



# Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Τομέας Τεχνολογίας Πληροφορικής και Υπολογιστών

## Σημειολογική διαχείριση μεταδεδομένων πολιτιστικού περιεχομένου

### Διπλωματική Εργασία

της

**ΜΑΡΘΑΣ Μ. ΙΜΠΡΙΑΛΟΥ**

**Επιβλέπων:** Γιώργος Στάμου  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Εργαστήριο Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνων, Βίντεο και Πολυμέσων  
Αθήνα, Ιούλιος 2010





Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών  
Τομέας Τεχνολογίας Πληροφορικής και Υπολογιστών  
Εργαστήριο Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνων, Βίντεο και Πολυμέσων

## Σημειολογική διαχείριση μεταδεδομένων πολιτιστικού περιεχομένου

### Διπλωματική Εργασία

της

**ΜΑΡΘΑΣ Μ. ΙΜΠΡΙΑΛΟΥ**

**Επιβλέπων:** Γιώργος Στάμου  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 15<sup>η</sup> Ιουλίου 2010.

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....  
Γιώργος Στάμου

.....  
Στέφανος Κόλλιας

.....  
Ανδρέας-Γεώργιος  
Σταφυλοπάτης

Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2010



(Υπογραφή)

.....  
**Μάρθα Ιμπριάλου**

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών  
Ε.Μ.Π.

©2010 – All rights reserved

Copyright ©–All rights reserved Μάρθα Ιμπριάλου, 2010.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνίου.

# Περίληψη

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των δυνατοτήτων Σημασιολογικής Διαχείρισης Μεταδεδομένων Πολιτιστικού Περιεχομένου, στα πλαίσια της ανάπτυξης τεχνολογιών Σημασιολογικού Ιστού. Η εργασία εστιάζει στην εννοιολογική μοντελοποίηση πολυμεσικών δεδομένων, τα οποία συγκεντρώνουν σήμερα το ενδιαφέρον των χρηστών του Παγκόσμιου Ιστού. Σκοπός είναι η μελέτη των δυνατοτήτων σημασιολογικής αναπαράστασης και αναζήτησης πολυμεσικής πληροφορίας.

Στα πλαίσια της εργασίας αναπτύχθηκε μία οντολογία η οποία περιγράφει τα πολυμεσικά δεδομένα των μεγαλύτερων ευρωπαϊκών τηλεοπτικών αρχείων, τα οποία συγκεντρώνονται στη διαδικτυακή πύλη Video Active. Στόχος του Video Active είναι το ψηφιακό περιεχόμενο των τηλεοπτικών αρχείων να γίνει διαθέσιμο προς μελέτη για ακαδημαϊκούς και εκπαιδευτικούς σκοπούς, επομένως η σημασιολογική αναπαράσταση των δεδομένων, η οποία δίνει τη δυνατότητα οργάνωσης και σύγκρισης του περιεχομένου, αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές απαιτήσεις.

Η οντολογία έχει αναπτυχθεί σε Περιγραφική Λογική και αναπαριστά το σχήμα μεταδεδομένων που χρησιμοποιεί σήμερα το Video Active, παρουσιάζοντας παράλληλα μία μεθοδο για την αναπαράσταση πολιτιστικών μεταδεδομένων συνολικά. Η επιτυχία του συστήματος αξιολογείται με βάση τις δυνατότητες σημασιολογικής αναζήτησης στα ίδια τα δεδομένα των τηλεοπτικών αρχείων. Με βάση τα αποτελέσματα που εξάγονται γίνεται αποτίμηση των πλεονεκτημάτων της σημασιολογικής αναπαράστασης στην ανάκτηση πληροφορίας από τον Παγκόσμιο Ιστό.



# Abstract

The aim of this diploma thesis is to study the main aspects of the Semantic Representation of Cultural Metadata, as a part of the research in the field of the Semantic Web. The thesis focuses in conceptual modeling of multimedia, which are of great interest in the research of the Semantic Web since they are becoming extremely popular among the users of the Web. We therefore study the possibility of semantically representing and searching for multimedia information.

In this thesis, we present an ontology to represent the digital content of the greatest european audiovisual archives, which is integrated in the Video Active portal. Since Video Active brings together audiovisual archives in order to make their content available for academic and educational purposes, semantic representation of data, that allows the content to be organized and compared, is one of the most important requirements.

The ontology is developed in Description Logics and it describes the Video Active's set of metadata elements, while it also attempts to present a method for representing cultural metadata. The system is evaluated using the digital content of the audiovisual archives. The results of the evaluation enable us to discuss the importance of semantic representation to information retrieval from the Web.





# Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ τον καθηγητή μου, κύριο Γιώργο Στάμου για την εποικοδομητική συνεργασία μας, την καθοδήγησή του και την ευκαιρία που μου προσέφερε για να ασχοληθώ με ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον και καίριο επιστημονικό αντικείμενο.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Τάσο Βενέτη, υποψήφιο διδάκτορα του εργαστηρίου ψηφιακής επεξεργασίας Εικόνας, Βίντεο και Πολυμέσων, για τη βοήθεια κατά την επίβλεψη της εργασίας αυτής καθώς και για τη στήριξη που μου παρείχε.

Ευχαριστώ επίσης τον κύριο Στέφανο Κόλλια, διευθυντή του Εργαστηρίου Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνων, Βίντεο και Πολυμέσων, καθώς και όλα τα μέλη του εργαστηρίου, για τη φιλοξενία και τη συνεργασία τους. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον ερευνητή του εργαστηρίου Βασίλη Τζουβάρα και τον ηλεκτρολόγο μηχανικό Κώστα Παρδάλη για τις συμβουλές και τη βοήθειά τους σε κάθε δυσκολία που αντιμετώπισα κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Θέλω ακόμα να ευχαριστήσω τους καλούς μου φίλους Πέννη, Έλενα, Αντιγόνη, Μάρω, Πάνο και Γιάννη, που είναι πάντα δίπλα μου, για την κοινή πορεία της ζωής μας και για όλες τις όμορφες στιγμές που μοιραστήκαμε.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τους γονείς μου, Μάνθο και Κάτια, και την αδερφή μου Μαριάννα για την αμέριστη συμπαράστασή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Σε αυτούς οφείλω την πρόοδό μου σε κάθε σημαντικό βήμα της ζωής μου.



# Περιεχόμενα

<b>Περίληψη</b>	<b>i</b>
<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>Ευχαριστίες</b>	<b>v</b>
<b>Περιεχόμενα</b>	<b>1</b>
<b>Κατάλογος Σχημάτων</b>	<b>3</b>
<b>Κατάλογος Πινάκων</b>	<b>5</b>
<b>1 Εισαγωγή</b>	<b>7</b>
1.1 Αναπαράσταση Γνώσης στο Σημασιολογικό Ιστό . . . . .	7
1.2 Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας . . . . .	8
1.3 Οργάνωση κειμένου . . . . .	9
<b>2 Περιγραφικές Λογικές και Σημασιολογικός Ιστός</b>	<b>11</b>
2.1 Εισαγωγή . . . . .	11
2.1.1 Οι φάσεις ανάπτυξης των περιγραφικών λογικών . . . . .	12
2.2 Βάσεις Γνώσης . . . . .	14
2.2.1 Περιγραφικές Γλώσσες . . . . .	15
2.2.2 Σώμα ορολογίας . . . . .	20
2.2.3 Σώμα ισχυρισμών . . . . .	25
2.3 Εξαγωγή Συμπερασμάτων και Αλγόριθμοι Συλλογιστικής . . . . .	25
2.3.1 Συλλογιστική σε έννοιες . . . . .	26
2.3.2 Απαλοιφή του TBox . . . . .	28
2.3.3 Συλλογιστική σε ABox . . . . .	29
2.4 Η υπόθεση ανοιχτού και κλειστού κόσμου . . . . .	31
2.5 Αλγόριθμοι Συλλογιστικής . . . . .	32
2.6 Πολυπλοκότητα . . . . .	37

2.6.1	Πηγές πολυπλοκότητας . . . . .	37
2.6.2	Η συνέπεια ABox σε $\mathcal{ALC}$ είναι PSspace-complete . . . . .	38
2.6.3	Επίδραση εκφραστικότητα στην πολυπλοκότητα . . . . .	40
2.7	Αναπαράσταση Γνώσης στο Σημασιολογικό Ιστό . . . . .	41
2.7.1	Η γλώσσα OWL . . . . .	42
2.7.2	Η γλώσσα OWL 2 και οι υπογλώσσες της . . . . .	44
<b>3</b>	<b>Εννοιολογική Μοντελοποίηση με χρήση Περιγραφικών Λογικών</b>	<b>47</b>
3.1	Εισαγωγή . . . . .	47
3.2	Τεχνολογία Γνώσης . . . . .	47
3.3	Βασικές αρχές μοντελοποίησης με Περιγραφικές Λογικές . . . . .	49
3.4	Τα άτομα του κόσμου . . . . .	50
3.4.1	Τιμές και άτομα . . . . .	51
3.4.2	Άτομα και αναφορές σε αυτά . . . . .	51
3.5	Μοντελοποίηση Εννοιών . . . . .	52
3.5.1	Στοιχειώδεις και συμπτωματικές ιδιότητες . . . . .	52
3.5.2	Υλοποίηση Εννοιών . . . . .	53
3.5.3	Έννοιες εξαρτώμενες από σχέσεις . . . . .	54
3.6	Ταξονομίες . . . . .	54
3.6.1	Υποέννοιες . . . . .	55
3.7	Σημαντικές οντολογικές αποφάσεις για την κατασκευή της ταξονομίας . . . . .	57
3.7.1	Μετα-ιδιότητες ιδιοτήτων . . . . .	57
3.7.2	Κανόνες για την κατασκευή ταξονομίας . . . . .	59
3.8	Μοντελοποίηση σχέσεων . . . . .	60
3.8.1	Υλοποίηση σχέσεων . . . . .	61
3.8.2	Ιεραρχίες Ρόλων . . . . .	61
3.8.3	Επίλυση του προβλήματος πολυσημίας - Πραγματοποίηση . . . . .	62
3.8.4	Σχέσεις μέρους-όλου . . . . .	63
3.8.5	Γενικοί Περιορισμοί . . . . .	64
3.9	Μεθοδολογία ανάπτυξης οντολογιών . . . . .	64
3.10	Η μοντελοποίηση του ABox . . . . .	65
3.11	Συμπεράσματα . . . . .	66
<b>4</b>	<b>Αναζήτηση και παρουσίαση πολιτιστικού πολυμεσικού περιεχομένου στο Video Active</b>	<b>67</b>
4.1	Εισαγωγή . . . . .	67
4.2	Απαιτήσεις του συστήματος . . . . .	69
4.2.1	Ομάδες χρηστών . . . . .	70
4.2.2	Λειτουργικές Απαιτήσεις . . . . .	71

---

4.2.3	Μη λειτουργικές απαιτήσεις . . . . .	71
4.3	Αρχές Σχεδίασης . . . . .	72
4.3.1	Αρχιτεκτονική . . . . .	72
4.3.2	Σημασιολογική αποθήκευση και αναζήτηση . . . . .	72
4.3.3	Πολυγλωσσική πρόσβαση . . . . .	73
4.4	Το σχήμα μεταδεδομένων του Video Active . . . . .	74
<b>5</b>	<b>Ανάπτυξη της οντολογίας του Video Active</b>	<b>79</b>
5.1	Επισκόπηση . . . . .	79
5.2	Σχεδιασμός της οντολογίας . . . . .	80
5.3	Η οντολογία του SKOS . . . . .	89
5.4	Η οντολογία . . . . .	91
<b>6</b>	<b>Έλεγχος και αξιολόγηση του συστήματος</b>	<b>95</b>
6.1	Εισαγωγή . . . . .	95
6.2	Σενάρια χρήσης . . . . .	96
6.3	Συμπεράσματα . . . . .	98
	<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>100</b>
<b>A</b>	<b>Το σχήμα μεταδεδομένων του Video Active σε XML</b>	<b>107</b>



# Κατάλογος Σχημάτων

2.1	Σχήμα ενός συστήματος Περιγραφικής Λογικής . . . . .	15
2.2	Αρχιτεκτονική στρωμάτων του Σημασιολογικού Ιστού . . . . .	42
4.1	Στιγμιότυπο της αρχικής σελίδας του Video Active . . . . .	68
4.2	Η δομή του προτύπου Dublin Core . . . . .	69
4.3	Η σελίδα παρουσίασης των αποτελεσμάτων αναζήτησης . . . . .	70
4.4	Η αρχιτεκτονική του συστήματος . . . . .	73
4.5	Στιγμιότυπο του framework SIMILE . . . . .	74
5.1	Απεικόνιση σε γράφο της δομής του προτύπου SKOS . . . . .	90
5.2	Η περιγραφή της έννοιας Video στην οντολογία . . . . .	91
5.3	Η ταξινόμια των Genres και η περιγραφή της έννοιας Documentary . . . .	92
5.4	Στιγμιότυπο του ABox . . . . .	92





# Κατάλογος Πινάκων

2.1	Παράδειγμα μίας ορολογίας για τον κινηματογράφο . . . . .	21
2.2	Η επέκταση της ορολογίας του πίνακα 2.1 . . . . .	23
2.3	Παράδειγμα ABox . . . . .	25
2.4	ABox πάνω στο μύθο του Οιδίποδα . . . . .	32
2.5	Κανόνες Tableau για την $\mathcal{ALC}$ . . . . .	34
2.6	Οι κατασκευαστές της OWL . . . . .	43
2.7	Τα αξιώματα της OWL . . . . .	44
2.8	Σύνταξη και Σημασιολογία της $\mathcal{EL}++$ και της <b>OWL 2 EL</b> . . . . .	45
2.9	Σύνταξη και Σημασιολογία της DL-lite <sub>R</sub> και της <b>OWL 2 QL</b> . . . . .	46
4.1	Περιγραφή των XML elements . . . . .	77



# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

### 1.1 Αναπαράσταση Γνώσης στο Σημασιολογικό Ιστό

Ο Παγκόσμιος Ιστός, ως ένα σύστημα διασυνδεδεμένων “υπερκειμένων” μέσω του διαδικτύου, αποτελεί σήμερα την κύρια πηγή πληροφοριών. Η αναζήτηση πληροφορίας με εισαγωγή κειμένου και πλοήγηση σε συνδέσμους κάνει τον Παγκόσμιο Ιστό μία απλή, και επομένως ιδιαίτερα δημοφιλή εφαρμογή. Ωστόσο, η τεράστια συγκέντρωση πληροφορίας στον Παγκόσμιο Ιστό έχει οδηγήσει σε δυσκολία ανάκτησης πληροφορίας, δεδομένου ότι οι λέξεις κλειδιά που εισάγονται ως κριτήρια αναζήτησης περιέχονται σε πολυάριθμες, ετερογενείς πηγές. Η ανάγκη για συγκέντρωση πληροφορίας από διαφορετικές πηγές έχει οδηγήσει σήμερα στην ανάπτυξη εφαρμογών Web 2.0, εφαρμογών δηλαδή που επιτρέπουν στο χρήστη να διαμορφώνει το περιεχόμενο των ιστοσελίδων. Αν και ο στόχος της συγκέντρωσης πληροφορίας επιτυγχάνεται σε μεγάλο βαθμό μέσω αυτών των εφαρμογών, το πρόβλημα παραμένει, καθώς η σύνδεση των δεδομένων γίνεται χωρίς τυπική σημασιολογία, επομένως απαιτείται παρέμβαση του χρήστη για τον εντοπισμό και τη συσχέτιση πληροφοριών.

Ο *Σημασιολογικός Ιστός (Semantic Web)*[8] είναι η επέκταση του σημερινού ιστού που καλείται να επιλύσει αυτό το πρόβλημα. Με την ανάπτυξη του Σημασιολογικού Ιστού ευρύτερες ομάδες χρηστών θα έχουν πρόσβαση στην πληροφορία που δημοσιεύεται στον παγκόσμιο ιστό, ενώ παράλληλα θα υπάρχει η δυνατότητα αυτοματοποιημένης επεξεργασίας των δεδομένων. Η αυτοματοποίηση επιτυγχάνεται με την απόδοση τυπικής σημασιολογίας στην πληροφορία μέσω *μεταδεδομένων (metadata)*, δηλαδή δεδομένων που περιγράφουν τις ιδιότητες των δεδομένων που δημοσιεύονται. Η εννοιολογική μοντελοποίηση των δεδομένων πραγματοποιείται με την τυπική αναπαράσταση διαφόρων πεδίων ενδιαφέροντος σε μία *οντολογία*. Η οντολογία περιγράφει τυπικά και αιτιολογεί τη σημασιολογία διαφόρων πηγών πληροφοριών στο Σημασιολογικό Ιστό, ενώ παράλληλα απεικονίζει και τις μεταξύ τους σχέσεις, γεγονός που δίνει τη δυνατότητα *σημασιολογικής διαλειτουργικότητας (semantic interoperability)*. Η λειτουργία προγραμμάτων αυτο-

ματοποιημένης συλλογιστικής (*automated reasoners*) πάνω στις οντολογίες στοχεύει στην αυτόματη παραγωγή μεταδεδομένων και το σημασιολογικό χαρακτηρισμό της πληροφορίας.

