \gamma_k(y) \rightarrow \gamma_0(y))$$

$$\forall y(\gamma_1(y) \wedge \dots \wedge \gamma_k(y) \rightarrow \perp)$$

Αυτές οι προτάσεις περιέχουν μέσα τους προτάσεις datalog που είναι της μορφής:

$$\gamma_0(y) \leftarrow \gamma_1(y) \wedge \gamma_1(y) \wedge \dots \wedge \gamma_k(y)$$

Όπως είπαμε, σύνολα από τέτοιες προτάσεις ονομάζονται προγράμματα Datalog. Το άτομο $\gamma_0(y)$ ονομάζεται κεφαλή, ενώ το σύνολο των ατόμων $\gamma_i(y)$ ονομάζεται σώμα. Τα άτομα στο σώμα, μπορεί να είναι έννοιες ή ρόλοι. Μία πρόταση Horn ονομάζεται ασφαλής (safe) εάν όλες οι μεταβλητές που εμφανίζονται στην κεφαλή τους, εμφανίζονται και στο σώμα. Τα προγράμματα Datalog είναι εξ' ορισμού ασφαλή.

Όταν σε ένα πρόγραμμα Datalog τα άτομα της κεφαλής μοιράζονται το ίδιο κατηγορημα και αυτό δεν εμφανίζεται πουθενά στο σώμα, τότε το πρόγραμμα αυτό είναι ισοδύναμο με μια ένωση συζευκτικών ερωτημάτων (union of conjunctive queries). Μια τέτοια ένωση που περιέχει μονάχα έναν κανόνα είναι και ένα μοναδικό συζευκτικό ερώτημα. Σημειώνουμε λοιπόν ότι κάθε συζευκτικό ερώτημα είναι και ένα πρόγραμμα Datalog (χωρίς το αντίστροφο να ισχύει απαραίτητα).

2.6.1 Συλλογιστική και ερμηνείες στα προφίλ της OWL

Προηγουμένως κάναμε απλά παράθεση των αποτελεσμάτων που έχουν υπολογιστεί για τους χρόνους των εργασιών συλλογιστικής στα διάφορα προφίλ της OWL. Εδώ κοιτάμε εν συντομία μερικές λεπτομέρειες για το πώς φτάνουμε σε αυτά τα αποτελέσματα, ορίζοντας στην πορεία και μερικές έννοιες που είναι απαραίτητες για την τεχνική της επαναγραφής ερωτημάτων.

Ας επιστρέψουμε λίγο στο προφίλ της OWL, OWL 2 RL που όπως είπαμε βασίζεται στα προγράμματα περιγραφικής λογικής. Τα προγράμματα περιγραφικής λογικής συμπεριλαμβάνουν τις διάφορες περιγραφικές λογικές που έχουν τέτοιους περιορισμούς στο συντακτικό, ώστε τα TBox τους να μπορούν να διαβαστούν στη γλώσσα της λογικής πρώτης τάξης ως προτάσεις Horn χωρίς σύμβολα συναρτήσεων. Επομένως το TBox είναι ένα πρόγραμμα Datalog (Datalog programs). Αυτές οι προτάσεις έχουν την πολύ βασική ιδιότητα να μπορούν να παράξουν όλη τη γνώση που κρύβεται στη βάση γνώσης, απλά εκτελώντας τις ως κανόνες πάνω στο ABox. Από μια τέτοια εκτέλεση παράγεται μια ερμηνεία που ονομάζεται κανονικό μοντέλο ή ελάχιστο μοντέλο (canonical model ή minimal model). Η διαδικασία της εκτέλεσης ονομάζεται expansion ή εμπρόσθια αλυσίδωση (forward chaining). Δεν θα αναφερθούμε περεταίρω στην συμπερασμάτωση με κανόνες (inference). Σημειώνουμε όμως ότι όλες οι προτάσεις των περιγραφικών λογικών ανάγονται σε προτάσεις λογικής πρώτης τάξης και υπάρχουν διάφορες αλγοριθμικές μέθοδοι για την εφαρμογή αυτών.

Επειδή στην OWL 2 RL το TBox είναι ένα πρόγραμμα datalog, το ελάχιστο μοντέλο είναι πάντα πεπερασμένο. Στα άλλα δύο προφίλ της OWL όμως αυτό δεν ισχύει. Στην EL έχουμε υπαρξιακούς ποσοδείκτες και στα δεξιά των δηλώσεων υπαγωγής εννοιών, δηλαδή μπορούμε για παράδειγμα να γράψουμε

$$C \sqsubseteq \exists R.C,$$

όπου C μια έννοια και R ένας ρόλος. Αποτέλεσμα αυτού είναι μετά την μετάφραση του TBox σε λογική πρώτης τάξης να μην παράγεται ένα πρόγραμμα datalog, αλλά μια επέκταση της datalog, η $datalog_{\pm}$ που περιέχει εκφράσεις του τύπου:

$$\exists x \gamma_0(x, y) \leftarrow \gamma_1(y) \wedge \gamma_2(y) \wedge \dots \wedge \gamma_k(y)$$

Εαν εφαρμόσουμε εδώ την αλυσίδωση προς τα εμπρός, το ελάχιστο μοντέλο που θα παραχθεί θα είναι άπειρο. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και στην OWL 2 QL. Χωρίς να αναφερθούμε με πολλές λεπτομέρειες, στα προφίλ αυτά μπορεί να γίνει μια εναλλακτική διαδικασία που μετατρέπει τα TBox σε αυτό που ονομάζεται κανονική μορφή (normal form).

Αποδεικνύεται ότι όλα τα TBox σε αυτά τα προφίλ μπορούν να μετατραπούν σε κανονική μορφή. Από αυτά τα μοντέλα μπορούμε να κάνουμε υπολογισμούς για το χρόνο των εργασιών συλλογισμού εκτός από αυτά που αφορούν την απάντηση σε ερωτήματα. Για αυτά τα θέματα παραπέμπουμε στην εργασία [KZ14].

2.6.2 Επαναγραφή ερωτημάτων

Μια μέθοδος επαναγραφής ερωτημάτων καλείται να μετατρέψει ένα ερώτημα και μια οντολογία σε ένα πρόγραμμα Datalog ή σε μια ένωση συζευκτικών ερωτημάτων. Σκοπός είναι, όταν εκτελέσουμε αυτό το πρόγραμμα πάνω σε ένα σύνολο δεδομένων, να πάρουμε τις ίδιες απαντήσεις που θα παίρναμε εάν δεν είχαμε εκτελέσει την επαναγραφή.

Στη λογική πρώτης τάξης μπορούν να εφαρμοστούν οι κανόνες του λογισμού της ανάλυσης (resolution calculi). [BG01] Οι αλγόριθμοι συλλογιστικής

που βασίζονται σε αυτό το λογισμό εκτελούν τον κανόνα της ανάλυσης εξαντλητικά στο σύνολο των προτάσεων της λογικής πρώτης τάξης και έτσι εξάγουν την υπονοούμενη γνώση. Στην τεχνική της επαναγραφής ερωτημάτων, με βάση ένα TBox, ο κανόνας της ανάλυσης εκτελείται εξαντλητικά στο ερώτημα και προκύπτουν καινούργια ερωτήματα. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται αλυσίδωση προς τα πίσω. Θυμίζουμε ότι η αλυσίδωση προς τα εμπρός, είναι η εφαρμογή των δηλώσεων του TBox στο ABox (ενώ η προς τα πίσω εφαρμόζει το TBox στο ερώτημα) που έχει το σημαντικό μειονέκτημα ότι σε συγκεκριμένες εκφραστικότητες μπορεί να δημιουργεί άπειρα αποτελέσματα.

Το πρόβλημα που έχει η διαδικασία της απάντησης σε τέτοια ερωτήματα είναι ότι σε γλώσσες υψηλής εκφραστικότητας η πολυπλοκότητα της χειρότερης περίπτωσης είναι πολύ μεγάλη (high worst case complexity). Για την οικογένεια DL – Lite_R που όπως είπαμε αντιστοιχεί στο προφίλ OLV 2 QL, το πρόβλημα αυτό είναι προσπελάσιμο (tractable). Έχει αποδειχτεί πως τα συστήματα που υιοθετούν την τεχνική επαναγραφής ερωτημάτων και μετά εκτελούν (execution) την ένωση συζευκτικών ερωτημάτων που προκύπτει σε βάσεις δεδομένων, ικανοποιούν τις προϋποθέσεις της πληρότητας (sound και complete) [OP11].

3 Συστήματα οπτικής επεξεργασίας ερωτημάτων και σημασιολογικής αναζήτησης

Παρουσιάζουμε συνοπτικά μια ενδεικτική βιβλιογραφία μερικών από τις προσεγγίσεις που έχουν γίνει για εφαρμογές σημασιολογικής αναζήτησης στον ιστό [BYR10] [FL10] καθώς και σε συστήματα οπτικής επεξεργασίας ερωτημάτων (Visual Query Systems) [Fado8]. Εξετάζουμε περιληπτικά, αλλά με επαρκή προσοχή στις σημαντικές λεπτομέρειες, μερικές από αυτές που έχουν τη μεγαλύτερη συνάφεια με την παρούσα εργασία.

3.1 Προσεγγίσεις για τη σημασιολογική αναζήτηση

Η σημασιολογική αναζήτηση ιστού (semantic web search) είναι μια φράση που ακόμη δεν έχει οριστεί μονοσήμαντα. Είναι ξεκάθαρο πάντως ότι εννοούμε κάτι παραπάνω από μια επέκταση της αναζήτησης όπως υπάρχει τώρα. Τα συνήθη συστήματα αναζήτησης (Information Retrieval Systems) βρίσκουν όλα τα κείμενα που περιέχουν τις λέξεις κλειδιά ενός επερωτήματος αναζήτησης (search query) και στη συνέχεια τα ταξινομούν ανάλογα με τη δομή των δεσμών στις σελίδες του ιστού. Στις τελευταίες εκδόσεις των μεγαλύτερων μηχανών αναζήτησης για την ταξινόμηση των αποτελεσμάτων γίνεται ένας συμψηφισμός μια πληθώρας διαφορετικών αλγορίθμων, της τάξεως των διακοσίων διαφορετικών³, βασιζόμενοι σε τεχνικές μηχανικής μάθησης, αυτόματης μετάφρασης, επεξεργασίας φυσικής γλώσσας και άλλων.

Παρόλους αυτών τους μηχανισμούς όμως, οι αναζητήσεις αφορούν λέξεις κλειδιά και δεν μπορούν να απαντηθούν ερωτήσεις του τύπου «Ποιοι κινηματογράφοι κοντά στο σπίτι μου δείχνουν ταινίες δράσης και βρίσκονται κοντά σε εστιατόρια?» ή «Ποια φορέματα έχουν φορεθεί σε τελετές των βραβείων Όσκαρ από υποψηφίους σε ταινίες που κέρδισαν?». Η απάντηση σε τέτοια ερωτήματα για την ώρα μπορεί να βρεθεί μονάχα εάν ήδη υπάρχει άρθρο σε μια σελίδα που πραγματεύεται αυτό το συγκεκριμένο θέμα. Στοιχεία σημασιολογικής αναζήτησης έχουν συμπεριληφθεί σε ορισμένες μηχανές αναζήτησης, όμως ακόμη δεν έχουμε φτάσει σε μια πραγματική σημασιολογική αναζήτηση. Αυτό όμως δεν παύει να είναι ένα σημαντικό πρώτο βήμα που δείχνει ότι το μέλλον μας οδηγεί εκεί και ότι αξίζει κάποιος να ασχοληθεί με αυτές τις νέες τεχνολογίες.