Πιο συγκεκριμένα, μία *οντολογία* είναι ένας φορμαλισμός μέσω του οποίου αναπαρίσταται ένα μέρος του πραγματικού κόσμου, το οποίο ονομάζεται *πεδίο αναφοράς* (*Universe of Discourse*), με σαφή και τυπικό τρόπο. Η σαφήνεια επιτυγχάνεται με τη χρήση καλά ορισμένων δομών, για τις οποίες υπάρχει συμφωνία ανάμεσα στην οντολογία και τους χρήστες της εφαρμογής. Η τυπικότητα επιτυγχάνεται με τη χρήση γλωσσών βασισμένων στη λογική, οι οποίες είναι πλήρως ορισμένες, και το νόημά τους είναι κατανοητό από τον άνθρωπο. Έτσι, οι οντολογίες υποστηρίζουν τη συγκέντρωση και την ελεύθερη διάθεση της γνώσης κάνοντας την πληροφορία κατανοητή τόσο από τον άνθρωπο όσο και από διαφορετικά πληροφοριακά συστήματα.

## 1.2 Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας

Το περιεχόμενο του Παγκόσμιου Ιστού, γίνεται τα τελευταία χρόνια πολυμεσικό, με την έννοια ότι τα δεδομένα που δημοσιεύονται έχουν όλο και λιγότερο τη μορφή κειμένου και όλο και περισσότερο τη μορφή εικόνας, ήχου, video. Η φύση αυτών των δεδομένων δυσχεραίνει ακόμα περισσότερο τον εντοπισμό της επιθυμητής πληροφορίας, γεγονός που σε συνδυασμό με το τεράστιο ενδιαφέρον των χρηστών σε αυτά οδηγεί τα οπτικοακουστικά δεδομένα να αποτελούν ένα από τα πρώτα πεδία στα οποία εφαρμόζονται τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να εξεταστούν ζητήματα που αφορούν την εννοιολογική μοντελοποίηση μεταδεδομένων πολιτιστικού περιεχομένου και να μελετηθούν τα αποτελέσματα της χρήσης οντολογιών για την αναπαράσταση και τη σημασιολογική αναζήτηση πολυμεσικής πληροφορίας. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε μια οντολογία για πολιτιστικά μεταδεδομένα, η οποία βασίζεται στη διαδικτυακή πύλη Video Active. Το Video Active<sup>1</sup> συγκεντρώνει ψηφιοποιημένο οπτικοακουστικό υλικό από 14 τηλεοπτικά αρχεία από όλη την Ευρώπη, έτσι ώστε το υλικό αυτό να αξιοποιηθεί για τη μελέτη της ιστορίας των Ευρωπαϊκών χωρών όπως καταγράφεται από την τηλεόραση, και της πολιτισμικής επίδρασης της τηλεόρασης στον τρόπο ζωής και σκέψης των Ευρωπαίων πολιτών. Ακριβώς λόγω του βασικού του σκοπού, το ψηφιακό υλικό του Video Active, διαθέτει περιγραφές για κάθε πλευρά της διαδικασίας παραγωγής και του περιεχομένου του ψηφιακού υλικού, με αποτέλεσμα να αποτελεί μία καλή βάση για τη μελέτη των δυνατοτήτων μοντελοποίησης πολιτιστικών μεταδεδομένων συνολικά.

---

<sup>1</sup>[www.videoactive.eu](http://www.videoactive.eu)

## 1.3 Οργάνωση κειμένου

Στην εργασία αυτή, γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση των θεωρητικών ζητημάτων που σχετίζονται με το φορμαλισμό ανάπτυξης οντολογιών και με τη σημασιολογικά ορθή μοντελοποίηση ενός πεδίου αναφοράς. Στη συνέχεια, τεκμηριώνονται οι βασικές σχεδιαστικές αποφάσεις και παρουσιάζεται η διαδικασία κατασκευής της οντολογίας. Τέλος, γίνεται αξιολόγηση του συστήματος πάνω στα ίδια τα μεταδεδομένα του Video Active από όπου εξάγονται συμπεράσματα σε σχέση με τα πλεονεκτήματα της χρήσης οντολογιών σε εφαρμογές Σημασιολογικού Ιστού.

Συγκεκριμένα, στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται οι Περιγραφικές Λογικές, ο φορμαλισμός δηλαδή που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση ενός πεδίου ενδιαφέροντος. Γίνεται αναφορά στα συστατικά μέρη μίας βάσης γνώσης, το σώμα ορολογίας (TBox) και το σώμα ισχυρισμών (ABox) καθώς και στα βασικά προβλήματα συλλογιστικής. Περιγράφεται ακόμα, η λογική των αλγορίθμων Tableau, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την επίλυση των βασικών προβλημάτων συλλογιστικής. Επίσης, εξετάζονται ζητήματα που αφορούν την υπολογιστική πολυπλοκότητα των Περιγραφικών Λογικών και παρουσιάζεται το ζήτημα της αναλογίας της εκφραστικότητας μίας Περιγραφικής Λογικής με την υπολογιστική της πολυπλοκότητα. Τέλος, περιγράφεται η γλώσσα OWL 2, η οποία είναι η γλώσσα στην οποία αναπτύσσονται οντολογίες στο Σημασιολογικό Ιστό και η οποία βασίζεται στις Περιγραφικές Λογικές.

Στο **Κεφάλαιο 3**, αναπτύσσονται θέματα που αφορούν την εννοιολογική μοντελοποίηση ενός πεδίου αναφοράς με τη βοήθεια Περιγραφικών Λογικών. Εξετάζονται ζητήματα σε σχέση με τον προσδιορισμό των ατόμων του πεδίου αναφοράς, την ομαδοποίησή τους σε έννοιες, τη δημιουργία ταξονομίας των εννοιών με μελέτη της φύσης των ιδιοτήτων τους και τη μοντελοποίηση των σχέσεων ανάμεσα στα αντικείμενα. Εξετάζονται επίσης περιπτώσεις όπου υπάρχουν δυσκολίες στη μοντελοποίηση γνώσης με Περιγραφικές Λογικές και προτείνονται λύσεις για σημασιολογικά σωστή αναπαράσταση τέτοιας γνώσης. Επίσης, παρουσιάζεται μία μεθοδολογία για τη συστηματική μοντελοποίηση ενός πεδίου αναφοράς.

Στο **Κεφάλαιο 4** γίνεται μία συνοπτική παρουσίαση του Video Active. Περιγράφονται οι στόχοι για την ανάπτυξή του, όπως και οι βασικές ομάδες χρηστών στις οποίες απευθύνεται. Γίνεται αναφορά στη σχεδίαση του συστήματος και στις τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού που χρησιμοποιεί. Ακόμη, παρουσιάζεται το σχήμα μεταδεδομένων που χρησιμοποιεί το Video Active για την περιγραφή του ψηφιακού του υλικού.

Στο **Κεφάλαιο 5** γίνεται αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας κατασκευής της οντολογίας. Περιγράφονται οι βασικοί σχεδιαστικοί στόχοι, καθώς και οι ιδιότητες του πεδίου αναφοράς. Στη συνέχεια περιγράφεται η μεθοδος μελέτης του πεδίου αναφοράς και τα στάδια ανάπτυξης της οντολογίας. Τέλος, γίνεται αναφορά στο πρότυπο SKOS, η οντολογία του οποίου αξιοποιήθηκε για την αναπαράσταση ενός μέρους του πεδίου αναφοράς.

Στο **Κεφάλαιο 6** γίνεται η αξιολόγηση του συστήματος με χρήση της οντολογίας πάνω στα δεδομένα του Video Active. Πραγματοποιούνται συγκεκριμένα ερωτήματα πάνω στη Βάση Γνώσης, και από τα αποτελέσματά τους εξάγονται συμπεράσματα σε σχέση με τις δυνατότητες που παρέχει η χρήση οντολογιών στη σημασιολογική αναπαράσταση και αναζήτηση πληροφορίας.

Τέλος, το **Κεφάλαιο 7** περιέχει γενικά συμπεράσματα για την αξιοποίηση τεχνολογιών Σημασιολογικού Ιστού και παρουσιάζει ανοιχτά ζητήματα για μελλοντική μελέτη.

## Κεφάλαιο 2

# Περιγραφικές Λογικές και Σημασιολογικός Ιστός

### 2.1 Εισαγωγή

Οι *Περιγραφικές Λογικές* (*Description Logics*) είναι μία οικογένεια γλωσσών αναπαράστασης γνώσης βασισμένες στη λογική που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απεικόνιση ενός πεδίου ενδιαφέροντος με δομημένο και κατανοητό τρόπο. Ο όρος “Περιγραφικές Λογικές” προκύπτει από το γεγονός ότι οι βασικές ιδέες του πεδίου αναπαρίστανται από περιγραφές εννοιών, ενώ παράλληλα οι περιγραφές αυτές δομούνται με τυπική σημασιολογία, βασισμένη στη λογική. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό των Περιγραφικών Λογικών είναι η προσφορά υπηρεσιών συλλογιστικής για την εξαγωγή υπονοούμενης γνώσης από τη γνώση που έχει δηλωθεί ρητά.

Οι Περιγραφικές Λογικές χρησιμοποιούν μοτίβα εξαγωγής συμπερασμάτων που στηρίζονται στην κατηγοριοποίηση εννοιών και ατόμων. Τα μοτίβα αυτά είναι διαδεδομένα και σε άλλες εφαρμογές ευφυών συστημάτων ενώ ταυτόχρονα προσομοιάζουν με τον τρόπο που οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται το περιβάλλον τους. Με την κατηγοριοποίηση εννοιών αναπτύσσονται σχέσεις υπαγωγής, δηλαδή σχέσεις ανάμεσα σε ευρύτερες και στενότερες έννοιες, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μίας ιεραρχίας εννοιών, μιας *ταξονομίας*. Η κατηγοριοποίηση ατόμων καθορίζει αν κάποιο άτομο είναι *στιγμιότυπο* μιας έννοιας.

Καθώς οι Περιγραφικές Λογικές είναι φορμαλισμός για την αναπαράσταση γνώσης και με δεδομένο ότι ένα σύστημα αναπαράστασης γνώσης θα πρέπει να αποκρίνεται σε πραγματικό χρόνο, η έρευνα γύρω από τις Περιγραφικές Λογικές επικεντρώνει σε προβλήματα απόφασης, δηλαδή σε διαδικασίες που πάντα τερματίζουν ανεξάρτητα αν η απάντηση είναι θετική ή αρνητική. Όμως, η εγγύηση ότι ένα σύστημα αποκρίνεται σε πραγματικό χρόνο, δεν εξασφαλίζει ότι θα απαντάει και σε λογικό, για τα ανθρώπινα



δεδομένα, χρόνο. Έτσι, η μελέτη της υπολογιστικής πολυπλοκότητας μιας Περιγραφικής Λογικής με αποφάνσιμα προβλήματα συλλογιστικής είναι απαραίτητη. Η αποφανσιμότητα και η πολυπλοκότητα μιας Περιγραφικής Λογικής είναι ανάλογη της εκφραστικότητας της. Πολύ εκφραστικές Περιγραφικές Λογικές οδηγούν σε δυσεπίλυτα ή ακόμα και μη επιλύσιμα προβλήματα συλλογιστικής. Από την άλλη, Περιγραφικές Λογικές με πολύ χαμηλή εκφραστικότητα μπορεί να αποδειχτούν ανεπαρκείς για την αναπαράσταση σημαντικών εννοιών ενός πεδίου ενδιαφέροντος. Το ζήτημα της αντιστάθμισης της εκφραστικότητας μιας Περιγραφικής Λογικής με την πολυπλοκότητα συλλογιστικής της είναι ένα από τα πιο σημαντικά στην έρευνα γύρω από τις Περιγραφικές Λογικές.

Μία από τις σημαντικότερες και πιο διαδεδομένες εφαρμογές των Περιγραφικών Λογικών είναι οι γλώσσες αναπαράστασης γνώσης του Σημασιολογικού Ιστού. Η αξιοποίηση των χαρακτηριστικών των Περιγραφικών Λογικών, δίνει τη δυνατότητα να αναπαρασταθεί με τυπική σημασιολογία η πληροφορία που υπάρχει στο διαδίκτυο, πράγμα που αποτελεί, άλλωστε, το βασικότερο σκοπό για την ανάπτυξη του Σημασιολογικού Ιστού.

### 2.1.1 Οι φάσεις ανάπτυξης των περιγραφικών λογικών

Η Αναπαράσταση Γνώσης είναι ο κλάδος της Τεχνητής Νοημοσύνης που ασχολείται με την ανάπτυξη φορμαλισμών που είναι επιστημονικά και υπολογιστικά πλήρεις για να αναπαρασταθεί η γνώση πάνω σε κάποιο πεδίο. Οι Περιγραφικές Λογικές αναπτύχθηκαν ως ένας τέτοιος φορμαλισμός. Ακολουθεί μια συνοπτική παρουσίαση της ιστορίας των περιγραφικών λογικών:

*Φάση 0 (1965-1980):* Πριν από την ανάπτυξη των Περιγραφικών Λογικών, κυριαρχούσαν δύο προσεγγίσεις για την Αναπαράσταση Γνώσης. Η πρώτη προσέγγιση στηριζόταν στη διαίσθηση ότι ο κατηγορηματικός λογισμός μπορεί να αναπαραστήσει δεδομένα του κόσμου χωρίς αντιφάσεις και επικέντρωνε στην ανάπτυξη φορμαλισμών βασισμένων στη λογική. Η δεύτερη προσέγγιση έδινε έμφαση στην ανθρώπινη γνωστική εμπειρία και το σχεδιασμό μη-λογικών συστημάτων που βασίζονταν σε πειράματα πάνω στην ανάκληση στοιχείων από την ανθρώπινη μνήμη ή στην εκτέλεση από τον άνθρωπο τυποποιημένων εργασιών. Συστήματα που ακολουθούσαν τη δεύτερη προσέγγιση ήταν τα *σημασιολογικά δίκτυα (semantic networks)* [46] και τα *πλαίσια (frames)* [38], τα οποία αναπαριστούσαν σύνολα ατόμων και τις μεταξύ τους σχέσεις. Τα συστήματα αυτά επικρίθηκαν λόγω της έλλειψης τυπικής σημασιολογίας η οποία οδηγούσε σε διαφορετική συμπεριφορά συστημάτων ακόμα και με πανομοιότυπα δομικά στοιχεία. Η πρώτη προσπάθεια για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος ήταν τα *δομημένα κληρονομικά δίκτυα (structured inheritance networks)* του Ronald Brachman το 1977, με βάση τα οποία υλοποιήθηκε το KL-ONE, το πρώτο σύστημα Περιγραφικής Λογικής.

*Φάση 1 (1980-1990)*: Τη δεκαετία του 1980 υλοποιήθηκε μία σειρά συστημάτων όπως τα KL-ONE [52], K-Rep [37], Krypton [13], Back [44] και Loom [36]. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούσαν αλγόριθμους υπαγωγής, οι οποίοι αρχικά κανονικοποιούσαν τις περιγραφές εννοιών και στη συνέχεια συνέκριναν αναδρομικά τη συντακτική δομή των κανονικοποιημένων περιγραφών. Οι αλγόριθμοι αυτοί εκτελούνταν σε πολυωνυμικό χρόνο, όμως ήταν πλήρεις μόνο για μη εκφραστικές Περιγραφικές Λογικές. Το 1985 οι Brachman και Levesque στο έργο τους “The Tractability of Subsumption in Frame-Based Description Languages” έδειξαν ότι τα σημασιολογικά δίκτυα και τα πλαίσια είναι τμήματα της Λογικής Πρώτης Τάξης. Χρησιμοποιώντας σαν παράδειγμα τη γλώσσα  $\mathcal{FL}$  (Frame Language) για την οποία το πρόβλημα υπαγωγής λύνεται σε πολυωνυμικό χρόνο, απέδειξαν ότι η προσθήκη ενός και μόνο κατασκευαστή στην  $\mathcal{FL}$  έκανε την υπαγωγή NP-hard πρόβλημα. Από την παρατήρηση αυτή προκύπτουν δύο πολύ σημαντικά συμπεράσματα:

1. Η αποδοτικότητα του μηχανισμού εξαγωγής συμπερασμάτων μιας βάσης γνώσης μελετάται με τα εργαλεία της θεωρίας της υπολογιστικής πολυπλοκότητας.
2. Διαφορετικοί συνδυασμοί κατασκευαστών οδηγούν στην ανάπτυξη γλωσσών με διαφορετικές υπολογιστικές ιδιότητες.

Η μελέτη της πολυπλοκότητας συλλογιστικής των περιγραφικών λογικών οδηγεί επίσης σε συμπεράσματα όπως ότι η εισαγωγή στο σώμα ορολογίας συμβολικών ονομάτων για πιο σύνθετες περιγραφές οδηγεί σε δυσεπιλυσιμότητα των αξιωμάτων υπαγωγής σε γλώσσες με κατασκευαστή τομής και ονοματικές έννοιες [40] και ότι το πρόβλημα υπαγωγής στην KL-ONE είναι μη επιλύσιμο [50]. Τα αποτελέσματα αυτά, οδήγησαν τους κατασκευαστές του συστήματος Classic [11], του πρώτου συστήματος Περιγραφικής Λογικής που χρησιμοποιήθηκε για βιομηχανικούς σκοπούς, να περιορίσουν την εκφραστική δύναμη της περιγραφικής τους λογικής.

*Φάση 2 (1990-1995)*: Εισάγονται οι αλγόριθμοι Tableau για προτασιακά κλειστές Περιγραφικές Λογικές, δηλαδή για Περιγραφικές Λογικές με όλους τους λογικούς τελεστές. Οι αλγόριθμοι αυτοί αποφαινόνται για τη συνέπεια μιας βάσης γνώσης προσπαθώντας να κατασκευάσουν ένα μοντέλο που τις ικανοποιεί, και είναι πλήρεις και για εκφραστικές Περιγραφικές Λογικές. Τα πρώτα συστήματα που βασίστηκαν σε αλγόριθμους Tableau (Kris and Crack), επέδειξαν αποδεκτή συμπεριφορά, παρά το γεγονός ότι η πολυπλοκότητα χειρότερης περίπτωσης για τους αλγόριθμους Tableau δεν είναι πολυωνυμική αλλά εκθετική [7], [14]. Στην ίδια φάση πραγματοποιήθηκε μια πληρέστερη ανάλυση της πολυπλοκότητας συλλογιστικής για μεγάλο αριθμό Περιγραφικών Λογικών [21], [22] [23].

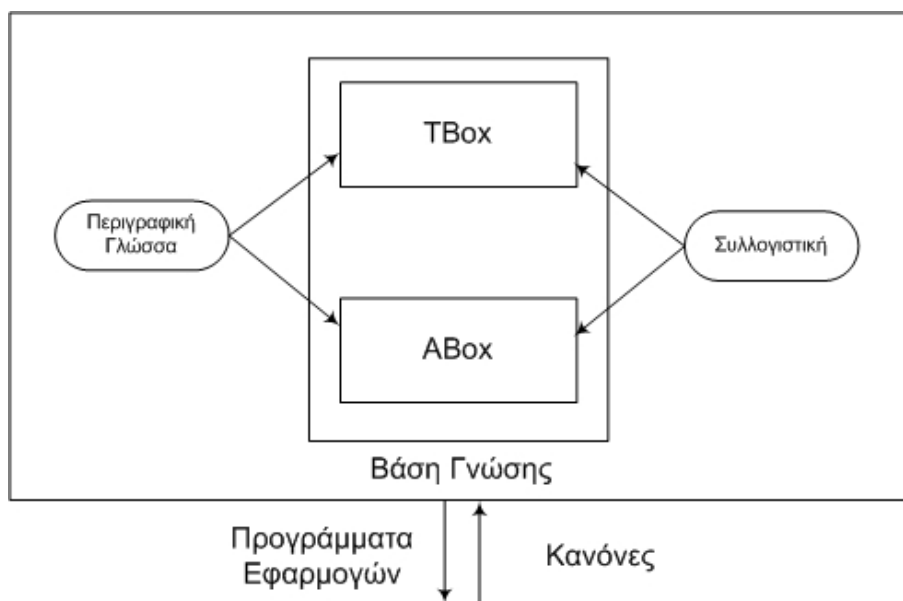
*Φάση 3 (1995-2000):* Η περίοδος αυτή χαρακτηρίστηκε από την ανάπτυξη μηχανισμών εξαγωγής συμπερασμάτων για πολύ εκφραστικές λογικές, βασισμένων είτε στους αλγόριθμους Tableau, είτε στην τροπική λογική [49]. Δημιουργήθηκαν βελτιστοποιημένα συστήματα (Fact [32], Racer [28] και DLP [43]), μέσω των οποίων αποδείχτηκε ότι αλγόριθμοι για εκφραστικές Περιγραφικές Λογικές βασισμένοι στη μεθοδολογία Tableau, είχαν καλή πρακτική συμπεριφορά ακόμα και σε μεγάλες βάσεις γνώσης. Την ίδια περίοδο μελετήθηκαν εφαρμογές των περιγραφικών λογικών στις βάσεις δεδομένων (schema reasoning, query optimization, integration of databases) [16], [18], [19].

*Φάση 4 (2000-):* Η περίοδος που διανύουμε χαρακτηρίζεται από την εκτέλεση των αποτελεσμάτων των προηγούμενων φάσεων σε συστήματα πολύ εκφραστικών Περιγραφικών Λογικών, με ευρεία εφαρμογή στην παραγωγή. Στο επίκεντρο βρίσκεται η έρευνα γύρω από το Σημασιολογικό Ιστό αλλά και εφαρμογές των Περιγραφικών Λογικών στη βιοπληροφορική. Σε ακαδημαϊκό επίπεδο, η έρευνα περιστρέφεται και πάλι γύρω από λιγότερο εκφραστικές Περιγραφικές Λογικές, με σκοπό την ανάπτυξη εργαλείων που θα χειρίζονται πολύ μεγάλες Βάσεις Γνώσης.

## 2.2 Βάσεις Γνώσης

Τα συστήματα αναπαράστασης γνώσης που βασίζονται στις Περιγραφικές Λογικές, χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία Βάσεων Γνώσης. Μια Βάση Γνώσης αποτελείται από δύο συστατικά μέρη: το σώμα ορολογίας και το σώμα ισχυρισμών. Το σώμα ορολογίας (terminological box, TBox) περιέχει τις ορολογίες, ή αλλιώς το λεξιλόγιο της βάσης γνώσης. Το σώμα ισχυρισμών (assertional box, ABox) περιέχει συγκεκριμένες υποθέσεις για τα άτομα του πεδίου αναφοράς, με βάση την ορολογία που περιγράφεται στο TBox. Στο σχήμα 2.1 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική μιας βάσης γνώσης.

Εκτός από την περιγραφή του πεδίου αναφοράς με χρήση ορολογιών και ισχυρισμών, ένα σύστημα Περιγραφικής Λογικής περιέχει επίσης ένα μηχανισμό εξαγωγής συμπερασμάτων από τη γνώση που έχει αναπαρασταθεί σε αυτή. Το βασικότερο καθήκον της διαδικασίας συλλογιστικής είναι να εξετάσει την ικανοποιησιμότητα του TBox, δηλαδή να ελέγξει την ύπαρξη αντιφάσεων σε αυτό, και να προσδιορίσει τη συνέπεια του ABox, δηλαδή να εξετάσει αν υπάρχει μοντέλο που ικανοποιεί το σώμα ορολογίας. Ο έλεγχος ικανοποιησιμότητας του TBox και ο έλεγχος συνέπειας του ABox είναι απαραίτητοι για να ανακαλύψουμε αν η Βάση Γνώσης έχει νόημα. Μία ακόμα υπηρεσία του μηχανισμού εξαγωγής συμπερασμάτων είναι ο προσδιορισμός της υπαγωγής εννοιών, της ένταξης δηλαδή στενότερων περιγραφών σε ευρύτερες. Έτσι, οι έννοιες του σώματος ορολογίας



Σχήμα 2.1: Σχήμα ενός συστήματος Περιγραφικής Λογικής

οργανώνονται σε μια ιεραρχία από τις πιο γενικές έννοιες στις πιο ειδικές. Παράλληλα, ο μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων ελέγχει αν οι ισχυρισμοί συνεπάγονται ότι ένα άτομο είναι στιγμιότυπο μιας έννοιας. Με τον έλεγχο στιγμιοτύπων, μπορούμε να προσδιορίσουμε ποια άτομα του σώματος ισχυρισμών ικανοποιούν την περιγραφή μιας έννοιας.

Στα πλαίσια μιας εφαρμογής, η Βάση Γνώσης αποτελεί ένα συστατικό μέρος ενός ευρύτερου συστήματος. Οι υπομονάδες του συστήματος αλληλεπιδρούν με τη Βάση Γνώσης θέτοντας επρωτήματα προς αυτή, ενώ έχουν επίσης τη δυνατότητα να την τροποποιούν προσθέτοντας και αφαιρώντας έννοιες, ρόλους και ισχυρισμούς. Αυτό απαιτεί το σχεδιασμό στα συστήματα αυτά διεπαφών που περιέχουν συναρτήσεις με λογική σημασιολογία. Σε κάποια συστήματα, η ανάγκη αυτή μπορεί να παρακαμφθεί με προγράμματα που παρεμβαίνουν στη βάση γνώσης με αυθαίρετο τρόπο.

### 2.2.1 Περιγραφικές Γλώσσες

Το λεξιλόγιο μιας περιγραφικής γλώσσας αποτελείται από λογικά σύμβολα, τα οποία έχουν μονοσήμαντη έννοια και από μη λογικά σύμβολα, τα οποία ποικίλλουν, γιατί εξαρτώνται από το πεδίο αναφοράς που αναπαρίσταται. Διακρίνουμε τέσσερα είδη λογικών συμβόλων:

1. Σημεία στίξης: “[”, “]”, “(”, “)”
2. Θετικοί ακέραιοι: 1,2,3,...
3. Λογικοί τελεστές:  $\forall$ ,  $\exists$ ,  $\sqcup$ ,  $\sqcap$ ,  $\neg$ ,  $\top$ ,  $\perp$

4. Συνδετικά:  $\sqsubseteq, \equiv$

Υπάρχουν τρία είδη μη λογικών συμβόλων:

1. *Ατομικές έννοιες*, που αναπαριστούν σύνολα ατόμων, όπως Φυτό, ΑστυνομικήΤαινία, ΟμάδαΜπάσκετ
2. *Ρόλοι*, που περιγράφουν δυαδικές σχέσεις ανάμεσα στα άτομα, όπως: έχειΑδερφό, εργάζεταιΣε, είναιΠαρόμοιοςΜε
3. *Σταθερές*, που αναπαριστούν άτομα του κόσμου, όπως: ΜΑΡΙΑΝΝΑ, VIDEO14, ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ67

Εκτός από ατομικές έννοιες και ρόλους, μπορούμε να κατασκευάσουμε σύνθετες έννοιες και ρόλους, για πιο σύνθετες περιγραφές του κόσμου μας. Το σώμα ορολογίας στη συνέχεια, μπορεί να αναθέσει ένα όνομα στην πιο σύνθετη περιγραφή. Για παράδειγμα, αν θέλουμε να αναπαραστήσουμε την έννοια “Κορίτσι”, μπορούμε να γράψουμε Άνθρωπος  $\sqcap$  Νέος  $\sqcap$  Θηλυκό. Η γλώσσα που χρησιμοποιείται για την κατασκευή σύνθετων περιγραφών είναι διαφορετική για το κάθε σύστημα ως προς την εκφραστικότητα, κατά συνέπεια οι δυνατότητες κάθε συστήματος καθορίζονται από την περιγραφική γλώσσα που χρησιμοποιεί.

Στη συνέχεια, γίνεται μια εισαγωγή στην οικογένεια γλωσσών  $\mathcal{AL}$ . Παρουσιάζονται επεκτάσεις της γλώσσας αυτής με την προσθήκη περισσότερων κατασκευαστών. Σημειώνουμε ότι τα γράμματα  $A$  και  $B$  αντιστοιχούν σε ατομικές έννοιες, το γράμμα  $R$  σε ατομικούς ρόλους και τα γράμματα  $C$  και  $D$  σε σύνθετες έννοιες.

### Σύνταξη και σημασιολογία της $\mathcal{AL}$

**Ορισμός 2.1.** (Σύνταξη της  $\mathcal{AL}$ ) Οι περιγραφές εννοιών στην  $\mathcal{AL}$  δομούνται με βάση τον παρακάτω συντακτικό κανόνα:

$C, D \longrightarrow A$	(ατομική έννοια)
$\top$	(καθολική έννοια)
$\perp$	(κενή έννοια)
$\neg A$	(ατομική άρνηση)
$C \sqcap D$	(τομή εννοιών)
$\forall R.C$	(περιορισμός τιμής)
$\exists R.\top$	(περιορισμένος υπαρξιακός περιορισμός)

Για παράδειγμα, οι εκφράσεις Άνθρωπος  $\sqcap$  Αρσενικό  $\sqcap$  Ενήλικας, Ζώο  $\sqcap$   $\neg$  Αρσενικό, Ξτρώει.  $\top$  και  $\forall$  έχει Παιδί. Θηλυκό είναι έννοιες της  $\mathcal{AL}$ .

Για ιστορικούς λόγους αναφέρουμε ότι η υπογλώσσα της  $\mathcal{AL}$  που προκύπτει αν αφαιρέσουμε τον τελεστή άρνησης ονομάζεται  $\mathcal{FL}^-$ , ενώ η υπογλώσσα που προκύπτει αν αφαιρέσουμε επιπλέον και τον περιορισμένο υπαρξιακό περιορισμό ονομάζεται  $\mathcal{FL}_0$ .

Στη συνέχεια ορίζουμε τη σημασιολογία της  $\mathcal{AL}$ , με χρήση ερμηνειών.

**Ορισμός 2.2.** (Σημασιολογία της  $\mathcal{AL}$ ) Μια ερμηνεία  $\mathcal{I}$  αποτελείται από ένα μη κενό σύνολο  $\Delta^{\mathcal{I}}$ , το οποίο αποτελεί το πεδίο ορισμού της  $\mathcal{I}$ , και από μία συνάρτηση ερμηνείας  $\cdot^{\mathcal{I}}$  η οποία αντιστοιχεί κάθε έννοια της  $\mathcal{AL}$  σε ένα υποσύνολο του  $\Delta^{\mathcal{I}}$ , και κάθε ρόλο σε ένα υποσύνολο του  $\Delta^{\mathcal{I}} \times \Delta^{\mathcal{I}}$  έτσι ώστε για κάθε έννοια  $C, D$  και για κάθε ρόλο  $R$ :

$$\begin{aligned} \top^{\mathcal{I}} &= \Delta^{\mathcal{I}}, \\ \perp^{\mathcal{I}} &= \emptyset, \\ \neg A^{\mathcal{I}} &= \Delta^{\mathcal{I}} \setminus A^{\mathcal{I}}, \\ (C \sqcap D)^{\mathcal{I}} &= C^{\mathcal{I}} \cap D^{\mathcal{I}}, \\ (\forall R.C)^{\mathcal{I}} &= \{\alpha \in \Delta^{\mathcal{I}} \mid \text{Για κάθε } \beta \in \Delta^{\mathcal{I}}, \text{ αν } \langle \alpha, \beta \rangle \in R^{\mathcal{I}}, \text{ τότε } \beta \in C^{\mathcal{I}}\}, \\ (\exists R.\top)^{\mathcal{I}} &= \{\alpha \in \Delta^{\mathcal{I}} \mid \text{Υπάρχει } \beta \in \Delta^{\mathcal{I}} \text{ τέτοιο ώστε } \langle \alpha, \beta \rangle \in R^{\mathcal{I}}\} \end{aligned}$$

Λέμε ότι η  $C^{\mathcal{I}} (R^{\mathcal{I}})$  είναι η επέκταση της έννοιας  $C$  (του ρόλου  $R$ ) υπό την ερμηνεία  $\mathcal{I}$ . Αν  $\alpha \in C^{\mathcal{I}} ((\alpha, \beta) \in R^{\mathcal{I}})$ , τότε λέμε ότι το  $\alpha(\alpha, \beta)$  είναι στιγμιότυπο της  $C$  (του  $R$ ) στην  $\mathcal{I}$ .

### Επεκτάσεις στην $\mathcal{AL}$

Με την προσθήκη κατασκευαστών στην  $\mathcal{AL}$  προκύπτουν πιο εκφραστικές περιγραφικές γλώσσες οι οποίες μας δίνουν τη δυνατότητα να εκφράζουμε πιο πολύπλοκες έννοιες.

Με την προσθήκη του κατασκευαστή της ένωσης, ο οποίος συμβολίζεται με το γράμμα  $\sqcup$ , παίρνουμε προτάσεις που περιέχουν ένωση (union) εννοιών, με σύνταξη  $C \sqcup D$  και σημασιολογία:

$$(C \sqcup D)^{\mathcal{I}} = C^{\mathcal{I}} \cup D^{\mathcal{I}}$$

Επεκτείνοντας τον περιορισμένο υπαρξιακό περιορισμό, παίρνουμε τον πλήρη υπαρξιακό περιορισμό (full existential quantification), ο οποίος συμβολίζεται με το γράμμα  $\mathcal{E}$ . Η σύνταξή του είναι  $\exists R.C$  και η σημασιολογία του:

$$(\exists R.C)^{\mathcal{I}} = \{\alpha \in \Delta^{\mathcal{I}} \mid \text{Υπάρχει } \beta \in \Delta^{\mathcal{I}} \text{ τέτοιο ώστε } \langle \alpha, \beta \rangle \in R^{\mathcal{I}} \text{ και } \beta \in C^{\mathcal{I}}\}$$

Ο κατασκευαστής *περιορισμού πληθυκότητας* (*number restriction*), ο οποίος συμβολίζεται με το γράμμα  $\mathcal{N}$ , και συντάσσεται  $\geq nR$  (τουλάχιστον  $n$ ) ή  $\leq nR$  (το πολύ  $n$ ), όπου  $n$  θετικός ακέραιος. Η σημασιολογία του περιορισμού πληθυκότητας είναι:

$$(\geq nR)^{\mathcal{I}} = \{\alpha \in \Delta^{\mathcal{I}} \mid |\{\beta \mid \langle \alpha, \beta \rangle \in R^{\mathcal{I}}\}| \geq n\}$$

και

$$(\leq nR)^{\mathcal{I}} = \{\alpha \in \Delta^{\mathcal{I}} \mid |\{\beta \mid \langle \alpha, \beta \rangle \in R^{\mathcal{I}}\}| \leq n\},$$

όπου με  $|\cdot|$  παριστάνουμε την πληθυκότητα ενός συνόλου.