Με τον όρο σημασιολογική αναζήτηση συνήθως εννοούμε μια βελτιωμένη έκδοση της αναζήτησης όπως αυτή υπάρχει τώρα, στην οποία το νόημα και η δομή της αναζήτησης θα λαμβάνονται υπόψη από το σύστημα που την πραγματοποιεί. Οι τεχνολογίες του σημασιολογικού ιστού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αυτό το σκοπό, συνδέοντας την κάθε αναζήτηση με διάφορες υποκείμενες οντολογίες, ώστε αυτή να μπορεί να ερμηνευτεί κατάλληλα και να φέρει στο χρήστη ιστοσελίδες που περιέχουν σημασιολογικές ανασημάνσεις σε κάποιο σχήμα. Όπως θα δούμε και σε μερικές εφαρμογές, οι ανασημάνσεις αυτές μπορούν να ερμηνευτούν ως μια βάση γνώσης και να έχουμε την δυνατότητα να αναζητούμε δεδομένα στον παγκόσμιο ιστό με τον ίδιο τρόπο που διατυπώνουμε ερωτήματα σε μια βάση δεδομένων, ή ακόμη και να εξερευνούμε τον σημασιολογικό ιστό μέσω όψεων.

³http://www.wired.com/magazine/2010/02/ff_google_algorithm/

Μια τέτοια μορφή αναζήτησης καλείται να βελτιώσει και άλλες αδυναμίες των συστημάτων που υπάρχουν αυτή τη στιγμή. Όταν μια αναζήτηση αφορά εξειδικευμένους τομείς, όπως π.χ. ταξίδια, ταινίες, ενδύματα, ιατρικά θέματα, πολιτιστικά δεδομένα, τότε ο χρήστης αναγκάζεται να ανατρέξει σε αντίστοιχα εξειδικευμένα συστήματα και να συνδυάσει τα αποτελέσματα χειροκίνητα ή σε συστήματα μετά-αναζήτησης που συσσωρεύουν διαφορετικές εξειδικευμένες πηγές.

Το μεγάλο πρόβλημα που έχει να αντιμετωπίσει η σημασιολογική αναζήτηση στον ιστό είναι ο ίδιος ο σημασιολογικός ιστός, ή μάλλον η μη ύπαρξή του. Όπως είπαμε και προηγουμένως μια τεχνολογία αναζήτησης βασισμένη σε οντολογίες απαιτεί και ιστοσελίδες με αντίστοιχη κατασκευή που να υιοθετεί τα πρότυπα του σημασιολογικού ιστού. Όσο αυτό δεν γίνεται από τους κατασκευαστές των ιστοσελίδων, το πρόβλημα της αναζήτησης ανάγεται σε αυτό της επισήμανσης των σελίδων από τον πάροχο της αναζήτησης.

3.2 Συστήματα οπτικής κατασκευής επερωτημάτων

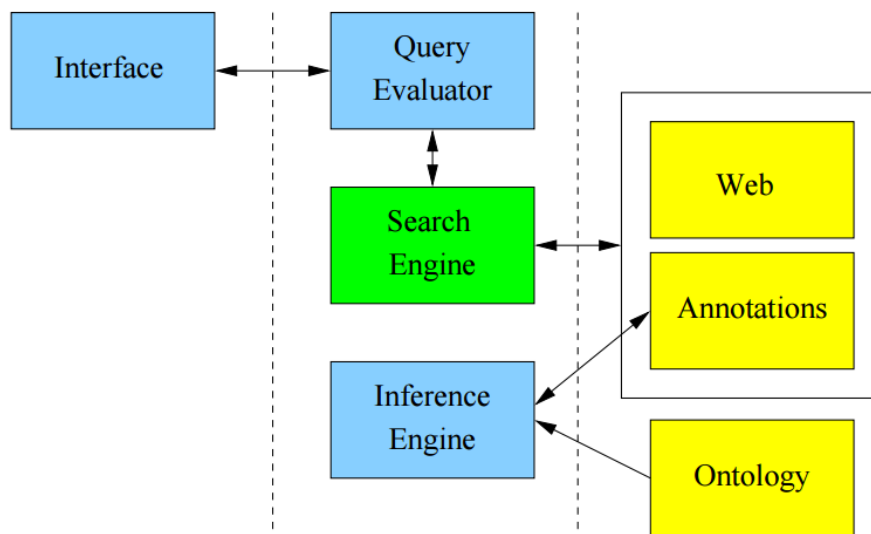
Τα συστήματα οπτικής κατασκευής επερωτημάτων είναι συστήματα ερωτήσεων σε βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιούν οπτικές αναπαραστάσεις σε γραφικά περιβάλλοντα για να αναπαραστήσουν ένα πεδίο ενδιαφέροντος και να υποστηρίξουν τη διατύπωση ερωτημάτων. Τα συστήματα αυτά βασίζονται στην καλή μεταδοτικότητα που προσφέρει μια καλή αναπαράσταση για να βοηθήσουν τους χρήστες να αναγνωρίσουν και να διαχειριστούν μεγάλες ποσότητες πληροφοριών και γνώσης. Ακόμη, προσφέροντας μηχανισμούς ανάδρασης βελτιστοποιούν την αλληλεπίδραση ανθρώπου μηχανής. Οι χρήστες για τους οποίους προορίζονται αυτά τα συστήματα συνήθως δεν έχουν τις απαραίτητες ικανότητες και γνώσεις κατανόησης των μηχανισμών που κρύβουν οι βάσεις δεδομένων επομένως οι αναπαραστάσεις και οι τρόποι αλληλεπίδρασης που προσφέρονται είναι καίριας σημασίας.

Η χρησιμότητα αυτών των συστημάτων διαφαίνεται αν συλλογιστεί κανείς τις εναλλακτικές μεθόδους που έχουν οι μέσοι χρήστες για να διατυπώσουν ερωτήματα σε βάσεις. Μία εναλλακτική είναι η χρήση συστήματος προκαθορισμένων ερωτημάτων, ενώ η άλλη είναι η επικοινωνία με ειδικούς του κλάδου. Και στις δύο περιπτώσεις τίθενται προβλήματα πρόσβασης στα δεδομένα.

Σημαντικές έννοιες για αυτά τα συστήματα είναι η εκφραστικότητα και η χρηστικότητα. Εκφραστικότητα είναι το εύρος της γλώσσας ή του συστήματος να χαρακτηρίσει το πεδίο του ενδιαφέροντος. Χρηστικότητα είναι η αποδοτικότητα του συστήματος στο έργο που καλείται να ολοκληρώσει αλλά και ταυτόχρονα η ικανοποίηση που προσφέρει στο χρήστη, δηλαδή το πώς αντιλαμβάνεται αυτός το γραφικό περιβάλλον και την αλληλεπίδραση.

3.3 Το σύστημα Serene

Το Serene [FGGL10] είναι μια προσέγγιση για την σημασιολογική αναζήτηση με οντολογικά συζευκτικά ερωτήματα στον παγκόσμιο ιστό από τους names. Η κατεύθυνση που ακολουθεί είναι αντίθετη με τη συμβατική, όπου αναζητούνται οι πληροφορίες που κωδικοποιούνται στα πρότυπα του σημασιολογικού ιστού, αλλά αντίθετα αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται για να ενισχύσουν τη συμβατική αναζήτηση στον ιστό. Η μέθοδός του, περιλαμβάνει την επι-



Σχήμα 2: Η αρχιτεκτονική του Serene.

σήμανση ιστοσελίδων με σημασιολογικά δεδομένα και την μετατροπή (reduction) συζευκτικών ερωτημάτων του χρήστη σε ερωτήματα με λέξεις κλειδιά που να μπορούν να απαντηθούν με υπάρχουσες μηχανές αναζήτησης.

Στην ουσία το Serene δημιουργεί μια νέα ιστοσελίδα (ένα νέο αρχείο HTML δηλαδή) για κάθε μια επισήμανση που έχει οριστεί σε κάθε υπάρχουσα ιστοσελίδα. Οι ανασημάνσεις αυτές αφορούν σημασιολογικές πληροφορίες για όλα τα αντικείμενα μέσα στη σελίδα. Επομένως περιορίζοντας μια μηχανή αναζήτησης στα νέα αρχεία που δημιουργήθηκαν μπορούμε χρησιμοποιώντας συμβατικές μεθόδους να κάνουμε αναζήτηση ανάμεσα στις ανασημάνσεις που έχουμε ορίσει. Μέσα από αυτά τα αποτελέσματα, το σύστημα τελικά παρουσιάζει στο χρήστη τις ιστοσελίδες που αντιστοιχούν στο κάθε ερώτημα. Δεν αναζητά δηλαδή την εμφάνιση μιας λέξης κλειδί σε ένα κείμενο, αλλά το σύνολο των ανασημάνσεων που απαντούν σε ένα συζευκτικό ερώτημα και από αυτές βρίσκει τις αντίστοιχες σελίδες.

Οι σελίδες που απαντούν το ερώτημα του χρήστη ταξινομούνται με μια επέκταση του γνωστού αλγορίθμου PageRank ώστε να συμπεριλαμβάνει και τις σχέσεις μεταξύ των ανασημάνσεων, που οι συγγραφείς ονομάζουν ObjectRank. Αποδεικνύεται στη δημοσίευση ότι για την τελική κατάταξη των ιστοσελίδων οι δύο αλγόριθμοι είναι ισοδύναμοι.

3.3.1 Αρχιτεκτονική

Το σύστημα Serene βασίζεται σε μια αρχιτεκτονική που φαίνεται στο σχήμα 2. Τα τμήματά της είναι η διεπαφή χρήστη (interface), ο επεξεργαστής ερωτημάτων (query evaluator) και η μηχανή συμπερασμάτων (inference engine). Εξετάζουμε εδώ τα δύο τελευταία.

Inference Engine

Οι ανασημάνσεις με τα σημασιολογικά δεδομένα ουσιαστικά αποτελούν ένα ABox. Το Serene υιοθετεί την τεχνική της offline ontology compilation με χρήση τεχνικών συμπερασματικής συλλογιστικής (deductive reasoning). Κάνουμε αυτή την επισήμανση για τη συλλογιστική επειδή σε επόμενη δημοσίευση των ιδίων έχει γίνει και μια δεύτερη προσέγγιση με διαφορετική τεχνική επαγωγικής συλλογιστικής (inductive reasoning). Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί αλγορίθμους ταξινόμησης και αποδίδει καλά ακόμη και όταν υπάρχουν σφάλματα στα δεδομένα. Δεν θα την εξετάσουμε αναλυτικά και για λεπτομέρειες παραπέμπουμε στην αντίστοιχη δημοσίευση [AFF⁺ 13] .

Στην (συμπερασματική) compilation της βάσης γνώσης λοιπόν, το σύστημα εφαρμόζει όλα τα αξιώματα του TBox στο ABox και τελικά προκύπτει ένα κορεσμένο (saturated) ABox, δηλαδή οι ανασημάνσεις των ιστοσελίδων εμπλουτίζονται με δεδομένα που παράγονται με βάση τους κανόνες της οντολογίας. Από τη θεωρία που αναλύσαμε στο κεφάλαιο , ανάλογα με την εκφραστικότητα της βάσης γνώσης, αυτή η διαδικασία δεν μπορεί να εφαρμοστεί πάντοτε. Επομένως εδώ οι συγγραφείς έχουν υιοθετήσει μια τεχνική "απλής συμπλήρωσης (simple completion)" για τη βάση γνώσης, η οποία εγγυάται την ορθότητα της βάσης που παράγεται αλλά όχι την πληρότητα. Με άλλα λόγια, τα αποτελέσματα των αναζητήσεων θα είναι πάντοτε σωστά, αλλά μπορεί να μην περιλαμβάνονται απαντήσεις σε ορισμένα από αυτά. Δεν είναι απαραίτητο να αναφερθούμε περαιτέρω καθώς στην δική μας εφαρμογή χρησιμοποιούμε μια διαφορετική τεχνική με επαναγραφή ερωτημάτων. Και εδώ παραπέμπουμε στη αρχική δημοσίευση.