Με τον κατασκευαστή αυτό μπορούμε να περιγράψουμε την έννοια “Πολύτεκνος”, δηλαδή άνθρωπος με περισσότερα από τρία παιδιά ως εξής: Άνθρωπος  $\sqsupseteq 3$  έχειΠαιδί.

Αν επιπλέον επιτρέπεται μόνο πληθυκότητα ίση με 1, χρησιμοποιείται ο συναρτησιακός περιορισμός πληθυκότητας (*functional number restriction*), ο οποίος συμβολίζεται με το γράμμα  $\mathcal{F}$ .

Η εκφραστικότητα του κατασκευαστή περιορισμού πληθυκότητας είναι περιορισμένη, καθώς με αυτόν μπορούμε να περιγράψουμε έναν πολύτεκνο ως έναν άνθρωπο με πάνω από τρία παιδιά, δεν μπορούμε να περιγράψουμε όμως την έννοια “άνθρωπος που έχει πάνω από τρία παιδιά τα οποία είναι κορίτσια”. Η έκφραση τέτοιων προτάσεων σε περιγραφικές λογικές γίνεται με την προσθήκη ενός νέου κατασκευαστή, του *προσοντούχου περιορισμού πληθυκότητας* (*qualified number restriction*), ο οποίος συμβολίζεται με το γράμμα  $\mathcal{Q}$ . Η σύνταξη του κατασκευαστή είναι  $\geq nR.C$  (τουλάχιστον  $n$ ) ή  $\leq nR.C$  (το πολύ  $n$ ), όπου  $n$  θετικός ακέραιος και η σημασιολογία του είναι:

$$(\geq nR.C)^{\mathcal{I}} = \{\alpha \in \Delta^{\mathcal{I}} \mid |\{\beta \mid \langle \alpha, \beta \rangle \in R^{\mathcal{I}} \text{ και } \beta \in C^{\mathcal{I}}\}| \geq n\},$$

και

$$(\leq nR.C)^{\mathcal{I}} = \{\alpha \in \Delta^{\mathcal{I}} \mid |\{\beta \mid \langle \alpha, \beta \rangle \in R^{\mathcal{I}} \text{ και } \beta \in C^{\mathcal{I}}\}| \leq n\},$$

όπου με  $|\cdot|$  παριστάνουμε την πληθυκότητα ενός συνόλου.

Έτσι η έννοια που αναφέραμε γράφεται: Άνθρωπος  $\sqsupseteq 3$  έχειΠαιδί.Κορίτσι.

Η *άρνηση πιο περίπλοκων εννοιών* (*complement*), σε διάκριση με την άρνηση μόνο ατομικών εννοιών όπως εμφανίζεται στην  $\mathcal{AL}$ , συμβολίζεται με το γράμμα  $\mathcal{C}$ , συντάσσεται  $\neg C$  και έχει σημασιολογία:

$$\neg C^{\mathcal{I}} = \Delta^{\mathcal{I}} \setminus C^{\mathcal{I}}$$

Επεκτείνοντας την  $\mathcal{AL}$  με ορισμένους από τους παραπάνω κατασκευαστές προκύπτει μια νέα γλώσσα της οικογένειας  $\mathcal{AL}$ . Το όνομα της γλώσσας έχει τη μορφή

$$\mathcal{AL}[\mathcal{U}][\mathcal{E}][\mathcal{N}][\mathcal{F}][\mathcal{Q}][\mathcal{C}]$$

όπου η προσθήκη ενός γράμματος στο όνομα της γλώσσας αντιστοιχεί στην ύπαρξη του αντίστοιχου κατασκευαστή.

Από σημασιολογική σκοπιά, δεν είναι όλες οι γλώσσες που προκύπτουν με αυτό τον τρόπο διακριτές. Ισχύει ότι  $C \sqcup D \equiv \neg(\neg C \sqcap \neg D)$  και  $\exists R.C \equiv \neg\forall R.\neg C$ . Δηλαδή μια πρόταση που περιέχει ένωση ή πλήρη υπαρξιακό περιορισμό μπορεί να αντικατασταθεί από μια πρόταση που περιέχει άρνηση. Επομένως, η ύπαρξη κατασκευαστή ένωσης ή πλήρους υπαρξιακού περιορισμού σε μία γλώσσα ισοδυναμεί με την ύπαρξη κατασκευαστή άρνησης και το αντίστροφο. Έτσι, η γλώσσα  $\mathcal{ALUE}$  έχει την ίδια εκφραστικότητα με την  $\mathcal{ALC}$  και η γλώσσα  $\mathcal{ALUEN}$  έχει την ίδια εκφραστικότητα με την  $\mathcal{ALCN}$ . Και για τις δύο περιπτώσεις, συνηθίζεται να χρησιμοποιείται η δεύτερη ονομασία.

### Αυξάνοντας την εκφραστικότητα με κατασκευαστές ρόλων

Εκτός από τους κατασκευαστές που μας επιτρέπουν την περιγραφή πιο περίπλοκων εννοιών, υπάρχουν επίσης και κατασκευαστές με τους οποίους μπορούμε να περιγράψουμε πιο περίπλοκους ρόλους. Οι κατασκευαστές αυτοί αυξάνουν πολύ την εκφραστική δύναμη μιας περιγραφικής γλώσσας, όμως αυξάνουν παράλληλα και την πολυπλοκότητά της. Δεδομένου ότι οι ρόλοι εκφράζουν δυαδικές σχέσεις ανάμεσα σε άτομα του κόσμου, οι κατασκευαστές ρόλων αντιστοιχούν σε συνήθειες πράξεις πάνω στις δυαδικές σχέσεις (λογικοί τελεστές, σύνθεση, μεταβατικό κλείσιμο και αντιστροφή). Η σύνταξη και η σημασιολογία των κατασκευαστών αυτών παρουσιάζονται στον ορισμό που ακολουθεί:

**Ορισμός 2.3.** (Κατασκευαστές ρόλων) Κάθε όνομα ρόλου αντιστοιχεί σε μια περιγραφή ρόλου (ατομικό ρόλο). Αν  $R, S$  περιγραφές ρόλου τότε τα  $R \sqcap S$  (τομή),  $R \sqcup S$  (ένωση),  $\neg R$  (άρνηση),  $R \circ S$  (σύνθεση),  $R^+$  (μεταβατικό κλείσιμο),  $R^-$  (αναστροφή) είναι επίσης περιγραφές ρόλου. Μια ερμηνεία  $\mathcal{I}$  επεκτείνεται στις πολύπλοκες περιγραφές ρόλων ως εξής:

1.  $(R \sqcap S)^{\mathcal{I}} = R^{\mathcal{I}} \cap S^{\mathcal{I}}, (R \sqcup S)^{\mathcal{I}} = R^{\mathcal{I}} \cup S^{\mathcal{I}}, (\neg R)^{\mathcal{I}} = \Delta^{\mathcal{I}} \times \Delta^{\mathcal{I}} \setminus R^{\mathcal{I}},$
2.  $(R \circ S)^{\mathcal{I}} = \{\langle \alpha, \gamma \rangle \in \Delta^{\mathcal{I}} \times \Delta^{\mathcal{I}} \mid \exists \beta \text{ έτσι ώστε } \langle \alpha, \beta \rangle \in R^{\mathcal{I}} \text{ και } \langle \beta, \gamma \rangle \in S^{\mathcal{I}}\},$
3.  $(R^+)^{\mathcal{I}} = \bigcup_{i \geq 1} (R^{\mathcal{I}})^i, \text{ δηλαδή το } (R^+)^{\mathcal{I}} \text{ είναι το μεταβατικό κλείσιμο του } (R^{\mathcal{I}}),$
4.  $(R^-)^{\mathcal{I}} = \{\langle \beta, \alpha \rangle \in \Delta^{\mathcal{I}} \times \Delta^{\mathcal{I}} \mid \langle \alpha, \beta \rangle \in R^{\mathcal{I}}\}.$

Για παράδειγμα, ο ρόλος έχειΓονιό μπορεί να θεωρηθεί ως η ένωση των ρόλων έχειΠατέρα και έχειΜητέρα, ενώ ο ρόλος έχειΠρόγονο είναι το μεταβατικό κλείσιμο του ρόλου έχειΓονιό. Ο αντίστροφος ρόλος του έχειΓονιό είναι ο ρόλος έχειΠαιδί.

Η ύπαρξη ανάστροφων ρόλων σε μια περιγραφική γλώσσα συμβολίζεται με το γράμμα  $\mathcal{R}$ , ενώ η επέκταση της  $\mathcal{ALC}$  με μεταβατικούς ρόλους συμβολίζεται  $\mathcal{ALC}_+$  ή  $\mathcal{S}$ .



### Ονοματικές έννοιες στις περιγραφικές γλώσσες

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου είναι χρήσιμο να επιτρέπουμε *ονοματικές έννοιες* (*nominals*) και στην περιγραφική γλώσσα. Η ύπαρξη σε μία περιγραφική γλώσσα κατασκευαστών εννοιών που χρησιμοποιούν άτομα συμβολίζεται με το γράμμα  $\mathcal{O}$ . Ο ευρύτερα χρησιμοποιούμενος κατασκευαστής είναι ο κατασκευαστής “συνόλου” (ένα από), ο οποίος γράφεται:

$$\{a_1, a_2, \dots, a_n\},$$

όπου τα  $a_1, a_2, \dots, a_n$  είναι άτομα του κόσμου. Η σημασιολογία του κατασκευαστή αυτού ερμηνεύεται ως εξής:

$$\{a_1, a_2, \dots, a_n\}^{\mathcal{I}} = \{a_1^{\mathcal{I}}, a_2^{\mathcal{I}}, \dots, a_n^{\mathcal{I}}\} \quad (2.1)$$

Οι κατασκευαστές συνόλου σε μια περιγραφική γλώσσα χρησιμοποιούνται για να περιγράψουμε έννοιες που ικανοποιούνται από περιορισμένα άτομα, τα οποία δεν αλλάζουν. Για παράδειγμα, με αυτό τον τρόπο μπορούμε να περιγράψουμε την έννοια “Ημέρα της εβδομάδας” ως εξής:  $\{\Delta\text{ΕΥΤΕΡΑ}, \text{ΤΡΙΤΗ}, \text{ΤΕΤΑΡΤΗ}, \text{ΠΕΜΠΤΗ}, \text{ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ}, \text{ΣΑΒΒΑΤΟ}, \text{ΚΥΡΙΑΚΗ}\}$ .

Σε μία περιγραφική γλώσσα που περιέχει τον κατασκευαστή ένωσης “ $\sqcup$ ”, η προσθήκη του κατασκευαστή  $\{a\}$  για μοναδιαία σύνολα προσδίδει ικανοποιητική εκφραστικότητα για να περιγραφούν πεπερασμένα σύνολα ατόμων, δεδομένου ότι με βάση την σημασιολογία του κατασκευαστή συνόλου της εξίσωσης (2.1) οι έννοιες  $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  και  $\{a_1\} \sqcup \{a_2\} \sqcup \dots \sqcup \{a_n\}$  είναι ισοδύναμες.

Ένας άλλος κατασκευαστής που χρησιμοποιεί ονοματικές έννοιες είναι ο κατασκευαστής “fills”  $R : a$  για ένα ρόλο  $R$ . Η σημασιολογία του κατασκευαστή ορίζεται ως εξής:

$$(R : a)^{\mathcal{I}} = \{d \in \Delta^{\mathcal{I}} \mid (d, a^{\mathcal{I}}) \in R^{\mathcal{I}}\} \quad (2.2)$$

Το  $R : a$  αντιστοιχεί στο σύνολο αντικειμένων τα οποία σχετίζονται με το  $a$  μέσω του ρόλου  $R$ . Σε μία περιγραφική γλώσσα με μοναδιαία σύνολα και πλήρη υπαρξιακό περιορισμό, ο κατασκευαστής “fills” δε χρειάζεται να υπάρχει, εφόσον από την εξίσωση (2.2) προκύπτει ότι η έκφραση  $R : a$  είναι ισοδύναμη με την  $\exists R. \{a\}$ .

Σημειώνεται ότι ο κατασκευαστής “fills” επιτρέπει την έκφραση ισχυρισμών ρόλων μέσω ισχυρισμών εννοιών, εφόσον μία ερμηνεία ικανοποιεί την πρόταση  $R(a, b)$  αν και μόνο αν ικανοποιεί την  $(\exists R. \{b\})(a)$ .

### 2.2.2 Σώμα ορολογίας

Στο σώμα ορολογίας μιας Βάσης Γνώσης μπορούμε να αποδόσουμε ονόματα στις πιο σύνθετες έννοιες που θέλουμε να περιγράψουμε, δηλαδή στις έννοιες που περιγράφονται από συνδυασμό ατομικών εννοιών, καθώς και να αναπαραστήσουμε τις σχέσεις ανάμεσά τους. Οι σχέσεις αυτές περιγράφονται με *αξιώματα ορολογίας* (terminological axioms).

**Ορισμός 2.4.** Ένα γενικευμένο αξίωμα υπαγωγής (*general concept axiom - GCI*) είναι της μορφής  $C \sqsubseteq D$ , όπου  $C, D$  έννοιες. Κάθε πεπερασμένο σύνολο γενικευμένων αξιωμάτων υπαγωγής ονομάζεται σώμα ορολογίας (*Terminology Box - TBox*) και συμβολίζεται με το γράμμα  $\mathcal{T}$ . Μία ερμηνεία  $\mathcal{I}$  ονομάζεται μοντέλο ενός γενικευμένου αξιώματος υπαγωγής  $C \sqsubseteq D$  αν  $C^{\mathcal{I}} \subseteq D^{\mathcal{I}}$ . Μία ερμηνεία  $\mathcal{I}$  είναι μοντέλο του  $\mathcal{T}$  αν είναι μοντέλο κάθε γενικευμένου αξιώματος υπαγωγής στο  $\mathcal{T}$ .

Λέμε ότι δύο έννοιες είναι *ισοδύναμες* (*equivalent*) και συμβολίζουμε με  $C \equiv D$ , αν ισχύουν ταυτόχρονα  $C \sqsubseteq D$  και  $D \sqsubseteq C$ .

Αν στο αριστερό μέλος μιας ισοδυναμίας υπάρχει ατομική έννοια, τότε η πρόταση αυτή ονομάζεται *ορισμός* (*definition*). Με τους ορισμούς, μπορούμε να προσθέσουμε στο σώμα ορολογίας συμβολικά ονόματα για πιο σύνθετες περιγραφές. Για παράδειγμα αν θέλουμε να ορίσουμε την έννοια Σκηνοθέτης μπορούμε να γράψουμε:

$$\text{Σκηνοθέτης} \equiv \text{Άνθρωπος} \sqcap \exists \text{έχει} \text{Σκηνοθετήσει.Ταινία}$$

Ακόμα, οι ορισμοί μας επιτρέπουν να χρησιμοποιούμε συμβολικά ονόματα σαν συντομογραφίες άλλων περιγραφών, όπως για παράδειγμα:

$$\text{ΈργοΤέχνης} \equiv \text{ΕικαστικόΈργο} \sqcup \text{ΛογοτεχνικόΈργο} \sqcup \text{ΜουσικόΈργο} \sqcup \text{ΕρμηνευτικόΈργο}$$

Το σώμα ορολογίας πρέπει να είναι κατηγορηματικό. Αυτό σημαίνει ότι για να είναι ένα σύνολο ορισμών *ορολογία* ή *TBox* θα πρέπει για κάθε συμβολικό όνομα να υπάρχει το πολύ ένας ορισμός. Δηλαδή κάθε ατομική έννοια  $A$  μπορεί να εμφανίζεται στο αριστερό μέλος ενός αξιώματος του  $\mathcal{T}$  το πολύ μία φορά. Ο πίνακας 2.1 παρουσιάζει μία απλή ορολογία.

Έστω  $\mathcal{T}$  μια ορολογία. Οι ατομικές έννοιες της  $\mathcal{T}$  διαιρούνται σε δύο κατηγορίες: τα σύμβολα ονομάτων (*name symbols*)  $\mathcal{N}_{\mathcal{T}}$ , τα οποία εμφανίζονται στο αριστερό μέλος

Ηθοποιός	$\equiv$	Άνθρωπος $\sqcap$ $\exists$ ερμηνεύειΡόλο.Τ
Ταινία	$\equiv$	ΕρμηνευτικόΈργο $\sqcap$ $\exists$ έχειΜέσο.Κινηματογράφος
Συγγραφέας	$\equiv$	Άνθρωπος $\sqcap$ $\exists$ γράφει.Τ
Σεναριογράφος	$\equiv$	Συγγραφέας $\sqcap$ $\forall$ γράφει.Σενάριο
ΚωμικόςΗθοποιός	$\equiv$	Ηθοποιός $\sqcap$ $\exists$ έχειΡόλοΣε.Κωμωδία
ΑστυνομικήΤαινία	$\equiv$	Ταινία $\sqcap$ $\exists$ έχειΗθοποιό.ερμηνεύειΡόλο.Αστυνομικός
ΒραβευμένηΤαινία	$\equiv$	Ταινία $\sqcap$ $\exists$ έχειΒραβευτείΜε.Τ
ΤαινίαΣεΑίθουσες	$\equiv$	Ταινία $\sqcap$ $\exists$ προβάλλεταιΣε.Τ

Πίνακας 2.1: Παράδειγμα μίας ορολογίας για τον κινηματογράφο

κάποιου αξιώματος, και τα σύμβολα βάσης (base symbols)  $\mathcal{B}_{\mathcal{T}}$ , τα οποία εμφανίζονται μόνο στο δεξί μέλος αξιωμάτων. Τα σύμβολα ονομάτων αναφέρονται και ως *ορισμένες* (defined) έννοιες ενώ τα σύμβολα βάσης ως *πρωτογενείς* (primitive) έννοιες. Σε μία ορολογία, οι ορισμένες έννοιες περιγράφονται μέσω λογικών προτάσεων που χρησιμοποιούν πρωτογενείς έννοιες.