Επεξεργαστής ερωτημάτων

Το σημαντικότερο τμήμα του Serene από τη σκοπιά του δικού μας συστήματος είναι ο επεξεργαστής συζευκτικών ερωτημάτων. Μας ενδιαφέρει η μετατροπή των συζευκτικών ερωτημάτων σε λέξεις κλειδιά, αφού υιοθετούμε μια παρόμοια τακτική, αφού εφαρμόσουμε μια διαδικασία επαναγραφής.

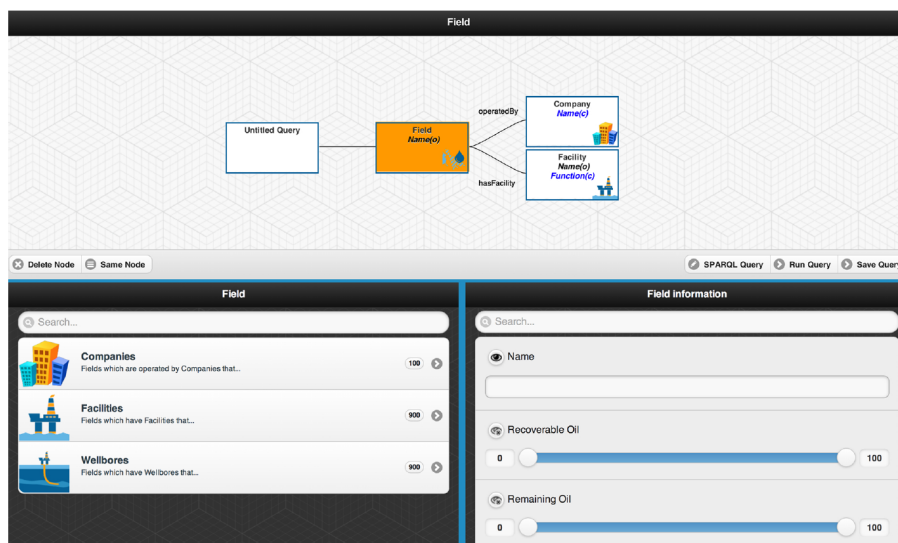
Ένα ερώτημα αναζήτησης στο Serene μπορεί να είναι για παράδειγμα το εξής:

$$Q(x) = \exists y(\text{PhDStudent}(x) \wedge \text{isAuthorOf}(x, y) \wedge \text{Article}(x, y) \wedge \text{yearOfPublication}(y, 2008) \wedge \text{keyword}(y, \text{"RDF"})),$$

Εδώ, ζητάμε όλους τους διδακτορικούς φοιτητές που έχουν δημοσιεύσει το 2008, ένα ή περισσότερα άρθρα που περιέχουν τη λέξη RDF. Το ερώτημα αυτό θα μετατραπεί σε μια αναζήτηση που να μπορεί να υποβληθεί σε μια κλασική μηχανή αναζήτησης. Αφού πρώτα χωριστεί σε δύο ξεχωριστά, τα ερωτήματα μετατρέπονται σε λέξεις κλειδιά αφαιρώντας όλες τις παρενθέσεις και τις μεταβλητές. Οι τελικές επεξεργασμένες αναζητήσεις με λέξεις κλειδιά θα είναι:

$$Q_1 = \text{PhDStudent AND isAuthorOf,}$$

$$Q_2 = \text{Article AND "yearOfPublication2008"}$$



Σχήμα 3: Το γραφικό περιβάλλον.

Πραγματοποιώντας τις δύο αναζητήσεις ανάμεσα στις ιστοσελίδες με τις ανασημάνσεις, ανακτώνται όλοι οι σύνδεσμοι για τις σελίδες που αναζητά ο χρήστης. Συνδυάζοντας τα αποτελέσματα των δύο αναζητήσεων ο χρήστης παίρνει την τελική απάντηση στην αναζήτησή του.

Τα ερωτήματα που μπορούν να διατυπωθούν στο Serene αναγκαστικά υπόκεινται σε κάποιους περιορισμούς για να διασφαλίζεται το ότι μπορούν να μεταφραστούν σε λέξεις κλειδιά. Αρχικά ορίζονται οι απλές αναζητήσεις (simple semantic web search) που περιέχουν μόνο μία ελεύθερη μεταβλητή. Αυτά τα ερωτήματα αποδεικνύεται πώς μπορούν να μετατραπούν κατευθείαν σε μια αναζήτηση με λέξεις κλειδιά. Στη συνέχεια ορίζονται και οι ασφαλείς αναζητήσεις (safe semantic web searches). Σε αυτές, όλες οι ελεύθερες μεταβλητές που ανήκουν σε τύπους με άρνηση, εμφανίζονται και σε μη αρνητικά άτομα.

3.4 Το σύστημα OrtiqVQS

Το σύστημα αυτό δημιουργήθηκε στα πλαίσια ενός έργου της ΕΕ, ονομαζόμενου Ortiq, με στόχο την δημιουργία τεχνολογιών πρόσβασης των χρηστών σε Big Data. Το OrtiqVQS [SGJR⁺13] είναι λοιπόν ένα σύστημα οπτικής κατασκευής ερωτημάτων με χρήση οντολογιών, που υλοποιεί ένα συνδυασμό διαφορετικών διεπαφών χρήστη που συνεργάζονται μεταξύ τους. Στο σχήμα 3 φαίνεται η εικόνα του γραφικού περιβάλλοντος με τα τρία υποσυστήματα.

Το πρώτο υποσύστημα που βρίσκεται κάτω και αριστερά στην οθόνη βασίζεται σε ένα μενού για την κατασκευή ερωτημάτων μέσω της περιήγησης σε διαφορετικές έννοιες χρησιμοποιώντας τις συσχετίσεις μεταξύ τους. Το δεύτερο υποσύστημα κάτω και δεξιά βασίζεται σε μια φόρμα και προορίζεται για λειτουργίες επιλογής και προβολής. Τέλος στο πάνω μέρος βρίσκεται ένα εργαλείο κατασκευής διαγράμματος που αναπαριστά το ερώτημα.

Ο χρήστης πρώτα διαλέγει μια αρχική έννοια από το πρώτο υποσύστημα που παρουσιάζει όλες τις έννοιες του πεδίου ενδιαφέροντος μαζί με διάφο-

ρες πληροφορίες. Αυτή η έννοια όταν επιλεγεί αποτελεί την εστιασμένη έννοια (focus concept) και στον γράφο του επάνω υποσυστήματος εμφανίζεται επιλεγμένη. Τότε το κάτω δεξιά υποσύστημα δείχνει τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά της έννοιας, ενώ το κάτω αριστερά δείχνει τις έννοιες που συσχετίζονται με αυτή. Στο πάνω υποσύστημα οι κυκλικοί γράφοι παρουσιάζονται με διπλασιασμό κόμβων ώστε οι γράφοι που τελικά δημιουργούνται να έχουν δενδρικό σχήμα. Αυτό γίνεται για διευκόλυνση του χρήστη. Ακόμη, υπάρχει επιλογή αντί για το γράφο να εμφανιστεί το ερώτημα που έχει σχηματιστεί στη γλώσσα SPARQL. Στα τρία αυτά υποσυστήματα προσφέρονται πολλές άλλες λειτουργίες που δεν θα καλύψουμε εδώ.

Τέλος, να επισημάνουμε ότι οι συγγραφείς αναφέρουν ότι τα συστήματα οπτικής κατασκευής ερωτημάτων με χρήση οντολογίας υπάγονται στα πληροφοριακά συστήματα με χρήση οντολογιών (ontology-driven information systems) και ότι η οπτική κατασκευή ερωτημάτων είναι ένας κλάδος που έχει σκοπό τον τελικό χρήστη. Το κύριο ζήτημα εδώ είναι η χρησιμότητα και τονίζουν ότι παρόλο που η χρήση οντολογιών προϊδεάζει για μεγάλη εκφραστικότητα, κάνουν την υπόθεση ότι οι περισσότεροι χρήστες θα περιοριστούν σε δενδρικά ερωτήματα και δεν θα επεκταθούν σε κυκλικά και διαζευκτικά ερωτήματα ή ερωτήματα με καθολικούς ποσοτικοποιητές ή αρνήσεις.

3.5 Το σύστημα SemFacet

Η αναζήτηση με όψεις (facets) είναι μια προσέγγιση της αναζήτησης σε συλλογές εγγράφων (resources) στην οποία οι χρήστες μπορούν προοδευτικά να περιορίζουν τα αποτελέσματα εφαρμόζοντας φίλτρα που ονομάζονται όψεις. Η κάθε όψη συνήθως έχει μια ιδιότητα και ένα σύνολο τιμών για κάθε ιδιότητα. Τα έγγραφα στη συλλογή είναι ανασημασμένα με ζεύγη ιδιοτήτων και τιμών και κατά την αναζήτηση οι χρήστες επιλέγουν τιμές για τις όψεις και τα έγγραφα με τις αντίστοιχες ανασημάνσεις επιστρέφονται ως αποτελέσματα της αναζήτησης. Τα συστήματα αναζήτησης με όψεις μας ενδιαφέρουν στην παρούσα εργασία, καθώς όπως θα δούμε και αργότερα, υλοποιούμε ένα μηχανισμό αναζήτησης σε μια οντολογία που δανείζεται μερικά στοιχεία από αυτά.

Υπάρχουν αρκετές υλοποιήσεις συστημάτων αναζήτησης με όψεις για δεδομένα με ανασημάνσεις RDF. Εδώ κάνουμε μια σύντομη αναφορά στην εργασία των [ACGK⁺14]. Η εργασία αυτή παρέχει και μια αναλυτική παρουσίαση που αφορά σε ορισμένα θεωρητικά θέματα για αυτού του τύπου τις αναζητήσεις, στα οποία δε θα μπούμε, οπότε τη συνιστούμε στον αναγνώστη που ενδιαφέρεται. Στην προσέγγιση αυτή οι συγγραφείς παρουσιάζουν το SemFacet, ένα σύστημα που δεν περιορίζεται σε annotations σε RDF, αλλά χρησιμοποιεί και μια υποκείμενη οντολογία για να εξαγάγει και υπονοούμενα στοιχεία για την απάντηση των ερωτημάτων.

Μεταφέρουμε ένα παράδειγμα του άρθρου όπου τα URI των κειμένων της DBpedia ανασημαίνονται με τις έννοιες μιας οντολογίας:

| | | |
|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| President(d_{tr}) | President(d_{bc}) | Person(d_{kr}) |
| Person(d_{cc}) | Country(d_{us}) | Country(d_{uk}) |
| Univ(d_h) | Univ(d_g) | Univ(d_s) |

Αντίστοιχα, τα άρθρα ανασημαίνονται με ρόλους:

Search

More Focus Remove

type

USpres

Country

More Focus Remove

has child

ANY

More Focus Remove

is graduated from

Stanford Uni.

More Focus Remove

is graduated from

Stanford Uni.

Harvard Uni.