Μία *ερμηνεία βάσης* (base interpretation) του  $\mathcal{T}$ , ερμηνεύει μόνο τα σύμβολα βάσης. Έστω  $\mathcal{J}$  μία ερμηνεία βάσης. Μία ερμηνεία  $\mathcal{I}$  η οποία ερμηνεύει επίσης τα σύμβολα ονομάτων ονομάζεται *επέκταση* της  $\mathcal{J}$  αν έχει το ίδιο πεδίο ορισμού με την  $\mathcal{J}$ , δηλαδή αν  $\Delta^{\mathcal{I}} = \Delta^{\mathcal{J}}$ , και αν συμφωνεί με τη  $\mathcal{J}$  για τα σύμβολα βάσης. Μία ορολογία  $\mathcal{T}$  ονομάζεται *καλά ορισμένη* (definitorial) αν κάθε ερμηνεία βάσης έχει ακριβώς μία επέκταση, η οποία είναι μοντέλο του  $\mathcal{T}$ . Αυτό σημαίνει ότι σε μία καλά ορισμένη ορολογία, αν γνωρίζουμε τι αντιπροσωπεύουν τα σύμβολα βάσης, τότε το νόημα των συμβόλων ονομάτων είναι πλήρως καθορισμένο. Είναι προφανές ότι αν μια ορολογία είναι καλά ορισμένη, τότε μία ισοδύναμη ορολογία είναι επίσης καλά ορισμένη.

Μία καλά ορισμένη ορολογία δεν περιέχει κύκλους. Θεωρούμε κυκλική μια ορολογία αν υπάρχει σε αυτήν κάποια έννοια  $A$ , της οποίας ο ορισμός αναφέρεται άμεσα ή έμμεσα στην ίδια την  $A$ . Για παράδειγμα, οι ορολογίες  $\{A \equiv B \sqcap \exists R.A\}$  και  $\{A \equiv B \sqcap C, B \equiv D \sqcap \exists R.A\}$  περιέχουν κύκλους.

Μία κυκλική ορολογία δεν είναι απαραίτητο να έχει μοναδική επέκταση, επομένως δε θεωρείται καλά ορισμένη. Ας θεωρήσουμε για παράδειγμα την ορολογία που περιέχει μόνο το κυκλικό αξίωμα:

$$\text{Άνθρωπος} \equiv \text{Ζώο} \sqcap \exists \text{ΈχειΓονιό.Άνθρωπος} \quad (2.3)$$

Εδώ η έννοια Άνθρωπος είναι σύμβολο ονόματος ενώ οι έννοιες Ζώο και έχειΓονιό είναι σύμβολα βάσης. Μπορούμε να δούμε ότι για μία ερμηνεία στην οποία ο ρόλος έχειΓονιό συνδέει ένα ζώο με τους πρόγονούς του, υπάρχουν πολλαπλές επεκτάσεις που ερμηνεύουν την έννοια αυτή έτσι ώστε το αξίωμα να ικανοποιείται. Έτσι, η έννοια Άνθρωπος μπορεί να ερμηνευθεί σαν το σύνολο όλων των ζώων, σαν ένα είδος, ή σαν οποιοδήποτε άλλο σύνολο ειδών, αρκεί αυτό το σύνολο για κάθε άτομο που περιλαμβάνει, να περιέχει επίσης και τα άτομα που συνδέονται με αυτό με σχέση ΈχειΓονιό.

Αντίθετα, μία ακυκλική ορολογία είναι καλά ορισμένη. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι είναι δυνατόν με μια επαναληπτική διαδικασία (μέθοδος ξεδιπλώματος) να επεκτείνουμε τους ορισμούς του  $\mathcal{T}$  αντικαθιστώντας κάθε εμφάνιση ενός συμβόλου ονόματος στο δεξί μέλος ενός ορισμού με το συνδυασμό συμβόλων βάσης που το περιγράφουν. Εφόσον δεν υπάρχουν κύκλοι, η διαδικασία αυτή θα τερματίσει με αποτέλεσμα το σχηματισμό μιας νέας ορολογίας  $\mathcal{T}'$  η οποία θα περιέχει μόνο αξιώματα της μορφής  $A \equiv C'$ , με το  $C'$  να περιέχει μόνο σύμβολα βάσης. Η  $\mathcal{T}'$  ονομάζεται *επέκταση* της  $\mathcal{T}$ , και όπως αποδεικνύεται στο [41], μπορεί να είναι εκθετικά μεγαλύτερη από την  $\mathcal{T}$ . Στον πίνακα 2.2 παρουσιάζεται η επέκταση της καλά ορισμένης ορολογίας του Πίνακα 2.1.

**Πρόταση 2.1.** Έστω  $\mathcal{T}$  ακυκλική ορολογία και  $\mathcal{T}'$  η επέκτασή της. Τότε:

1. Η  $\mathcal{T}$  και η  $\mathcal{T}'$  έχουν τα ίδια σύμβολα ονομάτων και βάσης.
2. Η  $\mathcal{T}$  και η  $\mathcal{T}'$  είναι ισοδύναμες.
3. Η  $\mathcal{T}$  και η  $\mathcal{T}'$  είναι καλά ορισμένες.

*Απόδειξη.* Έστω  $\mathcal{T}_1$  μία ορολογία, και  $A \equiv C$ ,  $B \equiv D$  δύο από τους ορισμούς της. Υποθέτουμε ότι στον ορισμό του  $C$  εμφανίζεται η έννοια  $B$ . Έστω  $C'$  η έννοια που προκύπτει από τη  $C$  αν αντικαταστήσουμε όλες τις εμφανίσεις της  $B$  στη  $C$  με  $D$ , και έστω  $\mathcal{T}_2$  η ορολογία που προκύπτει από την  $\mathcal{T}_1$ , αν αντικαταστήσουμε τον ορισμό  $A \equiv C$  με τον  $A \equiv C'$ . Έτσι, οι δύο ορολογίες θα έχουν τα ίδια σύμβολα ονομάτων και βάσης. Επιπλέον, καθώς η  $\mathcal{T}_2$  έχει προκύψει από την  $\mathcal{T}_1$  αντικαθιστώντας έννοιες με τις ισοδύναμές τους εκφράσεις, οι δύο ορολογίες θα έχουν τα ίδια μοντέλα. Με δεδομένο ότι η  $\mathcal{T}'$  έχει ανακτηθεί από την  $\mathcal{T}$  με μια αλληλουχία βημάτων αντίστοιχη με αυτή που περιγράψαμε παραπάνω, τα δύο παραπάνω συμπεράσματα θα ισχύουν και για τις  $\mathcal{T}$ ,  $\mathcal{T}'$ , οπότε αποδείξαμε το 1. και το 2.

Για να αποδείξουμε το 3. υποθέτουμε ότι  $\mathcal{J}$  είναι μια ερμηνεία των συμβόλων βάσης της  $\mathcal{T}$ . Επεκτείνοντας την  $\mathcal{J}$  παίρνουμε την ερμηνεία  $\mathcal{I}$  η οποία ερμηνεύει επίσης και τα σύμβολα ονομάτων θέτοντας  $A^{\mathcal{I}} = C'^{\mathcal{J}}$ , αν  $A \equiv C'$  είναι ο ορισμός της  $A$  στο  $\mathcal{T}'$ . Προφανώς, η  $\mathcal{I}$  είναι μοντέλο της  $\mathcal{T}'$  και είναι η μοναδική επέκταση της  $\mathcal{J}$  που είναι μοντέλο της  $\mathcal{T}'$ . Επομένως η  $\mathcal{T}'$  είναι καλά ορισμένη, και δεδομένου ότι η  $\mathcal{T}$  είναι ισοδύναμη με την  $\mathcal{T}'$ , είναι επίσης καλά ορισμένη.  $\square$

### Ορολογίες με αξιώματα υπαγωγής

Ορισμένες έννοιες είναι δύσκολο ή και αδύνατο να οριστούν πλήρως. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορούμε να διατυπώνουμε αναγκαίες συνθήκες για τη συμμετοχή ενός ατόμου

Ηθοποιός	≡	Άνθρωπος $\sqcup$ ΞερμηνεύειΡόλο.Τ
Ταινία	≡	ΕρμηνευτικόΈργο $\sqcap$ ΞέχειΜέσο.Κινηματογράφος
Συγγραφέας	≡	Άνθρωπος $\sqcap$ Ξγράφει.Τ
Σεναριογράφος	≡	Άνθρωπος $\sqcap$ Ξγράφει.Τ $\sqcap$ Ξγράφει.Σενάριο
ΚωμικόςΗθοποιός	≡	Άνθρωπος $\sqcap$ ΞερμηνεύειΡόλο.Τ $\sqcap$ ΞέχειΡόλοΣε.Κωμωδία
ΑστυνομικήΤαινία	≡	ΕρμηνευτικόΈργο $\sqcap$ ΞέχειΜέσο.Κινηματογράφος $\sqcap$ ΞέχειΗθοποιό.ερμηνεύειΡόλο.Αστυνομικός
ΒραβευμένηΤαινία	≡	ΕρμηνευτικόΈργο $\sqcap$ ΞέχειΜέσο.Κινηματογράφος $\sqcap$ ΞέχειΒραβευτείΜε
ΤαινίαΣεΑίθουσες	≡	ΕρμηνευτικόΈργο $\sqcap$ ΞέχειΜέσο.Κινηματογράφος $\sqcap$ ΞπροβάλλεταιΣε.Τ

Πίνακας 2.2: Η επέκταση της ορολογίας του πίνακα 2.1

σε μία έννοια χρησιμοποιώντας αξιώματα υπαγωγής. Ένα αξίωμα υπαγωγής στο αριστερό μέλος του οποίου υπάρχει ατομική έννοια ονομάζεται *ειδίκευση* (*specialization*).

Για παράδειγμα, αν θεωρήσουμε ότι ο ορισμός του Πίνακα (2.1) για την έννοια “Ταινία” δεν είναι ικανοποιητικός, μπορούμε να περιγράψουμε την πρόταση ότι η έννοια Ταινία είναι υποκατηγορία της έννοιας ΈργοΤέχνης με την ειδίκευση:

$$\text{Ταινία} \sqsubseteq \text{ΈργοΤέχνης} \quad (2.4)$$

Μία ορολογία με ειδικεύσεις δεν μπορεί να είναι καλά ορισμένη, ακόμα και αν είναι ακυκλική. Ένα σύνολο από αξιώματα ονομάζεται *γενικευμένη ορολογία* (*generalized terminology*) αν στο αριστερό μέλος κάθε αξιώματος υπάρχει ατομική έννοια και κάθε ατομική έννοια εμφανίζεται στο αριστερό μέλος κάποιου αξιώματος το πολύ μία φορά.

Μία γενικευμένη ορολογία  $\mathcal{T}$  μπορεί να μετασχηματιστεί σε μια ορολογία που περιέχει μόνο ορισμούς  $\bar{\mathcal{T}}$ , έτσι ώστε η  $\bar{\mathcal{T}}$  να είναι ισοδύναμη με την  $\mathcal{T}$ . Η  $\bar{\mathcal{T}}$  προκύπτει από την  $\mathcal{T}$  επιλέγοντας για κάθε ειδίκευση  $A \sqsubseteq C$  στην  $\mathcal{T}$  ένα νέο σύμβολο βάσης  $\bar{A}$  και αντικαθιστώντας στη συνέχεια την ειδίκευση  $A \sqsubseteq C$  με τον ορισμό  $\equiv \bar{A} \sqcap C$ . Η ορολογία  $\bar{\mathcal{T}}$  είναι η *κανονικοποίηση* (*normalization*) της  $\mathcal{T}$ .

Για παράδειγμα, αν ένα σώμα ορολογίας περιέχει την ειδίκευση (2.4), τότε η κανονικοποίησή του περιέχει τον ορισμό:

$$\text{Ταινία} \equiv \overline{\text{Ταινία}} \sqcap \text{ΈργοΤέχνης} \quad (2.5)$$

Διαισθητικά, το επιπλέον σύμβολο βάσης  $\overline{\text{Ταινία}}$  αναπαριστά τις ιδιότητες που διαχωρίζουν τις ταινίες από τα υπόλοιπα έργα τέχνης.

**Πρόταση 2.2.** Έστω  $\mathcal{T}$  μία γενικευμένη ορολογία και  $\bar{\mathcal{T}}$  η κανονικοποίησή της.

1. Κάθε μοντέλο της  $\bar{\mathcal{T}}$  είναι και μοντέλο της  $\mathcal{T}$ .
2. Για κάθε μοντέλο  $\mathcal{I}$  της  $\mathcal{T}$  υπάρχει μοντέλο  $\bar{\mathcal{I}}$  της  $\bar{\mathcal{T}}$  που έχει το ίδιο πεδίο ορισμού με την  $\mathcal{I}$  και συμφωνεί με την  $\mathcal{I}$  στις ατομικές έννοιες και ρόλους της  $\mathcal{T}$ .

*Απόδειξη.* Ένα μοντέλο  $\bar{\mathcal{I}}$  της  $\bar{\mathcal{T}}$  ικανοποιεί την  $A^{\bar{\mathcal{I}}} = (\bar{A} \sqcap C)^{\bar{\mathcal{I}}} = \bar{A}^{\bar{\mathcal{I}}} \cap C^{\bar{\mathcal{I}}}$ , το οποίο υπονοεί ότι  $A^{\bar{\mathcal{I}}} \subseteq C^{\bar{\mathcal{I}}}$ . Άρα ισχύει ο πρώτος ισχυρισμός. Αντίστροφα, αν  $\mathcal{I}$  είναι μοντέλο της  $\mathcal{T}$ , τότε η επέκταση  $\bar{\mathcal{I}}$  της  $\mathcal{I}$ , η οποία ορίζεται από το  $\bar{A}^{\bar{\mathcal{I}}} = A^{\mathcal{I}}$ , είναι μοντέλο της  $\bar{\mathcal{T}}$ , γιατί το  $A^{\mathcal{I}} \subseteq C^{\mathcal{I}}$  υπονοεί ότι  $A^{\mathcal{I}} = (\bar{A}^{\bar{\mathcal{I}}} \sqcap C^{\mathcal{I}}) = \bar{A}^{\bar{\mathcal{I}}} \cap C^{\mathcal{I}}$ , και επομένως η  $\bar{\mathcal{I}}$  ικανοποιεί την  $A \equiv \bar{A} \sqcap C$ .  $\square$

Με αυτό τον τρόπο, αποδεικνύεται θεωρητικά ότι τα αξιώματα υπαγωγής δεν αυξάνουν την εκφραστικότητα του σώματος ορολογίας. Στην πράξη, τα αξιώματα υπαγωγής χρησιμοποιούνται ευρέως για την εισαγωγή στο σώμα ορολογίας όρων που δεν μπορούν να οριστούν πλήρως.

### 2.2.3 Σώμα ισχυρισμών

Το σώμα ισχυρισμών (ABox) είναι το δεύτερο συστατικό μέρος μιας βάσης γνώσης, στο οποίο γίνεται η περιγραφή του κόσμου.

**Ορισμός 2.5.** (Σώμα ισχυρισμών) Ένας ισχυρισμός έχει τη μορφή  $C(\alpha)$  ή  $R(\alpha, \beta)$ , όπου  $C$  είναι μία έννοια,  $R$  ένας ρόλος και  $\alpha$  και  $\beta$  άτομα του κόσμου. Ένα πεπερασμένο σύνολο ισχυρισμών ονομάζεται σώμα ισχυρισμών (Assertional box - ABox). Μία ερμηνεία  $\mathcal{I}$  είναι μοντέλο ενός ισχυρισμού  $C(\alpha)$  αν  $\alpha^{\mathcal{I}} \in C^{\mathcal{I}}$ , και η  $\mathcal{I}$  είναι μοντέλο ενός ισχυρισμού  $R(\alpha, \beta)$ , αν  $\langle \alpha^{\mathcal{I}}, \beta^{\mathcal{I}} \rangle \in R^{\mathcal{I}}$ . Η  $\mathcal{I}$  είναι μοντέλο ενός σώματος ισχυρισμών  $\mathcal{A}$  αν είναι μοντέλο κάθε αξιώματος στο  $\mathcal{A}$ . Η  $\mathcal{I}$  ικανοποιεί έναν ισχυρισμό  $C(\alpha)$  (ή ένα ABox  $\mathcal{A}$ ) με βάση το TBox  $\mathcal{T}$  αν είναι ταυτόχρονα μοντέλο του  $C(\alpha)$  (ή του  $\mathcal{A}$ ) και του  $\mathcal{T}$ .

Οι ισχυρισμοί της μορφής  $C(\alpha)$  οι οποίοι ονομάζονται ισχυρισμοί εννοιών, δηλώνουν ότι το  $\alpha$  ανήκει στην ερμηνεία της έννοιας  $C$  και οι ισχυρισμοί της μορφής  $R(\alpha, \beta)$ , που ονομάζονται ισχυρισμοί ρόλων, δηλώνουν ότι το  $\beta$  ικανοποιεί το ρόλο  $R$  για το  $\alpha$ . Στον πίνακα 2.3 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ενός σώματος ισχυρισμών.

Έχοντας ορίσει το σώμα ορολογίας και το σώμα ισχυρισμών, μπορούμε να ορίσουμε τη βάση γνώσης ως εξής:

**Ορισμός 2.6.** (Βάση Γνώσης) Μία βάση γνώσης (knowledge base -KB) είναι ένα ζευγος  $(\mathcal{T}, \mathcal{A})$ , όπου  $\mathcal{T}$  είναι ένα TBox και  $\mathcal{A}$  ένα ABox. Μία ερμηνεία  $\mathcal{I}$  είναι μοντέλο μιας βάσης γνώσης  $\mathcal{K} = (\mathcal{T}, \mathcal{A})$ , αν η  $\mathcal{I}$  είναι μοντέλο της  $\mathcal{T}$  και  $\mathcal{I}$  είναι μοντέλο του  $\mathcal{A}$ .

## 2.3 Εξαγωγή Συμπερασμάτων και Αλγόριθμοι Συλλογιστικής

Ένα σύστημα αναπαράστασης γνώσης που χρησιμοποιεί Περιγραφικές Λογικές, δεν περιορίζεται στην περιγραφή του κόσμου μέσω ορολογιών και ισχυρισμών, αλλά διαθέτει επίσης τη δυνατότητα συλλογιστικής πάνω στα δεδομένα. Έτσι, κάθε σύνολο από αξιώματα, εκτός από τη γνώση που περιγράφεται σε αυτά, περιέχει υπονοούμενη γνώση, η οποία μπορεί να γίνει σαφής μέσω του μηχανισμού εξαγωγής συμπερασμάτων.

ΑστυνομικήΤαινία(VERTIGO)

Σκηνοθέτης(HITCHCOCK)

έχειΣκηνοθέτη(VERTIGO, HITCHCOCK)

Ηθοποιός(STEWART)

έχειΠρωταγωνιστή(VERTIGO, STEWART)

Πίνακας 2.3: Παράδειγμα ABox

Παρακάτω, εξετάζουμε τη διαδικασία συλλογιστικής στις έννοιες, στο σώμα ορολογίας, στο σώμα ισχυρισμών, στη βάση γνώσης συνολικά. Θα αποδείξουμε ότι όλα τα προβλήματα συλλογιστικής ανάγονται στο κύριο πρόβλημα συλλογιστικής, στο πρόβλημα συνέπειας ABox. Τέλος, θα παρουσιαστεί η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη τεχνική συλλογιστικής, η τεχνική των Αλγορίθμων Tableau.

### 2.3.1 Συλλογιστική σε έννοιες

Κατά τη μοντελοποίηση ενός πεδίου ορισμού, ένας μηχανικός γνώσης κατασκευάζει μία ορολογία  $\mathcal{T}$  ορίζοντας νέες έννοιες, ορισμένες από τις οποίες περιγράφονται με τη βοήθεια άλλων εννοιών. Είναι επομένως απαραίτητο να ελεγχθεί κατά πόσο οι νέες έννοιες που εισάγονται έχουν νόημα ή είναι αντιφατικές. Λέμε ότι μία έννοια έχει νόημα αν υπάρχει κάποια ερμηνεία  $\mathcal{I}$  που είναι μοντέλο της  $\mathcal{T}$ , έτσι ώστε η έννοια να αντιστοιχεί σε ένα μη-κενό σύνολο υπό τη συγκεκριμένη ερμηνεία. Μία έννοια με την παραπάνω ιδιότητα ονομάζεται *ικανοποιήσιμη* (*satisfiable*) με βάση το  $\mathcal{T}$ , διαφορετικά ονομάζεται *μη ικανοποιήσιμη* (*unsatisfiable*).

Ο έλεγχος ικανοποιησιμότητας εννοιών είναι θεμελιώδης διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων, διότι πολλές άλλες τέτοιες διαδικασίες μπορούν να αναχθούν στη (μη) ικανοποιησιμότητα. Εκτός από την ικανοποιησιμότητα, άλλες σημαντικές ιδιότητες μεταξύ εννοιών είναι η υπαγωγή, η ισοδυναμία και η ύπαρξη ξένων εννοιών, οι οποίες ορίζονται παρακάτω για ένα TBox  $\mathcal{T}$ .

- **Ικανοποιησιμότητα (Satisfiability):** Μία έννοια  $C$  είναι *ικανοποιήσιμη* (*satisfiable*) με βάση το  $\mathcal{T}$  αν υπάρχει μοντέλο  $\mathcal{I}$  του  $\mathcal{T}$  τέτοιο ώστε το  $C^{\mathcal{I}}$  να είναι μη κενό. Σε αυτή την περίπτωση λέμε ότι η  $\mathcal{I}$  είναι μοντέλο της  $C$ .
- **Υπαγωγή (Subsumption):** Μία έννοια  $C$  *υπάγεται* (*is subsumed by*) στην έννοια  $D$  με βάση το  $\mathcal{T}$  αν  $C^{\mathcal{I}} \subseteq D^{\mathcal{I}}$  για κάθε μοντέλο  $\mathcal{I}$  της  $\mathcal{T}$ . Σε αυτή την περίπτωση γράφουμε  $C \sqsubseteq_{\mathcal{T}} D$  ή  $\mathcal{T} \models C \sqsubseteq D$ .
- **Ισοδυναμία (Equivalence):** Δύο έννοιες  $C$  και  $D$  είναι *ισοδύναμες* (*equivalent*) με βάση το  $\mathcal{T}$  αν  $C^{\mathcal{I}} \equiv D^{\mathcal{I}}$  για κάθε μοντέλο  $\mathcal{I}$  της  $\mathcal{T}$ . Σε αυτή την περίπτωση γράφουμε  $C \equiv_{\mathcal{T}} D$  ή  $\mathcal{T} \models C \equiv D$ .
- **Ξένες Έννοιες (Disjointness):** Δύο έννοιες  $C$  και  $D$  είναι *ξένες* (*disjoint*) με βάση το  $\mathcal{T}$  αν  $C^{\mathcal{I}} \cap D^{\mathcal{I}} = \emptyset$  για κάθε μοντέλο  $\mathcal{I}$  της  $\mathcal{T}$ . Σε αυτή την περίπτωση ορίζουμε ότι  $C \sqsubseteq \neg D$  και  $D \sqsubseteq \neg C$ .

Στην περίπτωση που το  $\mathcal{T}$  είναι κενό δε χρειάζεται να αναφέρουμε τον περιορισμό “με βάση το  $\mathcal{T}$ ” και γράφουμε  $\models C \sqsubseteq D$  ή  $\models C \equiv D$  για υπαγωγή ή ισοδυναμία εννοιών αντίστοιχα.

Ο μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων των συστημάτων Περιγραφικής Λογικής συνήθως ελέγχει την ύπαρξη σχέσεων υπαγωγής μεταξύ εννοιών. Ο έλεγχος αυτός επαρκεί γιατί και οι υπόλοιπες ιδιότητες μεταξύ εννοιών μπορούν να αναχθούν στην υπαγωγή. Μόνη προϋπόθεση για να ισχύει αυτό, είναι η Περιγραφική Γλώσσα που χρησιμοποιούμε να περιλαμβάνει τον τελεστή τομής “ $\sqcap$ ”.

**Πρόταση 2.3** (Αναγωγή στην Υπαγωγή). *Για τις έννοιες  $C$  και  $D$  μπορεί να ισχύει:*

1.  $HC$  είναι μη ικανοποιήσιμη  $\leftrightarrow C \sqsubseteq \perp$ .
2.  $HC$  και η  $D$  είναι ισοδύναμες  $\leftrightarrow C \sqsubseteq D$  και  $D \sqsubseteq C$ .
3.  $HC$  και η  $D$  είναι ξένες  $\leftrightarrow C \sqcap D \sqsubseteq \perp$ .

*Οι παραπάνω προτάσεις ισχύουν και με βάση κάποιο TBox.*

Αν επιπλέον το σύστημα που χρησιμοποιούμε επιτρέπει και την άρνηση μιας περιγραφής, τότε ο έλεγχος υπαγωγής, ισοδυναμίας και ξένων εννοιών μπορεί να αναχθεί στην ικανοποιησιμότητα.

**Πρόταση 2.4** (Αναγωγή στη Μη Ικανοποιησιμότητα). *Για τις έννοιες  $C$ ,  $D$  έχουμε ότι:*

1.  $HC$  υπάγεται στην  $D$   $\leftrightarrow HC \sqcap \neg D$  είναι μη ικανοποιήσιμη.
2.  $HC$  και η  $D$  είναι ισοδύναμες  $\leftrightarrow$  Τόσο η  $(C \sqcap \neg D)$  όσο και η  $(D \sqcap \neg C)$  είναι μη ικανοποιήσιμες.
3.  $HC$  και η  $D$  είναι ξένες  $\leftrightarrow HC \sqcap D$  είναι μη ικανοποιήσιμη.

*Οι παραπάνω προτάσεις ισχύουν και με βάση κάποιο TBox.*

Η αναγωγή της υπαγωγής στην ικανοποιησιμότητα είναι ορθή διότι για δύο σύνολα  $M, N$  έχουμε ότι  $M \sqsubseteq N$  αν και μόνο αν  $M \setminus N = \emptyset$ . Η αναγωγή της ισοδυναμίας στην ικανοποιησιμότητα ισχύει γιατί οι έννοιες  $C$  και  $D$  είναι ισοδύναμες αν και μόνο αν η  $C$  υπάγεται στη  $D$  και η  $D$  υπάγεται στη  $C$ . Τέλος, η αναγωγή των ξένων εννοιών προκύπτει από τον ίδιο τον ορισμό.

Χάρη στην παραπάνω πρόταση μπορούμε να αποφανθούμε για την ισχύ οποιασδήποτε από τις τέσσερις ιδιότητες, αρκεί να έχουμε στη διάθεσή μας έναν αλγόριθμο που ελέγχει την ικανοποιησιμότητα εννοιών.

Η παρατήρηση αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία και για το σχεδιασμό ενός τύπου αλγορίθμων συλλογιστικής για Περιγραφικές Λογικές, των αλγορίθμων Tableau. Η λογική των αλγορίθμων αυτών παρουσιάζεται πιο αναλυτικά την ενότητα 2.5.

Σε γλώσσες της οικογένειας  $\mathcal{AL}$  που δεν περιέχουν πλήρη άρνηση, υπαγωγή και ισοδυναμία, δεν μπορεί να εφαρμοστεί η αναγωγή στη μη ικανοποιησιμότητα, με αποτέλεσμα η εξαγωγή συμπερασμάτων στις γλώσσες αυτές να έχει διαφορετική πολυπλοκότητα.



Η Πρόταση 2.3 δείχνει ότι από τη σκοπιά της πολυπλοκότητας χειρότερης περίπτωσης, η υπαγωγή είναι η πιο γενική διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων για κάθε γλώσσα της οικογένειας  $\mathcal{AL}$ . Η επόμενη πρόταση δείχνει ότι η μη ικανοποιησιμότητα είναι μια ειδική περίπτωση όλων των υπόλοιπων προβλημάτων.

**Πρόταση 2.5.** Έστω  $C$  μία έννοια. Τότε οι παρακάτω προτάσεις είναι ισοδύναμες:

1.  $H C$  είναι μη ικανοποιήσιμη.
2.  $H C$  υπάγεται στην  $\perp$ .
3.  $H C$  και  $\eta \perp$  είναι ισοδύναμες.
4.  $H C$  και  $\eta \top$  είναι ξένες.

Οι προτάσεις αυτές ισχύουν και με βάση κάποιο  $TBox$ .

Από τις προτάσεις 2.3 και 2.5 παρατηρούμε ότι για υπολογίσουμε το άνω και κάτω όριο της πολυπλοκότητας μίας γλώσσας από την οικογένεια  $\mathcal{AL}$ , αρκεί να υπολογίσουμε το κάτω όριο για το πρόβλημα ικανοποιησιμότητας και το άνω όριο για το πρόβλημα υπαγωγής. Συγκεκριμένα, για τις γλώσσες της οικογένειας  $\mathcal{AL}$  ένα άνω φράγμα για την πολυπλοκότητα του προβλήματος υπαγωγής, είναι επίσης άνω φράγμα για την πολυπλοκότητα των προβλημάτων μη ικανοποιησιμότητας, ισοδυναμίας και ξένων εννοιών. Ακόμα, ένα κάτω φράγμα για την πολυπλοκότητα του προβλήματος ικανοποιησιμότητας, είναι επίσης κάτω φράγμα για την πολυπλοκότητα των προβλημάτων υπαγωγής, ισοδυναμίας και ξένων εννοιών.

### 2.3.2 Απαλοιφή του $TBox$

Συνήθως οι έννοιες που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές περιέχονται σε κάποιο σώμα ορολογίας. Ωστόσο, για την ανάπτυξη διαδικασιών συλλογιστικής είναι ευκολότερο να εργαζόμαστε σε κενό  $TBox$ . Αποδεικνύεται, ότι σε ένα ακυκλικό  $TBox$ , μπορούμε να ανάγουμε προβλήματα συλλογιστικής με βάση το  $\mathcal{T}$ , σε προβλήματα με βάση το κενό  $TBox$ . Η διαδικασία απαλοιφής του  $TBox$  χρησιμοποιεί την επέκταση ενός  $TBox$ , όπως περιγράφηκε στην Πρόταση 2.1.

Μπορούμε να εξάγουμε μία σειρά συμπερασμάτων για τις επεκτάσεις. Καταρχάς, δεδομένου ότι η επέκταση  $C'$ , προκύπτει από την έννοια  $C$  με την αντικατάσταση ορισμένων εννοιών από πρωτογενείς έτσι ώστε και οι δύο έννοιες να ερμηνεύονται κατά τον ίδιο τρόπο σε κάθε μοντέλο  $\mathcal{T}$ , θα έχουμε:

- $C \equiv_{\mathcal{T}} C'$

Έτσι, η  $C$  είναι ικανοποιήσιμη με βάση το  $\mathcal{T}$  αν και μόνο αν η  $C'$  είναι ικανοποιήσιμη με βάση το  $\mathcal{T}$ . Όμως η  $C'$  δεν περιέχει ορισμένες έννοιες, και έτσι η  $C'$  είναι ικανοποιήσιμη με βάση το  $\mathcal{T}$  αν και μόνο αν είναι ικανοποιήσιμη. Επομένως:

- Η  $C$  είναι ικανοποιήσιμη με βάση το  $\mathcal{T}$  αν και μόνο αν η  $C'$  είναι ικανοποιήσιμη.

Αν επιπλέον η  $D$  είναι μία ακόμα έννοια στο  $\mathcal{T}$ , τότε επεκτείνοντάς τη θα έχουμε  $D \equiv_{\mathcal{T}} D'$ . Έτσι, η  $C \sqsubseteq_{\mathcal{T}} D$  αν και μόνο αν  $C' \sqsubseteq_{\mathcal{T}} D'$ , και  $C \equiv_{\mathcal{T}} D$  αν και μόνο αν  $C' \sqsubseteq_{\mathcal{T}} D'$ . Και εδώ, εφόσον η  $C'$  και η  $D'$  περιέχουν μόνο πρωτογενείς έννοιες θα ισχύει:

- $\mathcal{T} \models C \sqsubseteq D$  αν  $\models C' \sqsubseteq D'$ .
- $\mathcal{T} \models C \equiv D$  αν  $\models C' \equiv D'$ .

Με την ίδια διαδικασία μπορούμε να αποδείξουμε ότι:

- Η  $C$  και η  $D$  είναι ξένες με βάση το  $\mathcal{T}$  αν η  $C'$  και η  $D'$  είναι ξένες.

Συνοψίζοντας, η επέκταση εννοιών με βάση ένα ακυκλικό TBox μας δίνει τη δυνατότητα να λύνουμε προβλήματα συλλογιστικής χωρίς να λαμβάνουμε υπόψη μας το TBox.

Η επέκταση εννοιών μπορεί να αυξήσει την υπολογιστική πολυπλοκότητα, γιατί στη χειρότερη περίπτωση το μέγεθος του  $\mathcal{T}'$  είναι εκθετικά μεγαλύτερο από το μέγεθος του  $\mathcal{T}$ . Η ανάλυση της πολυπλοκότητας συλλογιστικής σε σώματα ορολογίας δείχνει ότι η επέκταση ορισμών είναι πηγή πολυπλοκότητας που δεν είναι πάντα δυνατό να αποφύγουμε.