Georgetown Uni.



http://en.wikipedia.org/wiki/Bill_Clinton

William Jefferson "Bill" Clinton (born William Jefferson Blythe III; August 19, 1946) is an American politician who served as the 42nd President of the United States from 1993 to 2001. Inaugurated at age 46, he was the third-youngest president. He took office at the end of the Cold War, and was the first president of the baby boomer generation...

Σχήμα 4: Το γραφικό περιβάλλον.

$\text{citiz}(d_{tr}, d_{us})$ $\text{citiz}(d_{bc}, d_{us})$ $\text{child}(d_{tr}, d_{kr})$ $\text{child}(d_{bc}, d_{cc})$
 $\text{grad}(d_{tr}, d_h)$ $\text{grad}(d_{bc}, d_g)$ $\text{grad}(d_{kr}, d_h)$ $\text{child}(d_{cc}, d_s)$

Η γνώση αυτή επεκτείνεται με τα εξής οντολογιακά αξιώματα:

$$\begin{aligned}
 &\text{President}(x) \wedge \text{citiz}(x, d_{us}) \rightarrow \text{USPres}(x), \\
 &\text{USpres}(x) \rightarrow \text{President}(x) \wedge \text{citiz}(x, d_{us}), \\
 &\text{grad}(x, y) \rightarrow \text{Person}(x) \wedge \text{Univ}(y), \\
 &\text{Person}(x) \rightarrow \exists y. (\text{citiz}(x, y) \wedge \text{Country}(y)),
 \end{aligned}$$

που στις δύο πρώτες γραμμές ορίζουν πως οι πρόεδροι των ΗΠΑ είναι αυτοί με την αντίστοιχη υπηκοότητα, στην τρίτη το πεδίο ορισμού και σύνολο τιμών του ρόλου grad που εννοεί την αποφοίτηση από κάποιο πανεπιστήμιο και τέλος ότι ο κάθε άνθρωπος έχει και μια υπηκοότητα. Με αυτά τα δεδομένα το σύστημα παράγει το γραφικό περιβάλλον του σχήματος 4.

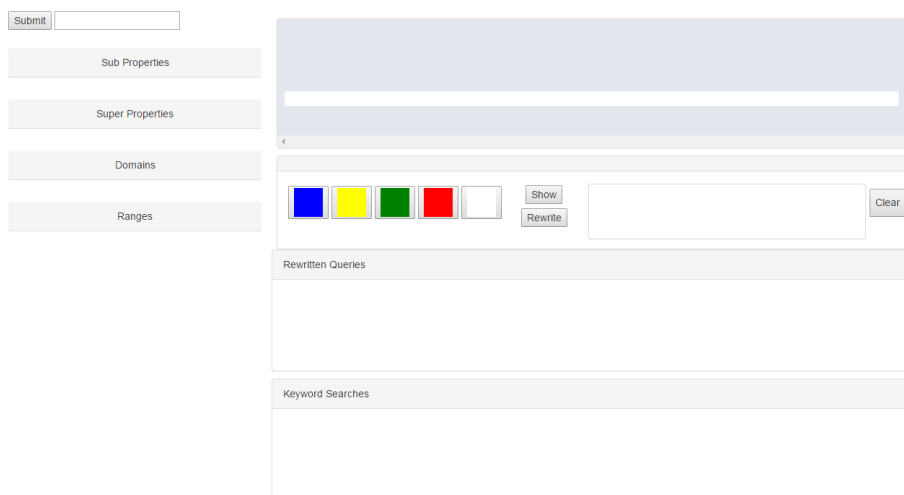
Όπως φαίνεται στην εικόνα, το σύστημα έχει παράγει αυτόματα τις όψεις από τις ανασημάνσεις των εγγράφων. Με την αναζήτηση μιας λέξης κλειδί, το σύστημα πραγματοποιεί μια απλή αναζήτηση για τα έγγραφα που περιέχουν αυτή τη λέξη. Από αυτά παράγει ένα αρχικό γραφικό περιβάλλον χωρίς καμία τιμή επιλεγμένη. Με την κάθε επιλογή τιμής (πατώντας σε ένα κουτάκι) γίνεται μια ανανέωση των εγγράφων που παρουσιάζονται ώστε αυτά να αντιστοιχούν στις επιλεγμένες όψεις και ταυτόχρονα ανανεώνονται και οι όψεις που παρουσιάζονται στο χρήστη. Η αρχιτεκτονική του αλγορίθμου είναι τέτοια που παρουσιάζει μόνο εκείνες τις όψεις που όταν επιλεχθούν, θα επιφέρουν αλλαγή στα έγγραφα που εμφανίζονται και παράλληλα δεν θα οδηγήσουν σε αδιέξοδα, δηλαδή σε ένα κενό σύνολο εγγράφων. Αυτό επιτυγχάνεται τρέχοντας τον αλγόριθμο ανανέωσης των όψεων επαναληπτικά, για όλες τις δυνατές επιλογές

και στη συνέχεια απορρίπτοντας αυτές που προξενούν τα προηγούμενα, από το να εμφανιστούν στο χρήστη.

Τέλος, είναι πολύ ενδιαφέρουσα μια πρόταση στη θεωρία που παρατίθεται στη δημοσίευση στην οποία αποδεικνύεται πως όλες οι αναζητήσεις με όψεις, τελικά έχουν τη μορφή δένδρων. Αυτό δείχνει και ότι τα φίλτρα που παράγονται με τις όψεις αντιστοιχούν σε μία ταξινόμια, δηλαδή υπολείπονται σε εκφραστικότητα των συστημάτων που χρησιμοποιούν οπτικές αναπαραστάσεις με γράφους.

4 Παρουσίαση Εφαρμογής

Το σύστημα προσφέρει τρεις βασικές λειτουργίες στο χρήστη. Θα τις παρουσιάσουμε μαζί με εικόνες από το γραφικό περιβάλλον της ιστοσελίδας. Η σειρά παρουσίασης επιδεικνύει και τον τρόπο αλληλεπίδρασης του χρήστη σε μία διαδικασία αναζήτησης, μέσω ενός παραδείγματος. Στην εικόνα φαίνεται η ιστοσελίδα αφού φορτώσει.



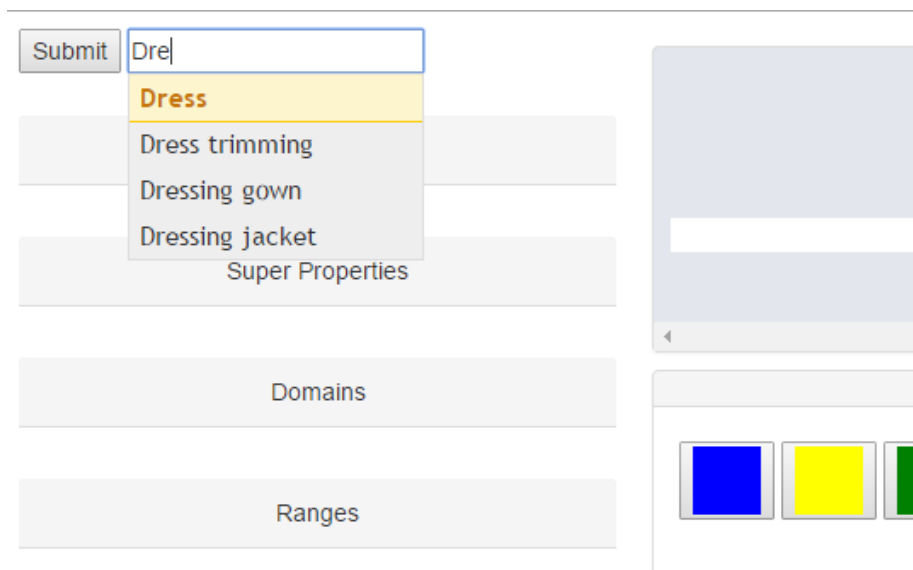
Σχήμα 5: Το γραφικό περιβάλλον στην εκκίνηση της εφαρμογής.

4.1 Χρήση

Αρχικά ο χρήστης έχει στη διάθεσή του τη φόρμα αυτόματης συμπλήρωσης (autocomplete). Εδώ εισάγει έναν όρο από τον οποίο ξεκινά η αναζήτησή του. Το σύστημα ανατρέχει στην οντολογία που έχει φορτωθεί στη μνήμη και αφού γίνει μια αλφαβητική ανάλυση, προτείνει στο χρήστη ονόματα εννοιών και ρόλων που υπάρχουν στην οντολογία και περιέχουν τα ίδια γράμματα. Ο χρήστης στη συνέχεια επιλέγει ένα από αυτά. Σημειώνουμε πως ο χρήστης εδώ περιορίζεται στην επιλογή του και δεν μπορεί να εισάγει όρους που δεν εμφανίζονται στην οντολογία. Δεν εμφανίζεται κάποιο μήνυμα αλλά μετά δεν θα υπάρξει κάποιο αποτέλεσμα πατώντας το κουμπί "submit".

Αφού επιλέξει έναν αρχικό ρόλο ή μια έννοια, κάτω από τη φόρμα αυτόματης συμπλήρωσης εμφανίζονται τα στοιχεία αυτού που επέλεξε. Παρουσιάζονται σε ένα πλαίσιο και είναι αποτελέσματα της συλλογιστικής επί της οντολογίας. Με αυτά στη συνέχεια ο χρήστης αλληλεπιδρά και προσθέτει στη λίστα δημιουργίας και επεξεργασίας του ερωτήματος.

Εάν ο χρήστης είχε επιλέξει ένα ρόλο εμφανίζονται οι υπέρ και υπό ρόλοι (subroles and super roles), μαζί με τα πεδία ορισμού και τιμών τους (domain and range). Στην περίπτωση που ο χρήστης επέλεξε μια έννοια, εμφανίζονται οι υπερέννοιες και υποέννοιες (subconcepts and superconcepts) της, καθώς και οι ρόλοι που περιέχουν αυτή την έννοια στο πεδίο ορισμού και στο σύνολο τιμών