### 2.3.3 Συλλογιστική σε ABox

Μετά από το σχεδιασμό του σώματος ορολογίας, τον έλεγχο ικανοποιησιμότητας των εννοιών και τον έλεγχο των σχέσεων υπαγωγής, ο μηχανικός γνώσης κατασκευάζει το ABox, προσθέτοντας ισχυρισμούς για τα άτομα. Ωστόσο, η αναπαράσταση των ισχυρισμών, θα πρέπει να είναι *συνεπής* ως προς την ορολογία που έχει σχεδιαστεί.

**Ορισμός 2.7** (Συνέπεια σώματος ισχυρισμών). Ένα ABox  $\mathcal{A}$  είναι συνεπές (consistent) με βάση ένα TBox  $\mathcal{T}$ , αν υπάρχει μία ερμηνεία  $\mathcal{I}$ , η οποία να είναι ταυτόχρονα μοντέλο του  $\mathcal{A}$  και του  $\mathcal{T}$ . Ένα ABox είναι συνεπές αν είναι συνεπές με βάση το κενό TBox.

Για παράδειγμα, το σύνολο των ισχυρισμών {Κορίτσι(MΑΡΙΑ), Αγόρι(MΑΡΙΑ)}, είναι συνεπές με βάση το κενό TBox, όχι όμως και με βάση το TBox {Αγόρι  $\sqsubseteq$  Αρσενικό, Κορίτσι  $\sqsubseteq$   $\neg$  Αρσενικό}, στο οποίο, οι έννοιες Αγόρι και Κορίτσι ερμηνεύονται ως ξένες.

Όπως και με την ικανοποιησιμότητα TBox, η συνέπεια ενός ABox με βάση ένα ακυκλικό TBox μπορεί να αναχθεί στον έλεγχο της επέκτασης ενός ABox. Η επέκταση του  $\mathcal{A}$  με βάση το  $\mathcal{T}$  ορίζεται ως το ABox  $\mathcal{A}'$ , που προκύπτει από το  $\mathcal{A}$  αν αντικαταστήσουμε κάθε ισχυρισμό  $C(\alpha)$  με  $C'(\alpha)$ , όπου  $C'$  είναι η επέκταση της έννοιας  $C$  με βάση το  $\mathcal{T}$ .

Στο TBox, μία έννοια  $C$  και η επέκτασή της  $C'$  έχουν την ίδια ερμηνεία. Έτσι το  $\mathcal{A}'$  είναι συνεπές με βάση το  $\mathcal{T}$  αν και μόνο αν και το  $\mathcal{A}$  είναι συνεπές. Όμως το  $\mathcal{A}'$  δεν περιέχει καμία από τις ορισμένες έννοιες του  $\mathcal{T}$ , γι' αυτό το  $\mathcal{A}'$  είναι συνεπές με βάση το  $\mathcal{T}$  αν και μόνο αν είναι συνεπές με βάση το κενό TBox. Έτσι:

- Το  $\mathcal{A}$  είναι συνεπές με βάση το  $\mathcal{T}$  αν η επέκτασή του  $\mathcal{A}'$  είναι συνεπής.

Σε ένα ABox  $\mathcal{A}$ , μπορούμε να θέσουμε ερωτήματα για τις σχέσεις ανάμεσα σε έννοιες, ρόλους και άτομα. Οι διαδικασίες εξαγωγής συμπερασμάτων πάνω στο ABox στην οποία βασίζονται τα ερωτήματα αυτά είναι είτε ο έλεγχος στιγμιότυπου (*instance checking*), είτε ο έλεγχος αν ένας ισχυρισμός συνεπάγεται από ένα ABox. Ένας ισχυρισμός  $\alpha$  συνεπάγεται από το  $\mathcal{A}$ , συμβολικά  $\mathcal{A} \models \alpha$ , αν κάθε ερμηνεία που ικανοποιεί το  $\mathcal{A}$ , δηλαδή κάθε μοντέλο του  $\mathcal{A}$ , ικανοποιεί επίσης και τον  $\alpha$ . Ο έλεγχος στιγμιότυπου μπορεί να αναχθεί στον έλεγχο συνέπειας ABox λόγω της σχέσης:

- $\mathcal{A} \models C(\alpha)$  αν  $\mathcal{A} \cup \{\neg C(\alpha)\}$  είναι ασυνεπές.

Αλλά και η συλλογιστική στο TBox ανάγεται στο πρόβλημα συνέπειας ABox. Είδαμε στην Πρόταση 2.4 πώς τα προβλήματα συλλογιστικής στο TBox ανάγονται στο πρόβλημα ικανοποιησιμότητας. Όμως, το ίδιο το πρόβλημα ικανοποιησιμότητας ανάγεται στο πρόβλημα συνέπειας ABox διότι:

- Η έννοια  $C$  είναι ικανοποιήσιμη αν ο ισχυρισμός  $\{C(\alpha)\}$  είναι συνεπής,

όπου το  $\alpha$  είναι ένα άτομο που έχουμε επιλέξει αυθαίρετα. Στο [48] αποδεικνύεται και το αντίστροφο, ότι δηλαδή η συνέπεια ABox μπορεί να αναχθεί στην ικανοποιησιμότητα TBox σε γλώσσες με κατασκευαστή συνόλου και κατασκευαστή “fills”. Αν όμως δεν υπάρχουν οι κατασκευαστές αυτοί ο έλεγχος στιγμιότυπου γίνεται δυσκολότερο πρόβλημα από τα προβλήματα ικανοποιησιμότητας και υπαγωγής, όπως αποδεικνύεται στο [24].

Στην πράξη, χρειαζόμαστε πιο περίπλοκες διαδικασίες εξαγωγής συμπερασμάτων από την ικανοποιησιμότητα και τη συνέπεια. Αν αναζητάμε τα άτομα εκείνα που ανήκουν σε μία έννοια, για παράδειγμα αν θέλουμε να βρούμε τα άτομα εκείνα που έχουν περισσότερα από 3 κατοικίδια ζώα, ο έλεγχος συνέπειας δεν αρκεί. Το πρόβλημα ανάκτησης (*retrieval problem*), με δεδομένο το ABox  $\mathcal{A}$  και μία έννοια  $C$ , αφορά την εύρεση όλων των ατόμων στο  $\mathcal{A}$  στα οποία  $\mathcal{A} \models C(\alpha)$ . Ένας μη αποδοτικός αλγόριθμος για ερωτήματα ανάκτησης ελέγχει αν κάθε ένα από τα άτομα στο ABox είναι στιγμιότυπο της έννοιας  $C$ .

Το δυαδικό ανάλογο του προβλήματος ανάκτησης είναι το πρόβλημα πραγματοποίησης (*realization problem*), βάσει του οποίου πρέπει ξεκινώντας από ένα στιγμιότυπο  $\alpha$  και ένα σύνολο εννοιών, να βρούμε τις πιο εξειδικευμένες έννοιες  $C$ , δηλαδή τις ελάχιστες με βάση την ταξινόμια που δημιουργούν οι υπαγωγές, έτσι ώστε  $\mathcal{A} \models C(\alpha)$ . Η πραγματοποίηση χρησιμοποιείται, μεταξύ άλλων, σε συστήματα που παράγουν φυσική γλώσσα,

αν οι όροι αναπαρίστανται από έννοιες, και θέλουμε να βρούμε τον πιο ακριβή όρο που περιγράφει ένα αντικείμενο.

## 2.4 Η υπόθεση ανοιχτού και κλειστού κόσμου

Συχνά, γίνεται μία σύγκριση ανάμεσα στις Βάσεις Δεδομένων και τις Βάσεις Γνώσεις που στηρίζονται σε περιγραφικές λογικές. Το σχήμα μιας Βάσης Δεδομένων παρουσιάζει ομοιότητες με το TBox και τα στιγμιότυπα της Βάσης Δεδομένων που αντιστοιχούν στα δεδομένα που αποθηκεύει, με το ABox. Όμως, η σημασιολογία ενός ABox παρουσιάζει σημαντικές διαφορές σε σχέση με εκείνη των στιγμιότυπων της Βάσης Δεδομένων. Σε μία Βάση Δεδομένων, τα στιγμιότυπα αντιστοιχούν σε μία ακριβώς ερμηνεία και συγκεκριμένα σε εκείνη που οι κλάσεις και οι σχέσεις στο σχήμα της Βάσης ερμηνεύονται από τα δεδομένα της Βάσης. Από την άλλη, στο ABox αναπαρίστανται πολλές διαφορετικές ερμηνείες οι οποίες αντιστοιχούν σε όλα τα δυνατά μοντέλα. Η συνέπεια της διαφοράς αυτής είναι ότι στη Βάση Δεδομένων, μία πληροφορία που απουσιάζει ερμηνεύεται ως ψευδής πληροφορία, ενώ στη Βάση Γνώσης, η απουσία μίας πληροφορίας ερμηνεύεται ως άγνοια της συγκεκριμένης πληροφορίας, η οποία μπορεί να είναι είτε αληθής είτε ψευδής.

Για παράδειγμα, αν ο μόνος ισχυρισμός για το άτομο “HITCHCOCK” είναι έχειΣκηνοθετήσει (HITCHCOCK, VERTIGO), μία Βάση Δεδομένων θα αντιλαμβανόταν ότι ο Hitchcock έχει σκηνοθετήσει μία μόνο ταινία, το Vertigo. Αντίθετα, το ABox έχει μεγάλο αριθμό μοντέλων, σε ορισμένα από τα οποία ο Hitchcock έχει σκηνοθετήσει μία ταινία ενώ σε άλλα περισσότερες. Αυτό σημαίνει ότι, ενώ σε μία Βάση Δεδομένων η πληροφορία που αναπαριστά τη γνώση μας για τον κόσμο θεωρείται πλήρης, σε μία Βάση Γνώσης θεωρείται ατελής. Γι’ αυτό λέμε ότι οι Βάσεις Δεδομένων ακολουθούν σημασιολογία *κλειστού κόσμου*, ενώ το ABox των Βάσεων Γνώσης ακολουθεί σημασιολογία *ανοιχτού κόσμου*.

Η διαφορά αυτή έχει επίδραση στον τρόπο απάντησης ερωτημάτων. Ένα ερωτήμα είναι μια περιγραφή μιας κλάσης αντικειμένων, με άλλα λόγια, είναι η περιγραφή μίας έννοιας. Μία Βάση Δεδομένων, μπορεί λοιπόν να θεωρηθεί ως μία απαρίθμηση των στιγμιότυπων μίας μοναδικής πεπερασμένης ερμηνείας. Η ερμηνεία αυτή, έστω  $\mathcal{I}$ , μπορεί να γραφεί σαν ένα σύνολο ισχυρισμών της μορφής  $A(\alpha)$  και  $R(\beta, \gamma)$ , όπου  $A$  μία ατομική έννοια και  $R$  ένας ατομικός ρόλος. Ένα τέτοιο σύνολο, μοιάζει συντακτικά με ABox, αλλά διαφέρει σημασιολογικά. Στη Βάση Δεδομένων, η απάντηση ενός ερωτήματος που αντιστοιχεί στη σύνθετη έννοια  $C$ , οδηγεί στον υπολογισμό του  $C^{\mathcal{I}}$ . Η διαδικασία αυτή όμως δεν είναι συλλογιστική, αλλά αξιολόγηση ενός τύπου με βάση ένα καθορισμένο πεπερασμένο μοντέλο.

Αντίθετα, σε ένα ABox αναπαρίστανται πολλές, πιθανώς και άπειρες, διαφορετικές ερμηνείες, οι οποίες αντιστοιχούν στα διαφορετικά μοντέλα που το ικανοποιούν. Έτσι, η

διαδικασία συλλογιστικής δεν μπορεί να είναι τόσο απλοϊκή.

**Παράδειγμα 1.** Το ABox του Πίνακα 2.4 είναι εμπνευσμένο από την ελληνική μυθολογία. Με βάση το μύθο, ο Οιδίποδας σκότωσε τον πατέρα του, παντρεύτηκε τη μητέρα του Ιοκάστη και έκανε παιδιά μαζί της, ένα από τα οποία ήταν ο Πολυνείκης. Ο Πολυνείκης επίσης είχε παιδιά, ένα από τα οποία ήταν ο Θέρσανδρος.

Έστω ότι θέλουμε να θέσουμε το παρακάτω επερώτημα:

$$A \models \{ : \exists \text{έχειΠαιδί} . (\text{Πατροκτόνος} \sqcap \exists \text{έχειΠαιδί} . \neg \text{Πατροκτόνος}) \}?,$$

δηλαδή αν η Ιοκάστη έχει ένα παιδί που είναι πατροκτόνος, το οποίο να έχει ένα παιδί που να μην είναι πατροκτόνος.

Με την πρώτη ματιά η πρόταση φαίνεται ότι δε συνεπάγεται από το ABox, γιατί δεν γνωρίζουμε αν ο Πολυνείκης είναι πατροκτόνος ή όχι. Στην πραγματικότητα όμως, όλα τα πιθανά μοντέλα του ABox μπορεί να ικανοποιούν μία από τις δύο περιπτώσεις: είτε ο Πολυνείκης είναι πατροκτόνος, είτε όχι. Έστω ότι ο Πολυνείκης είναι πατροκτόνος. Επειδή ο Πολυνείκης έχει ένα παιδί, το Θέρσανδρο, που δεν είναι πατροκτόνος, η πρόταση συνεπάγεται από το ABox. Έστω τώρα, ότι ο Πολυνείκης δεν είναι πατροκτόνος. Τότε, ο Οιδίποδας, που είναι παιδί της Ιοκάστης, έχει ένα παιδί, τον Πολυνείκη, που δεν είναι πατροκτόνος. Σε κάθε περίπτωση υπάρχει ένα μοντέλο με βάση το οποίο η πρόταση συνεπάγεται από το ABox.

Από το παραπάνω παράδειγμα συμπεραίνουμε ότι η συλλογιστική ανοικτού κόσμου πιθανόν να απαιτεί ανάλυση όλων των δυνατών περιπτώσεων, η οποία φυσικά αποτελεί πηγή πολυπλοκότητας.

## 2.5 Αλγόριθμοι Συλλογιστικής

Για την επίλυση των προβλημάτων συλλογιστικής χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές συλλογιστικής, οι οποίες βασίζονται είτε στον αλγόριθμο της ανάλυσης [34], [33], είτε στη θεωρία αυτομάτων [17], [55], είτε σε δομικές προσεγγίσεις [3]. Η πιο διαδεδομένη τεχνική συλλογιστικής, είναι οι αλγόριθμοι Tableau, οι οποίοι παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά στο [51]. Στη συνέχεια, θα περιγράψουμε τον αλγόριθμο Tableau για τη γλώσσα *ALC*.

έχειΠαιδί(ΙΟΚΑΣΤΗ, ΟΙΔΙΠΟΔΑΣ)	έχειΠαιδί(ΙΟΚΑΣΤΗ, ΠΟΛΥΝΕΙΚΗΣ)
έχειΠαιδί(ΟΙΔΙΠΟΔΑΣ, ΠΟΛΥΝΕΙΚΗΣ)	έχειΠαιδί(ΠΟΛΥΝΕΙΚΗΣ, ΘΕΡΣΑΝΔΡΟΣ)
Πατροκτόνος(ΟΙΔΙΠΟΔΑΣ)	$\neg$ Πατροκτόνος(ΘΕΡΣΑΝΔΡΟΣ)

Πίνακας 2.4: ABox πάνω στο μύθο του Οιδίποδα

Οι αλγόριθμοι Tableau χρησιμοποιούν την άρνηση εννοιών ώστε να ανάγουν το πρόβλημα υπαγωγής εννοιών στη μη ικανοποιησιμότητα: η  $C \sqsubseteq D$  ισχύει αν και μόνο αν η  $C \sqcap \neg D$  είναι μη ικανοποιήσιμη. Για την  $\mathcal{ALC}$  με γενικευμένο TBox, το πρόβλημα είναι EXP-TIME-complete [49].

Η πολυπλοκότητα χειρότερης περίπτωσης για τη συνέπεια μίας γενικευμένης βάσης γνώσης σε  $\mathcal{ALC}$  είναι εκθετικού χρόνου. Στην πράξη όμως, οι διαδικασίες που χρησιμοποιούν αλγόριθμους Tableau αποδίδουν αρκετά καλά, γι' αυτό σήμερα χρησιμοποιούνται στις περισσότερες υλοποιήσεις συστημάτων περιγραφικών λογικών.

Πριν θέσουμε σε εφαρμογή έναν αλγόριθμο Tableau για μία βάση γνώσης  $\mathcal{K} = (\mathcal{T}, \mathcal{A})$ , θα πρέπει όλες οι έννοιες στο  $\mathcal{T}$  και στο  $\mathcal{A}$  να έχουν μετατραπεί σε κανονική μορφή άρνησης - *negation normal form (NNF)*, που σημαίνει ότι η άρνηση θα πρέπει να εμφανίζεται μόνο μπροστά από ατομικές έννοιες. Για το σκοπό αυτό, μετακινούμε τον τελεστή άρνησης προς τα μέσα μίας έκφρασης, αξιοποιώντας τους νόμους deMorgan και τη δυαδικότητα ανάμεσα στον υπαρξιακό και καθολικό περιορισμό ( $\neg \exists R.C \equiv \forall R.\neg C$  και  $\neg \forall R.C \equiv \exists R.\neg C$ ). Για παράδειγμα, η έννοια  $\neg(\exists R.A \sqcap \forall S.B)$ , μετατρέπεται σε κανονική μορφή άρνησης ως εξής:  $(\forall R.\neg A) \sqcup (\exists S.\neg B)$ .