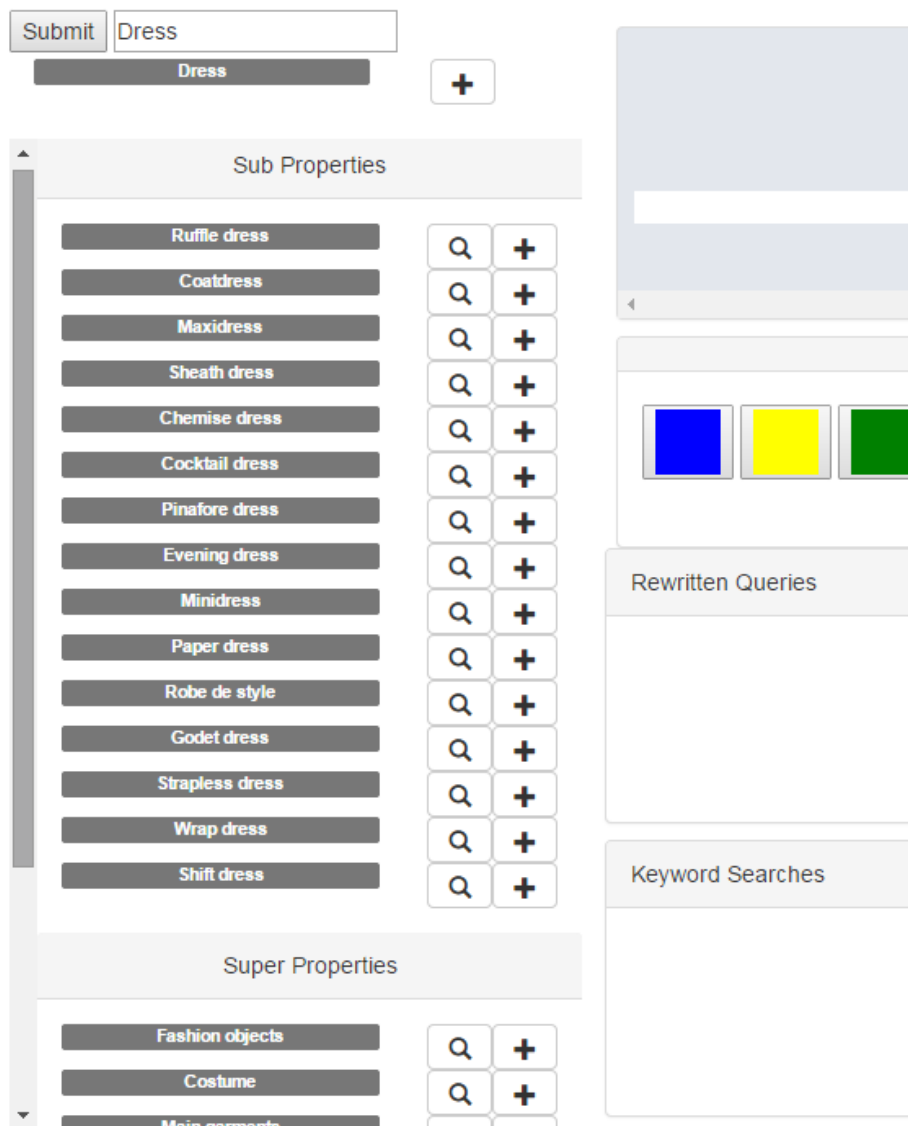
Σχήμα 6: Η φόρμα αυτόματης συμπλήρωσης.

τους. Η διαδικασία ανάκτησης αυτών των στοιχείων περιγράφεται αναλυτικά αργότερα.

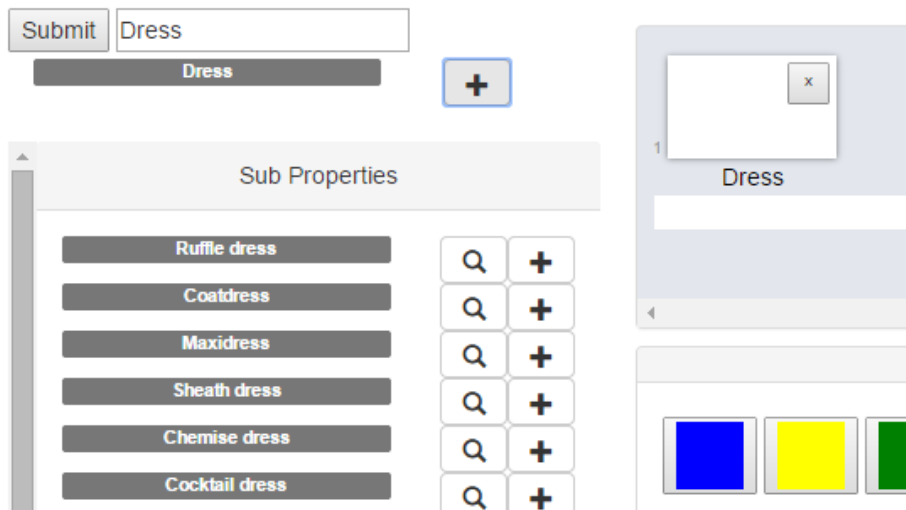
Σε κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία εμφανίζονται δύο κουμπιά τοποθετημένα στα δεξιά του ονόματος του στοιχείου. Πατώντας το πρώτο κουμπί (κουμπί προσθήκης) που έχει το σύμβολο της πρόσθεσης, το στοιχείο προστίθεται αυτόματα στη λίστα που βρίσκεται πάνω και δεξιά στην ιστοσελίδα. Δεξιά του βρίσκεται ένα δεύτερο κουμπί με την εικόνα ενός μεγεθυντικού φακού (κουμπί μετάβασης). Πατώντας αυτό το κουμπί, το σύστημα αναζητά την οντολογία για αυτό το στοιχείο και εκτελούνται οι ίδιες λειτουργίες με το να το είχε επιλέξει από τη φόρμα αυτόματης συμπλήρωσης. Επομένως τα στοιχεία που εμφανίζονταν αλλάζουν και εμφανίζονται αυτά που σχετίζονται με το συγκεκριμένο στοιχείο που πατήθηκε.

Κάθε φορά που ο χρήστης πατά αυτό το κουμπί μετάβασης, το σύστημα αποθηκεύει το στοιχείο. Ο χρήστης μετά από διαδοχικές μεταβάσεις έχει πραγματοποιήσει μια διαδρομή στο χώρο των στοιχείων. Κάτω από τη λίστα των στοιχείων, εμφανίζεται στο χρήστη η μέχρι τότε διαδρομή με τη μορφή ακολουθίας κειμένου με λέξεις και βέλη. Δίπλα από αυτό το κείμενο βρίσκεται ένα άλλο κουμπί "Clear" που διαγράφει τη λίστα. Σε μελλοντικές βελτιώσεις τα στοιχεία αυτής της λίστας θα μπορούν να προστεθούν ταυτόχρονα με μια κίνηση.

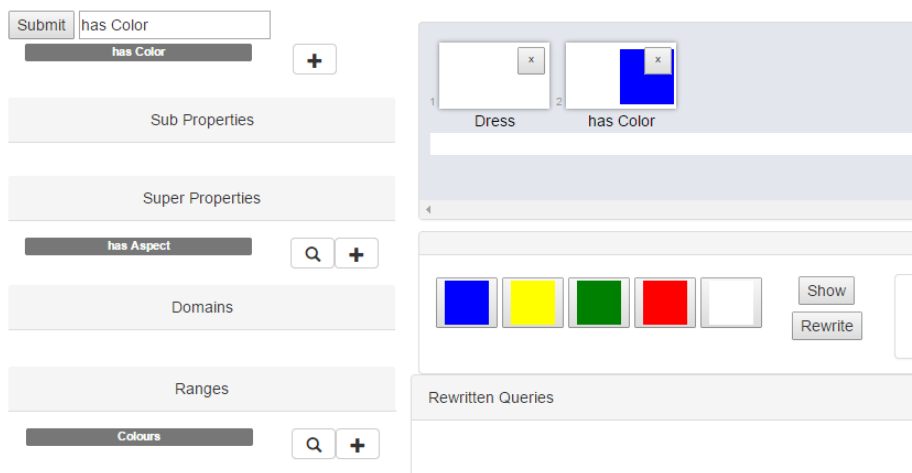
Η λίστα δημιουργίας και επεξεργασίας ερωτημάτων είναι ένα βασικό υποσύστημα του γραφικού περιβάλλοντος. Πρόκειται για μια οριζόντια λίστα από τετράγωνα εικονίδια (slides) τα οποία ο χρήστης μπορεί να σύρει (drag and drop) σε διαφορετικές θέσεις χρησιμοποιώντας το ποντίκι. Το κάθε εικονίδιο αναπαριστά ένα άτομο στο ερώτημα που θα δημιουργηθεί. Αλλάζοντας τη σειρά τους, αλλάζει η σειρά των ατόμων στο ερώτημα. Πατώντας στο κάθε slide με το ποντίκι, το περίγραμμα του αλλάζει για να συμβολίσει ότι αυτό το εικονίδιο είναι το επιλεγμένο. Στην πάνω δεξιά γωνία του κάθε εικονιδίου βρίσκεται ένα μικρό κουμπί με ένα σύμβολο "X" που πατώντας το, το εικονίδιο αφαιρείται



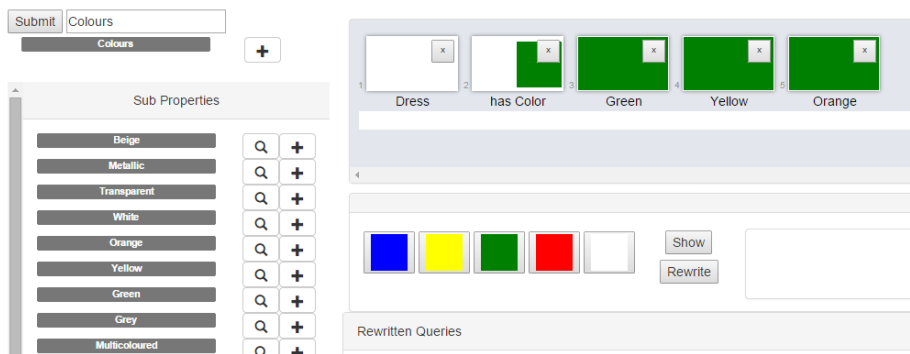
Σχήμα 7: Τα αποτελέσματα της αναζήτησης.



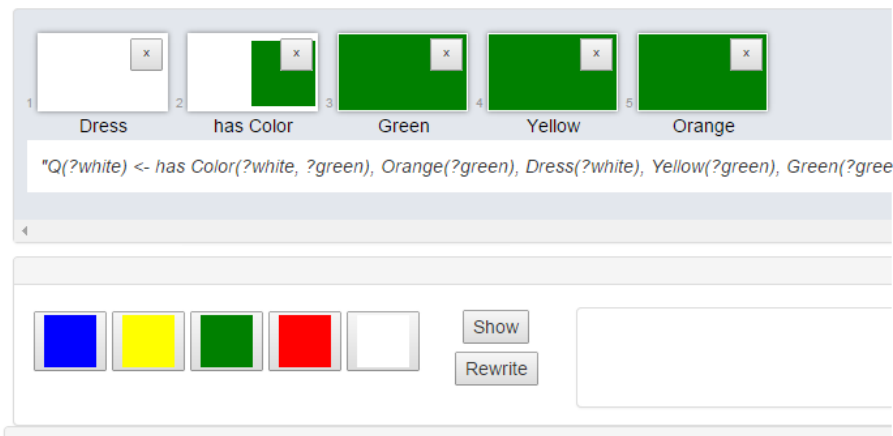
Σχήμα 8: Πρόσθεση εικονιδίου στη λίστα.



Σχήμα 9: Μετάβαση σε άλλες έννοιες και ρόλους.



Σχήμα 10: Ορισμός μεταβλητών με χρώματα.



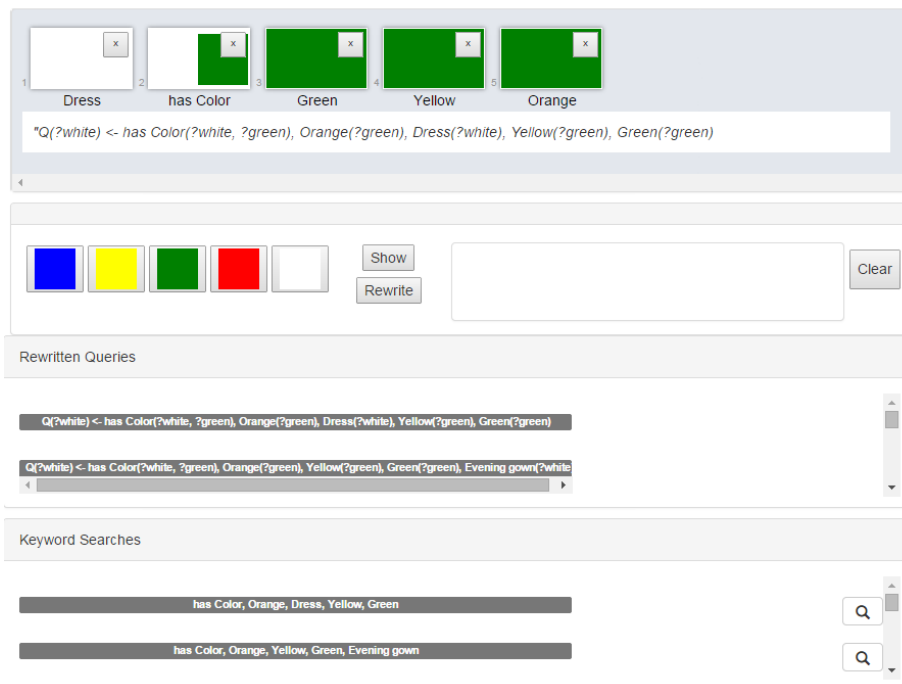
Σχήμα 11: Το κατασκευασμένο ερώτημα.

από τη λίστα.

Κάτω από τη λίστα βρίσκονται ορισμένα χρωματισμένα κουμπιά. Η λειτουργία τους είναι να επιτρέπουν στον χρήστη να αλλάξει τις μεταβλητές στα άτομα του ερωτήματος με απλό τρόπο. Έχοντας επιλεγμένο ένα εικονίδιο που αντιστοιχεί σε μια έννοια (εάν ο χρήστης δεν είχε επιλέξει κανένα με το ποντίκι, επιλεγμένο είναι το τελευταίο που προστέθηκε), και πατώντας ένα χρωματισμένο κουμπί, το εικονίδιο αλλάζει χρώμα από λευκό, στο χρώμα που πατήθηκε. Επειδή οι ρόλοι έχουν βαθμό (arity) $k = 2$, τα εικονίδια ρόλων χωρίζονται σε δύο χρώματα.

Ανάλογα με τον τρόπο που προστέθηκε ένα στοιχείο καθορίζεται και το χρώμα του. Εάν προστέθηκε με το κουμπί πρόσθεσης μοναδικού στοιχείου (αυτό με το σύμβολο του σταυρού δηλαδή) τότε το στοιχείο εμφανίζεται λευκό εάν είναι έννοια ή λευκό και μπλε εάν είναι ρόλος.

Κάτω από τη λίστα, πατώντας το κουμπί "Show" εμφανίζεται το σχηματισμένο ερώτημα. Κάτω από αυτό, βρίσκεται το κουμπί "Rewrite" που εμφανίζει τα επανεγγραμμένα ερωτήματα και κάτω και από αυτούς οι όροι κλειδιά για τη μηχανή αναζήτησης, σε δύο διαφορετικά πλαίσια. Οι όροι αυτοί θα εμφανιστούν όταν ο χρήστης πατήσει το πλαίσιο.



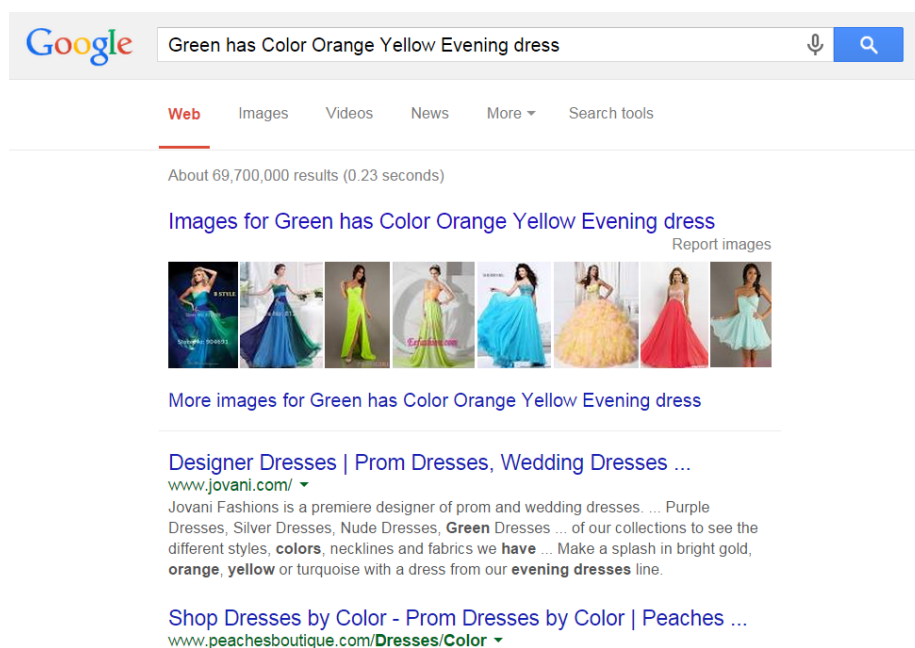
Σχήμα 12: Οι επαναγραφές και οι λέξεις κλειδιά.

Δίπλα σε κάθε ένα από αυτά βρίσκεται ένα κουμπί με μία κλειψύδρα που εκτελεί αυτόματα την αντίστοιχη αναζήτηση στη δημοφιλή μηχανή αναζήτησης Google, και μεταφέρει το χρήστη στη σελίδα με τα αποτελέσματα σε μια νέα καρτέλα.

Αυτή η πρώτη έκδοση του εργαλείου σταματά εδώ. Η εφαρμογή για την ώρα, ουσιαστικά χρησιμοποιεί την οντολογική γνώση για να υποστηρίξει τον χρήστη που προσπαθεί να κάνει μια αναζήτηση στον παγκόσμιο ιστό. Οι αναζητήσεις που παρουσιάζονται έχουν και το μεγάλο πλεονέκτημα να περιέχουν την γνώση που κρύβεται στην οντολογία. Ενώ δεν έχουμε πραγματοποιήσει ένα υποσύστημα που κάνει όλες αυτές τις αναζητήσεις ταυτόχρονα, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μια από αυτές και να την πραγματοποιήσει μόνος του. Το πλεονέκτημα είναι ότι οι χρήστες που δεν ήταν σίγουροι για το τι γνώση κρύβει η οντολογία, επωφελούνται από αυτές τις αναζητήσεις που τους παρέχονται. Είναι αναζητήσεις που δεν θα μπορούσαν να διατυπώσουν μόνοι τους, αλλά τώρα που τις έχουν πρόχειρες μπορούν να βοηθηθούν απλά επιλέγοντας την καταλληλότερη.

4.2 Λογισμικό

Η εφαρμογή αυτή γράφτηκε στη γλώσσα προγραμματισμού Java. Για την επεξεργασία οντολογιών χρησιμοποιήθηκε το OWLAPI σε συνδυασμό με τον συλλογιστή Hermit. Η επαναγραφή ερωτημάτων γίνεται με το σύστημα Rapid. Το backend χρησιμοποιεί την τεχνολογία Java Servlets για την επικοινωνία του εξυπηρετητή, ο οποίος είναι ένας Apache Tomcat 7.1. Η ιστοσελίδα είναι μια μοναδική σελίδα html που χρησιμοποιεί javascript και jQuery για την ανανέ-



Σχήμα 13: Αποτελέσματα σε μηχανή αναζήτησης.

ωση του περιεχομένου της και Bootstrap Js για την ρύθμιση του οπτικού περιεχομένου. Η σελίδα χρησιμοποιεί και το jQueryUI για τις ειδικές λειτουργίες που παρέχει. Τα δεδομένα που ανταλλάσσονται μεταξύ ιστοσελίδας και εξυπηρετητή κωδικοποιούνται στη σειριοποίηση JSON.

4.2.1 Το OWL API

Το OWL API [HB11]⁴ είναι ένα API της Java που χρησιμοποιείται για την δημιουργία, επεξεργασία και σειριοποίηση οντολογιών γραμμένες στη γλώσσα OWL. Η τελευταία έκδοση του API επικεντρώνεται στην OWL 2. Η αρχική του έκδοση αναπτύχθηκε ως τμήμα του έργου WonderWeb, η δεύτερη έκδοσή του για τα έργα CO-ODE και TONES, ενώ η τελευταία έκδοση 3.0.0 αναπτύχθηκε κυρίως από το πανεπιστήμιο του Manchester. Η εφαρμογή είναι ανοιχτού κώδικα και διατίθεται στις άδειες LGPL και Apache.

Το OWL API περιλαμβάνει διάφορα υποσυστήματα, τα σημαντικότερα εκ των οποίων είναι: Ένα API που υλοποιεί τα πρότυπα της OWL 2 Συντακτικούς αναλυτές (parsers) για ανάγνωση και εγγραφή στις σειριοποιήσεις RDF/XML, OWL/XML, Turtle και για την σύνταξη σειριακού τύπου της OWL Διεπαφές για συλλογιστές όπως οι FaCT++, Hermit, Pellet και Racer.

4.2.2 Ο συλλογιστής Hermit

Ο Hermit⁵ [SMHo8] [GHM⁺14] είναι ένας συλλογιστής ελεύθερου λογισμικού για την OWL 2 που έχει υλοποιηθεί σε Java. Αναπτύχθηκε από την ομάδα

⁴<http://hhttp://owlapi.sourceforge.net/>

⁵<http://hermit-reasoner.com/>

Πληροφοριακών Συστημάτων του Τμήματος Επιστήμης των Υπολογιστών του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης και διατίθεται δωρεάν υπό την άδεια LGPL. Είναι πλήρως συμβατός με την άμεση σημασιολογία της OWL 2 (αντίστοιχα της περιγραφικής λογικής *SRIQ*) σύμφωνα με τα πρότυπα της W3C και υποστηρίζει όλη την εκφραστικότητα της γλώσσας συμπεριλαμβανομένων όλων των τύπων δεδομένων.

Ο αλγόριθμος που υλοποιείται στον HermiT βασίζεται σε τεχνικές συλλογιστικής *hypertableau*. Οι εν λόγω τεχνικές που αποφεύγουν τις μη ντετερμινιστικές συμπεριφορές των λογισμών *tableau*. Επιπλέον, ο αλγόριθμος υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα βελτιστοποιήσεων που αφορούν στην απόδοση της διαδικασίας συλλογιστικής σε σενάρια χρήσης πραγματικών οντολογιών. Εκτός από τις υπηρεσίες συλλογιστικής για τον έλεγχο υπαγωγής, προσφέρει υπηρεσίες κατηγοριοποίησης κλάσεων και ιδιοτήτων καθώς και μια σειρά από χαρακτηριστικά που υπερβαίνουν το πρότυπο της OWL 2, όπως οι ασφαλείς DL SWRL κανόνες.

Οι χρήστες μπορούν να αλληλεπιδρούν με τον συλλογιστή μέσω τριών διαφορετικών διεπαφών: μιας εγγενούς Java διεπαφής, του OWL API και μιας διεπαφής γραμμής εντολών. Η εγγενής διεπαφή ανάγει τις τυπικές διεργασίες συλλογιστικής σε έλεγχο συνέπειας της οντολογίας. Επίσης υλοποιεί την διεπαφή *OWLReasoner* του OWL API, που επιτρέπει στον HermiT να χρησιμοποιηθεί από οποιαδήποτε εφαρμογή βασίζεται στο OWL API. αναπαράσταση των δομές Η διεπαφή γραμμής εντολών επιτρέπει στους χρήστες να καλέσουν κάποιες βασικές εργασίες συλλογιστικής από τη γραμμή εντολών. Έτσι για παράδειγμα, είναι δυνατή η χρήση του HermiT χωρίς κάποια προηγούμενη ρύθμιση (π.χ. χωρίς να χρειάζεται να γραφεί κάποιο πρόγραμμα σε Java που να καλεί μια διεπαφή του συλλογιστή). Επίσης ο HermiT υπάρχει σαν εγκατεστημένη διεπαφή στο Protégé 4.3 ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με το Protégé 4.1 beta και τις μετέπειτα εκδόσεις που είναι συμβατές με το OWL API 3.0.

μετά από επανεκκίνηση ο HermiT και

4.2.3 Το σύστημα Rapid

Ένα από τα γρηγορότερα συστήματα επαναγραφής ερωτημάτων είναι το Rapid. [TSCS13]⁶ Βασίζεται σε μια συλλογή βελτιστοποιήσεων στον αλγόριθμο της ανάλυσης όταν αυτός εφαρμόζεται στην επαναγραφή συζευκτικών ερωτημάτων σε οντολογίες DL – Lite_R και *ELHI*. Η απόδοσή του προκύπτει από την επιλεκτική χρήση κανόνων ανάλυσης.

Αντί να εκτελεί τους κανόνες προκαλώντας τον κορεσμό του ερωτήματος, εκμεταλλευόμενο τη δομή του ερωτήματος εκτελεί μια ακολουθία περιορισμένων και στοχευμένων κανόνων, ούτως ώστε να καταλήξει σε επαναγραφές που δεν περιέχουν αντίγραφα. Με αυτόν τον τρόπο, αποφεύγεται ένας μεγάλος αριθμός συμπερασμάτων που οδηγούν σε προβλήματα κλιμάκωσης, ελέγχους υπαγωγής και περιττών επαναγραφών, διαδικασίες που συνολικά ανεβάζουν πολύ το υπολογιστικό κόστος.

Η διαδικασία που ακολουθεί αποτελείται από τέσσερα κύρια βήματα. Πρώτα ένα βήμα προτασιοποίησης (*clausification step*), όπου η οντολογία (δηλαδή το TBox) μετατρέπεται σε ένα σύνολο από προτάσεις, με τη χρήση κλασικών μεθόδων όπως οι συναρτήσεις *skolem*. Στη συνέχεια το βήμα συρρίκνωσης (*shrin-*

⁶<http://www.image.ece.ntua.gr/~achort/>

king step), όπου αυτές οι προτάσεις χρησιμοποιούνται επιλεκτικά στους κανόνες της μεθόδου της ανάλυσης, ώστε να παραχθούν επαναγραφές του αρχικού ερωτήματος. Τρίτον, το βήμα της αναδίπλωσης (unfolding), που χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα του προηγούμενου βήματος για να υπολογίσει εναπομένουσες επαναγραφές. Τέλος, η αφαίρεση πλεονασμών (redundancy removal), στο οποίο βήμα αφαιρούνται οι περιττές επαναγραφές που παρήχθησαν. Το βήμα αυτό εκμεταλλεύεται το ότι τα προηγούμενα βήματα παράγουν πολύ λιγότερες επαναγραφές σε σχέση με άλλα συστήματα και ότι μπορεί να παραλείψει κάποιους ελέγχους πλεονασμών αφού το βήμα unfolding εγγυάται την μη παραγωγή ορισμένων συνόλων με επαναγραφές.

Το εργαλείο αναπτύχθηκε στο ΕΜΠ και είναι ανοιχτού κώδικα. Στην αρχική του μορφή υποστήριζε μόνο την DL-Lite αλλά πλέον μπορεί να επεξεργαστεί και TBoxes σε ELHI. Σε δημοσιευμένα δοκιμαστικά επιδόσεων βρέθηκε ότι είναι άκρως ανταγωνιστικό (state of the art) και σε περιπτώσεις με πολύ μεγάλες και σύνθετες οντολογίες ξεπερνά κατά πολύ τα υπόλοιπα συστήματα.

4.3 Ανάλυση επιμέρους τμημάτων

Εδώ αναλύουμε μερικές λεπτομέρειες για τη λειτουργία της εφαρμογής.

4.3.1 Έναρξη της εφαρμογής

Θα παρουσιάσουμε πρώτα τις λειτουργίες εκκίνησης του περιβάλλοντος εξυπηρετητή (backend) της εφαρμογής. Με την φόρτωση της εφαρμογής εκτελούνται οι παρακάτω διαδικασίες.

- Ξεκινά το servlet που εξυπηρετεί την εφαρμογή.
- Φορτώνεται στη μνήμη η οντολογία που χρησιμοποιείται.
- Φορτώνεται ο συλλογιστής Hermit.
- Η οντολογία αναλύεται για ικανοποιησιμότητα από τον συλλογιστή και εξάγονται όλοι οι ρόλοι και οι έννοιες που περιέχει. Από αυτό το βήμα παίρνουμε τις ονομασίες τους και τα αντικείμενα του OWLAPI τους, δηλαδή τις εσωτερικές αναπαραστάσεις για ρόλους και έννοιες του API. Όλα αυτά αποθηκεύονται σε ευρετήρια της Java στη μνήμη του εξυπηρετητή.
- Όλα τα ονόματα των ρόλων και των εννοιών αποθηκεύονται σε μια λίστα (αντίστοιχο αντικείμενο της Java) που χρησιμοποιείται για την φόρμα αυτόματης συμπλήρωσης.
- Το σύστημα έχει ξεκινήσει.

Αφού έχουν ολοκληρωθεί όλα αυτά, η εφαρμογή είναι έτοιμη για χρήση.

4.3.2 Εύρεση σχέσεων υπαγωγής

Για κάθε επιλεγμένη έννοια ή ρόλο η εφαρμογή καλείται να υπολογίσει τους υπό και υπέρ ρόλους ή έννοιες. Στην περίπτωση που έχουμε έναν ρόλο δε, ζητούνται και το σύνολο τιμών του και το πεδίο ορισμού του, δηλαδή όλες οι έννοιες των οποίων τα στιγμιότυπα ορίζονται μέσω σχέσεων ισχυρισμού με το ρόλο.

Για όλα αυτά υπάρχουν αντίστοιχες μέθοδοι στο OWLAPI για όλες τις ρητά δηλωμένες σχέσεις στην οντολογία, ενώ με τον Hermit, μπορούμε να βρούμε και τις υπονοούμενες.

Μας ενδιαφέρει επίσης για κάθε έννοια να βρούμε τους ρόλους που την περιέχουν στο πεδίο ορισμού τους. Αυτή η λειτουργία δεν διατίθεται αυτόματα από το OWLAPI οπότε την υλοποιούμε με έναν βρόγχο επανάληψης που για μια δεδομένη έννοια, ανατρέχει στη λίστα όλων των ρόλων της οντολογίας. Σε κάθε ρόλο ελέγχεται εάν η έννοια υπάρχει στο πεδίο ορισμού ή στο σύνολο τιμών και εάν αυτό ισχύει, τότε το όνομα του ρόλου προστίθεται στην αντίστοιχη λίστα. Η διαδικασία αυτή είναι αρκετά απλή για να μην είναι αναγκαίο να την παρουσιάσουμε σε μορφή αλγορίθμου.

4.3.3 Κατασκευή ερωτημάτων

Όπως είπαμε, κάθε εικονίδιο στην οριζόντια λίστα κατασκευής ερωτημάτων σχετίζεται με ένα ή δύο χρώματα και το όνομα του ρόλου ή της έννοιας που αντιπροσωπεύει. Αυτά τα δεδομένα εξάγονται από τη λίστα στη μορφή τριών αντικειμένων σειρών (array) στον κώδικα της σελίδας. Η αντιστοιχία στην κάθε σειρά είναι ίδια με τη σειριοποίηση της λίστας. Η μία σειρά αποθηκεύει τα ονόματα των εικονιδίων, η δεύτερη το πρώτο χρώμα και η τρίτη αποθηκεύει το δεύτερο χρώμα όταν το αντικείμενο αναφέρεται σε ένα ρόλο ή παίρνει την τιμή “none” όταν αναφέρεται σε μια έννοια.

Κάθε φορά που η λίστα αλλάζει, οι τρεις αυτές arrays αποστέλλονται σε σειριοποίηση JSON στον εξυπηρετητή. Με τη χρήση βρόγχων επανάληψης, αυτές αναλύονται και γίνεται η κατασκευή του επερωτήματος χρησιμοποιώντας το API του Rapid που υποστηρίζει αυτές τις λειτουργίες. Συγκεκριμένα, για κάθε διαφορετικό όνομα ανατρέχουμε στα ευρετήρια που έχουμε δημιουργήσει προηγουμένως και παίρνουμε το IRI της έννοιας ή ρόλου. Χρησιμοποιώντας αυτό και το χρώμα (ή τα χρώματα) του κάθε εικονιδίου, το οποίο αντιστοιχεί μονοσήμαντα με ένα γράμμα για μια μεταβλητή, κατασκευάζουμε ένα νέο άτομο για το σώμα του συζευκτικού ερωτήματος και το προσθέτουμε.

Το κατασκευασμένο επερώτημα είναι τελικά μια συμβολοσειρά που αποστέλλεται πίσω στην ιστοσελίδα και παρουσιάζεται στο χρήστη κάτω από τη λίστα κατασκευής ερωτημάτων.

4.3.4 Επαναγραφή ερωτημάτων και μετατροπή σε αναζήτηση ιστού

Αφού ο χρήστης ολοκληρώσει την κατασκευή της αναζήτησής του και πατήσει το κουμπί υποβολής, το τελευταίο ερώτημα που είχε κατασκευαστεί στο περιβάλλον του εξυπηρετητή τροφοδοτείται στον αλγόριθμο του Rapid και αναγράφεται. Από τα ερωτήματα της επαναγραφής αυτή τη φορά χρησιμοποιούμε το API του Rapid για να πάρουμε τα ονόματα των εννοιών ή των ρόλων. Τα ονόματα του κάθε ερωτήματος που προκύπτει τοποθετούνται σε μια συμβολοσειρά χωρισμένες με κενό, ισοδυναμούν δηλαδή με το ερώτημα εάν αφαιρεθεί η κωδικοποίηση σε IRI, οι παρενθέσεις και οι μεταβλητές. Η κάθε συμβολοσειρά αποτελεί μια αναζήτηση με λέξεις κλειδιά, που μπορεί να τροφοδοτηθεί σε μια συμβατική μηχανή αναζήτησης μέσω του αντίστοιχου API της.

5 Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις

Έως τώρα παρουσιάσαμε μια εφαρμογή, της οποίας η βασική χρηστικότητα ισχυριστήκαμε πως είναι η υποστήριξη ενός χρήστη που επιθυμεί να πραγματοποιήσει αναζητήσεις στον παγκόσμιο ιστό, που αφορούν εξειδικευμένα θέματα με ορολογία που αυτός δεν κατέχει. Οι επεκτάσεις αυτού του συστήματος μπορούν να αφορούν περαιτέρω βελτιώσεις λεπτομερειών του συστήματος, ή και αλλαγές στον κορμό της εφαρμογής.

5.1 Βελτιώσεις

Μία πιθανή βελτίωση του συστήματος αφορά την εύρεση σχέσεων υπαγωγής. Στην παρούσα υλοποίηση της εφαρμογής, αυτές οι διαδικασίες γίνονται σε πραγματικό χρόνο. Αυτός ίσως δεν είναι ο βέλτιστος τρόπος αφού ανάλογα με τη χρήση της εφαρμογής, ίσως βόλευε να γίνεται με την φόρτωση της οντολογίας. Θα είχαμε έτσι μια ανταλλαγή του χρόνου εκτέλεσης των διαδικασιών με χώρο στη μνήμη, που ίσως να ήταν επιθυμητή. Παρόλα αυτά, αφού αυτή είναι μια πρώτη εξερευνητική εφαρμογή και δεν πρόκειται να διατεθεί ακόμα για χρήση, δεν αφοσιωθήκαμε σε αυτή τη βελτιστοποίηση. Ιδανικά πρέπει να γίνει μια ανάλυση των εναλλακτικών και αποφανθούμε ποια είναι η βέλτιστη λύση.

Άλλη μια βελτίωση θα έρθει από το να δοθεί στους χρήστες η δυνατότητα να ανεβάσουν τη δική τους οντολογία στο σύστημα. Κάτι τέτοιο δεν είναι πολύ δύσκολο να γίνει, αλλά ξανά δεν ήταν αναγκαίο για μια υλοποίηση σε τόσο αρχικό στάδιο.

Μικρότερες βελτιώσεις θα μπορούσαν να γίνουν με προσθήκες περαιτέρω λειτουργιών. Μια από αυτές είναι η προσθήκη ενός κουμπιού αναιρέσης της τελευταίας ενέργειας. Αυτό σίγουρα θα είναι χρήσιμο ειδικά αφού δίνουμε τη δυνατότητα στους χρήστες να προσθέσουν πολλούς όρους στο ερώτημα ταυτόχρονα.

Μια σημαντική βελτίωση είναι η επιλογή χρωμάτων με διαφορετικούς βαθμούς κορεσμού. Κορεσμός του χρώματος είναι η περιεκτικότητά του σε μαύρο. Χρήστες με δυσκολία αντίληψης χρωμάτων θα έχουν μικρότερη δυσκολία στη χρήση αφού για αυτούς οι επιλογές θα γίνονται ανάμεσα σε διαφορετικές αποχρώσεις του γκρι.

Τέλος, θα μπορούσαν να εξεταστούν διαφορετικές παρουσιάσεις του πλαισίου με τα στοιχεία της οντολογίας. Το Pinterest (website) είναι μάλλον το πιο γνωστό εργαλείο οπτικής πλοήγησης σε δεδομένα και διαθέτει μια μπάρα κατευθυνόμενης αναζήτησης (guided search bar) σε συνδυασμό με μια αναζήτηση όψεων. Αυτή η φαινομενικά απλή μπάρα απλοποιεί πολύ την περιήγηση στα δεδομένα και σίγουρα θα θέλαμε να την υιοθετήσουμε σε μια βελτίωση του γραφικού περιβάλλοντος. Σημειώνουμε ότι το Pinterest περιορίζει τις ανασημάνσεις των δεδομένων σε microformats (με την ονομασία rich pins) και όχι RDF ή άλλα linked data.

5.2 Επεκτάσεις

Η πρώτη βασική επέκταση που μπορεί να γίνει σε αυτό το σύστημα είναι η σύνδεσή του με ένα σύστημα αποθήκευσης τριάδων RDF (triplestore). Αυτό μπορεί να γίνει για να δοθεί στον χρήστη η δυνατότητα να κάνει παράλληλες αναζητήσεις στον ιστό και στα αποθηκευμένα δεδομένα. Αυτό θα επιτρέψει και την

πλήρη αναζήτηση με όψεις. Τα δεδομένα των όψεων δεν θα είναι πλέον μόνο η ορολογία της υποκείμενης οντολογίας, αλλά θα εμπλουτιστούν και με τα ονοματισμένα στιγμιότυπα.

Αυτό θα ανοίξει δρόμο και για άλλα πλεονεκτήματα. Δυνητικά, θα μπορεί να δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα να αναζητήσει μια έννοια μέσω του ονόματος κάποιου στιγμιότυπου της. Αναφέραμε και προηγουμένως ότι σε αυτή την υλοποίηση δεν υποστηρίζεται ούτε η αναζήτηση με συνώνυμα, εκτός αν έχουν οριστεί ως ισοδύναμες κλάσεις στην οντολογία.

Άλλη μια βελτίωση του συστήματος αφορά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων μετά την αναζήτηση στον ιστό. Για την ώρα ενώ υπάρχει η δυνατότητα στον κώδικα να γίνει αναζήτηση στον ιστό, αυτή δεν πραγματοποιείται και απλά εμφανίζονται στο χρήστη οι φράσεις με λέξεις κλειδιά. Θα είναι απίθανο να μην προκύπτουν πολλαπλές σελίδες από τη μηχανή αναζήτησης και θεωρούμε ότι η συχνότητα εμφάνισης θα είναι δείκτης της συνάφειας με την αρχική αναζήτηση. Πρώτο πράγμα λοιπόν που πρέπει να γίνει είναι να φτιαχτεί μια μέθοδος που να αθροίζει τα αποτελέσματα από τις αναζητήσεις και να τα εμφανίζει με σειρά συχνότητας εμφάνισης. Στο απώτερο μέλλον αυτό θα μπορεί να αντικατασταθεί από αλγορίθμους μηχανικής μάθησης (clustering). Σημειώνουμε ότι μια δυσκολία σε μια τέτοια υλοποίηση είναι το γεγονός ότι οι περισσότερες μηχανές αναζήτησης περιορίζουν πολύ τις αλγοριθμικές επαναλήψεις σε αναζητήσεις, εκτός εάν κάποιος χρησιμοποιήσει το API τους το οποίο τις περισσότερες φορές γίνεται επί πληρωμή.

Με τις δύο αυτές επεκτάσεις, το σύστημα με μετέπειτα κατάλληλες μετατροπές θα μπορέσει ίσως να αποτελέσει και ένα εργαλείο για τον εμπλουτισμό των δεδομένων με καινούργια στιγμιότυπα από τον ιστό. Αντίστοιχες τεχνικές έχουν ήδη υλοποιηθεί στον κλάδο της εκμάθησης οντολογιών (ontology learning).

5.3 Συμπεράσματα

Το εργαλείο που παρουσιάσαμε σε αυτή την εργασία είναι μια πρώτη προσπάθεια για ένα τέτοιο σύστημα. Ελπίζουμε από το σύνολο του κειμένου της εργασίας να μεταφέραμε στους αναγνώστες την σημαντικότητα των δυνατοτήτων του σημασιολογικού ιστού. Η αναζήτηση στο μέλλον αδιαμφισβήτητα θα παρέχει αυτές τις δυνατότητες και επαναλαμβάνουμε άλλη μια φορά ότι όσο αυξάνονται οι χρήστες των εφαρμογών που ξεκινούν από τώρα να παρέχουν αυτή τη λειτουργικότητα, τόσο πιο γρήγορα θα οδηγηθούμε στο μέλλον.

Αναφορές

- [ACGK⁺14] Marcelo Arenas, Bernardo Cuenca Grau, Evgeny Kharlamov, Sarunas Marciuska, and Dmitriy Zheleznyakov. Faceted search over ontology-enhanced rdf data. In *Proceedings of the 23rd ACM International Conference on Conference on Information and Knowledge Management, CIKM '14*, pages 939–948, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [AFF⁺13] Claudia Amato, Nicola Fanizzi, Bettina Fazzinga, Georg Gottlob, and Thomas Lukasiewicz. Semantic web search and inductive reasoning. In Fernando Bobillo, Paulo C.G. Costa, Claudia d'Amato, Nicola Fanizzi, Kathryn B. Laskey, Kenneth J. Laskey, Thomas Lukasiewicz, Matthias Nickles, and Michael Pool, editors, *Uncertainty Reasoning for the Semantic Web II*, volume 7123 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 237–261. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [BCM⁺03] Franz Baader, Diego Calvanese, Deborah L. McGuinness, Daniele Nardi, and Peter F. Patel-Schneider, editors. *The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications*. Cambridge University Press, New York, NY, USA, 2003.
- [BG01] Leo Bachmair and Harald Ganzinger. Resolution theorem proving. In *Handbook of Automated Reasoning*, pages 19–99. Elsevier and MIT Press, 2001.
- [BvHH⁺04] Sean Bechhofer, Frank van Harmelen, James Hendler, Ian Horrocks, Deborah L. McGuinness, Peter F. Patel-Schneider, and Lynn Andrea Stein eds. Owl web ontology language reference. URL <http://www.w3.org/TR/owl-ref/>, Feb 2004.
- [BYR10] Ricardo Baeza-Yates and Prabhakar Raghavan. Chapter 2: Next generation web search. In Stefano Ceri and Marco Brambilla, editors, *Search Computing*, volume 5950 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 11–23. Springer Berlin Heidelberg, 2010.
- [Dir12] A Direct Mapping of relational data to RDF. W3C Recommendation, 2012.
- [Fado8] Amineh Fadhil. Onto vql : Ontology visual query language. 2008.
- [FGGL10] Bettina Fazzinga, Giorgio Gianforme, Georg Gottlob, and Thomas Lukasiewicz. Semantic web search based on ontological conjunctive queries. In Sebastian Link and Henri Prade, editors, *Foundations of Information and Knowledge Systems*, volume 5956 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 153–172. Springer Berlin Heidelberg, 2010.
- [FL10] Bettina Fazzinga and Thomas Lukasiewicz. Semantic search on the web. *Semantic Web*, 1(1-2):89–96, 2010.

- [GHM⁺14] Birte Glimm, Ian Horrocks, Boris Motik, Giorgos Stoilos, and Zhe Wang. Hermit: An owl 2 reasoner. *J. Autom. Reason.*, 53(3):245–269, October 2014.
- [HB11] Matthew Horridge and Sean Bechhofer. The owl api: A java api for owl ontologies. *Semant. web*, 2(1):11–21, January 2011.
- [HKS06] Ian Horrocks, Oliver Kutz, and Ulrike Sattler. The even more irresistible *SR_{OTQ}*, 2006.
- [Hod14] Wilfrid Hodges. Tarski’s truth definitions. In Edward N. Zalta, editor, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Fall 2014 edition, 2014.
- [JF03] Sowa JF. *Ontology*, 2003.
- [KZ14] Roman Kontchakov and Michael Zakharyashev. An introduction to description logics and query rewriting. In Manolis Koubarakis, Giorgos Stamou, Giorgos Stoilos, Ian Horrocks, Phokion Kolaitis, Georg Lausen, and Gerhard Weikum, editors, *Reasoning Web. Reasoning on the Web in the Big Data Era*, volume 8714 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 195–244. Springer International Publishing, 2014.
- [OP11] Giorgio Orsi and Andreas Pieris. Optimizing query answering under ontological constraints. *PVLDB*, 4(11):1004–1015, 2011.
- [OWL12] OWL 2 Web Ontology Language document overview (second edition). W3C Recommendation, 2012.
- [R2R12] R2RML: RDB to RDF Mapping Language. W3C Recommendation, 2012.
- [SGJR⁺13] Ahmet Soylu, Martin Giese, Ernesto Jimenez-Ruiz, Evgeny Kharlamov, Dmitry Zheleznyakov, and Ian Horrocks. Optiquevqs □ towards an ontology-based visual query system for big data. In *International Conference on Management of Emergent Digital EcoSystems (MEDES 2013)*. ACM, 2013.
- [SMH08] Rob Shearer, Boris Motik, and Ian Horrocks. Hermit: A Highly-Efficient OWL Reasoner. In Alan Ruttenberg, Ulrike Sattler, and Cathy Dolbear, editors, *Proc. of the 5th Int. Workshop on OWL: Experiences and Directions (OWLED 2008 EU)*, Karlsruhe, Germany, October 26–27 2008.
- [TSCS13] Despoina Trivela, Giorgos Stoilos, Alexandros Chortaras, and Giorgos Stamou. Optimising resolution-based rewriting algorithms for dl ontologies. In *Proceedings of the 26th Workshop on Description Logics (DL 2013)*, Ulm, Germany, 2013.