Η ιδέα στην οποία βασίζεται ο αλγόριθμος Tableau είναι ότι προσπαθεί να αποδείξει τη συνέπεια μίας βάσης γνώσης  $\mathcal{K} = (\mathcal{T}, \mathcal{A})$  κατασκευάζοντας ένα μοντέλο της  $\mathcal{K}$ . Ο αλγόριθμος, ξεκινάει από τη συγκεκριμένη περιγραφή του κόσμου στο  $\mathcal{A}$  και αναπτύσσει επιπλέον περιορισμούς στο μοντέλο, με βάση τους ισχυρισμούς του  $\mathcal{A}$  και των αξιωμάτων του  $\mathcal{T}$ .

Το μοντέλο που κατασκευάζεται με αυτό τον τρόπο έχει τη μορφή ενός συνόλου δέντρων, ορισμένα από τα οποία είναι άπειρου μήκους. Οι ρίζες των δέντρων αυτών συνδέονται μεταξύ τους με αυθαίρετο τρόπο. Όμως, επειδή ο αλγόριθμος ακολουθεί μια διαδικασία απόφασης κατασκευάζονται μόνο πεπερασμένα δέντρα, τα οποία αναπαριστούν και τα δέντρα άπειρου μήκους. Δηλαδή, η πεπερασμένη αναπαράσταση που προκύπτει από τον αλγόριθμο, μπορεί να επεκταθεί σε ένα άπειρο μοντέλο του  $(\mathcal{T}, \mathcal{A})$ .

Για την κατασκευή μίας τέτοιας πεπερασμένης αναπαράστασης, ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί μία δομή δεδομένων, που ονομάζεται *δάσος συμπλήρωσης (completion forest)*, η οποία είναι ένας κατευθυνόμενος γράφος, κάθε κόμβος του οποίου είναι η ρίζα ενός *δέντρου συμπλήρωσης (completion tree)*. Κάθε κόμβος του γράφου, (που είναι είτε η ρίζα, είτε κόμβος του δέντρου συμπλήρωσης), χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο εννοιών  $\mathcal{L}(\alpha)$ , και κάθε ακμή  $\langle \alpha, \beta \rangle$  χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο ρόλων  $L(\langle \alpha, \beta \rangle)$ . Αν η  $\langle \alpha, \beta \rangle$  είναι μία ακμή, η οποία χαρακτηρίζεται και από το ρόλο R, τότε λέμε ότι το  $\alpha$  είναι R-προκάτοχος του  $\beta$  (και το  $\beta$  είναι R-διάδοχος του  $\alpha$ ).

Το δέντρο συμπλήρωσης  $\mathcal{F}_A$  αρχικοποιείται έτσι ώστε να περιέχει ένα κόμβο  $x_\alpha$ , με  $\mathcal{L}(x_\alpha) = \{C \mid \alpha : C \in \mathcal{A}\}$ , για κάθε άτομο  $\alpha$  στο  $\mathcal{A}$ , και μία ακμή  $\langle x_\alpha, x_\beta \rangle$  με  $\mathcal{L}(\langle x_\alpha, x_\beta \rangle) = \{R \mid (\alpha, \beta) : R \in \mathcal{A}\}$ , για κάθε ζεύγος  $(\alpha, \beta)$  ατόμων για τα οποία το

Κανόνας- $\sqcap$	Αν $C_1 \sqcap C_2 \in \mathcal{L}(\alpha)$ , το $\alpha$ δεν είναι μπλοκαρισμένο και $\{C_1, C_2\} \notin \mathcal{L}(\alpha)$ τότε $\mathcal{L}(\alpha) = \mathcal{L}(\alpha) \cup \{C_1, C_2\}$
Κανόνας- $\sqcup$	Αν $C_1 \sqcup C_2 \in \mathcal{L}(\alpha)$ , το $\alpha$ δεν είναι μπλοκαρισμένο και $\{C_1, C_2\} \cap \mathcal{L}(\alpha) = \emptyset$ τότε $\mathcal{L}(\alpha) = \mathcal{L}(\alpha) \cup \{C\}$ όπου $C \in \{C_1, C_2\}$
Κανόνας- $\exists$	Αν $\exists R.C \in \mathcal{L}(\alpha)$ , το $\alpha$ δεν είναι μπλοκαρισμένο και το $\alpha$ δεν έχει R-διάδοχο $\beta$ με $C \in \mathcal{L}(\beta)$ , τότε εισαγωγή νέου κόμβου $\beta$ με $\mathcal{L}(\langle \alpha, \beta \rangle) = \{R\}$ και $\mathcal{L}(\beta) = \{C\}$
Κανόνας- $\forall$	Αν $\forall R.C \in \mathcal{L}(\alpha)$ , το $\alpha$ δεν είναι μπλοκαρισμένο και υπάρχει R-διάδοχος $\beta$ του $\alpha$ με $C \notin \mathcal{L}(\beta)$ , τότε $\mathcal{L}(\beta) = \mathcal{L}(\beta) \cup \{C\}$
Κανόνας- $\sqsubseteq$	Αν $C_1 \sqsubseteq C_2 \in \mathcal{T}$ , το $\alpha$ δεν είναι μπλοκαρισμένο και $C_2 \sqcup \neg C_1 \notin \mathcal{L}(\alpha)$ τότε $\mathcal{L}(\alpha) = \mathcal{L}(\alpha) \cup \{C_2 \sqcup \neg C_1\}$

Πίνακας 2.5: Κανόνες Tableau για την  $\mathcal{ALC}$ 

σύνολο  $\{R | (\alpha, \beta) : R \in \mathcal{A}\}$  είναι μη κενό.

Στη συνέχεια ο αλγόριθμος εφαρμόζει τους κανόνες επέκτασης, οι οποίοι είτε προσθέτουν νέους περιορισμούς σε ένα δεδομένο κόμβο, είτε επεκτείνουν το δέντρο με βάση τους κανόνες του Πίνακα 2.5. Οι κανόνες μπορούν να εφαρμοστούν με αυθαίρετη σειρά, χωρίς αυτό να επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, αν  $C_1 \sqcap C_2 \in \mathcal{L}(\alpha)$  και είτε  $C_1 \notin \mathcal{L}(\alpha)$  ή  $C_2 \notin \mathcal{L}(\alpha)$ , τότε ο κανόνας- $\sqcap$  προσθέτει τα  $C_1, C_2$  στο  $\mathcal{L}(\alpha)$ . Αν  $\exists R.C \in \mathcal{L}(\alpha)$  και το  $\alpha$  δεν έχει κάποιο R-διάδοχο, που να χαρακτηρίζεται από την έννοια  $C$ , τότε ενεργοποιείται ο κανόνας- $\exists$ , ο οποίος προσθέτει ένα νέο κόμβο  $\beta$ , ο οποίος είναι R-διάδοχος του  $\alpha$  με  $\mathcal{L}(\alpha) = \{C\}$ . Αξίζει, τέλος, να σημειωθεί ότι ο κανόνας- $\sqcup$  σε αντίθεση με τους υπόλοιπους είναι μη-ντετερμινιστικός, διότι εάν  $C_1 \sqcup C_2 \in \mathcal{L}(\alpha)$  και  $C_1, C_2 \notin \mathcal{L}(\alpha)$ , δημιουργούνται δύο διαφορετικά σύνολα, το  $\mathcal{L}_1(\alpha) = \mathcal{L}(\alpha) \cup C_1$  και το  $\mathcal{L}_2(\alpha) = \mathcal{L}(\alpha) \cup C_2$ , και η διαδικασία συνεχίζεται για καθένα από τα δύο διαφορετικά πλέον σύνολα. Στην πράξη, ο συγκεκριμένος κανόνας είναι η κύρια πηγή πολυπλοκότητας στους αλγορίθμους Tableau (OR-branching).

Ο αλγόριθμος σταματά αν συναντήσει κάποια αντίφαση (*clash*), δηλαδή αν για κάποιο κόμβο  $x$  και μία έννοια  $A$ , είναι  $\{A, \neg A\} \subseteq \mathcal{L}(x)$ . Σε μία τέτοια περίπτωση, συναντάμε μία ασυνέπεια, επομένως δεν μπορεί να υπάρχει μοντέλο. Αν ο αλγόριθμος σταματήσει χωρίς να έχει εντοπίσει κάποια αντίφαση, ο γράφος θα αναπαριστά ένα μοντέλο της βάσης γνώσης, επομένως ο αλγόριθμος αποφαινεται ότι η βάση γνώσης είναι συνεπής, ενώ αν όλα τα σύνολα που δημιουργούνται από τον κανόνα- $\sqcup$  έχουν αντιφάσεις, τότε η βάση γνώσης είναι ασυνεπής.

Τέλος, είναι σημαντικό να διευκρινιστεί η σημασία του τελευταίου από τους κανόνες

Tableau, τον κανόνα επιλογής. Ο κανόνας αυτός, δε θα ήταν απαραίτητος αν χρησιμοποιούσαμε το κενό TBox, όταν όμως έχουμε γενικευμένα αξιώματα υπαγωγής στο TBox, ο κανόνας επιλογής εξασφαλίζει ότι ο αλγόριθμος θα τερματίσει. Συγκεκριμένα, με τον κανόνα επιλογής εμποδίζεται η εφαρμογή των κανόνων επέκτασης όταν η κατασκευή υποδένδρων στο γράφο γίνεται επαναληπτική, όταν δηλαδή το υποδένδρο που σχηματίζεται με ρίζα κάποιο κόμβο  $\alpha$  είναι όμοιο με κάποιο υποδένδρο με ρίζα κάποιο προκάτοχο  $\beta$  του  $\alpha$ . Λέμε ότι ο κόμβος  $\beta$  “μπλοκάρει” τον κόμβο  $\alpha$ , αν ο  $\beta$  είναι προκάτοχος του  $\alpha$  και  $\mathcal{L}(\alpha) \subseteq \mathcal{L}(\beta)$ , ή αν υπάρχει προκάτοχος  $\gamma$  του  $\alpha$  έτσι ώστε ο  $\gamma$  να έχει “μπλοκαριστεί”. Έτσι, σε ένα γράφο χωρίς αντιφάσεις, ένας “μπλοκαρισμένος” κόμβος  $\alpha$  αντιστοιχεί σε έναν άπειρο κλάδο στο αντίστοιχο μοντέλο, ο οποίος έχει τη δομή άπειρων επαναλήψεων του τμήματος του γράφου ανάμεσα στο  $\alpha$  και του κόμβου που το μπλοκάρει.

**Θεώρημα 1.** *Το πρόβλημα συνέπειας μίας βάσης γνώσης σε  $\mathcal{ALC}$  είναι αποφάνσιμο.*

*Απόδειξη.* Αναλυτικά, η απόδειξη της αποφανσιμότητας του αλγορίθμου Tableau υπάρχει στα [4] και [5]. Για να αποδείξουμε την αποφανσιμότητα του αλγορίθμου, πρέπει πρώτα να δειχθεί ότι ο αλγόριθμος τερματίζει. Οι κανόνες επέκτασης πάντα είτε επεκτείνουν το σύνολο των εννοιών που χαρακτηρίζουν έναν κόμβο, είτε προσθέτουν επιπλέον κόμβους. Κάθε χαρακτηριστικό σύνολο  $\mathcal{L}(\alpha)$  μπορεί να περιέχει μόνο έννοιες που αντλούνται από από την αποσύνθεση εννοιών στην αρχική βάση γνώσης, επομένως υπάρχει ένα άνω φράγμα για το μέγεθος των χαρακτηριστικών συνόλων. Επίσης, ένας κόμβος μπορεί να έχει το πολύ έναν προκάτοχο για κάθε καθολικό υπαρξιακό περιορισμό στο χαρακτηριστικό του συνολο, επομένως υπάρχει άνω φράγμα και στο πόσα δέντρα μπορούν να αναπτυχθούν στον αρχικό γράφο. Τέλος, ο κανόνας επιλογής εξασφαλίζει ότι θα υπάρχει άνω φράγμα και για το μήκος των κλάδων. Άρα, υπάρχει άνω φράγμα για κάθε δυνατή ενέργεια του αλγορίθμου, που σημαίνει ότι ο αλγόριθμος τερματίζει.

Η ορθότητα του αλγορίθμου προκύπτει από το γεγονός ότι ένα πλήρως αναπτυγμένο και ελεύθερο αντιφάσεων δάσος συμπλήρωσης, μπορεί να μετατραπεί σε μοντέλο της αρχικής βάσης γνώσης, αν εξαλειφθούν όλοι οι “μπλοκαρισμένοι” κόμβοι και οι άμεσοι προκάτοχοί τους ενωθούν με τον κόμβο που τους “μπλοκαρει”, ώστε να σχηματιστεί ένας κύκλος.

Η πληρότητα του αλγορίθμου οφείλεται στο γεγονός ότι ξεκινώντας από ένα μοντέλο της αρχικής βάσης γνώσης, μπορούμε με εφαρμογή του κανόνα- $\sqcup$  να παράξουμε ένα πλήρως ανεπτυγμένο και ελεύθερο αντιφάσεων δάσος συμπλήρωσης.  $\square$

Η παραπάνω διαδικασία απλοποιείται αν το TBox είναι καλά ορισμένο, διότι σε αυτή την περίπτωση το πρόβλημα μπορεί να αναχθεί σε πρόβλημα συνέπειας ABox (συλλογιστική με βάση το κενό TBox), εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία επέκτασης (ξεδιπλώματος) του TBox, που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Ο αλγόριθμος Tableau μπορεί επίσης να επεκταθεί για ένα ευρύ φάσμα περιγραφικών γλωσσών, με την προσθήκη νέων



κανόνων επέκτασης για τους επιπλέον κατασκευαστές και με ένα πιο πολύπλοκο κανόνα επιλογής.

**Παράδειγμα 2.** *Ας υποθέσουμε ότι έχουμε την παρακάτω Βάση Γνώσης σε  $\mathcal{ALC}$ :*

$$\begin{aligned}\mathcal{T} &= \{\text{Πτηνό} \sqsubseteq \text{Πετάει}, \text{Πιγκουίνος} \sqsubseteq \text{Πτηνό}, \text{Πιγκουίνος} \sqcap \text{Πετάει} \sqsubseteq \perp\} \\ \mathcal{A} &= \{\text{TWEETY:Πιγκουίνος}\}\end{aligned}$$

Θα εξετάσουμε την ικανοποιησιμότητα της βάσης γνώσης με χρήση αλγορίθμων *Tableau*. Αρχικά μετατρέπουμε το *TBox* σε κανονική μορφή άρνησης ως εξής:

$$\mathcal{T} = \{\neg\text{Πτηνό} \sqcup \text{Πετάει}, \neg\text{Πιγκουίνος} \sqcup \text{Πτηνό}, \neg\text{Πιγκουίνος} \sqcup \neg\text{Πετάει} \sqcup \perp\}$$

Στη συνέχεια κάνουμε αναγωγή του προβλήματος στη συνέπεια *ABox*:

$$\mathcal{A} = \{\text{TWEETY:Πιγκουίνος}, \text{TWEETY}:\neg\text{Πτηνό} \sqcup \text{Πετάει}, \text{TWEETY}:\neg\text{Πιγκουίνος} \sqcup \text{Πτηνό}, \text{TWEETY}:\neg\text{Πιγκουίνος} \sqcup \neg\text{Πετάει} \sqcup \perp\}$$

Ο κανόνας- $\sqcup$  για την πρόταση  $\neg\text{Πιγκουίνος} \sqcup \text{Πτηνό}$  οδηγεί στη δημιουργία δύο *ABox*:

$$\begin{aligned}\mathcal{A}_1 &= \mathcal{A} \cup \{\text{TWEETY}:\neg\text{Πιγκουίνος}\} \\ \mathcal{A}_2 &= \mathcal{A} \cup \{\text{TWEETY:Πτηνό}\}\end{aligned}$$

Το  $\mathcal{A}_1$  περιέχει αντίφαση, οπότε συνεχίζουμε με το  $\mathcal{A}_2$ . Εφαρμογή του κανόνα- $\sqcup$  για την πρόταση  $\neg\text{Πτηνό} \sqcup \text{Πετάει}$  μας δίνει:

$$\begin{aligned}\mathcal{A}_3 &= \mathcal{A}_2 \cup \{\text{TWEETY}:\neg\text{Πτηνό}\} \\ \mathcal{A}_4 &= \mathcal{A}_2 \cup \{\text{TWEETY:Πετάει}\}\end{aligned}$$

Το  $\mathcal{A}_3$  περιέχει επίσης αντίφαση, επομένως εφαρμόζουμε κανόνα- $\sqcup$  στο  $\mathcal{A}_4$  για την πρόταση  $\neg\text{Πιγκουίνος} \sqcup \neg\text{Πετάει} \sqcup \perp$  οπότε παίρνουμε:

$$\begin{aligned}\mathcal{A}_5 &= \mathcal{A}_4 \cup \{\text{TWEETY}:\neg\text{Πιγκουίνος}\} \\ \mathcal{A}_6 &= \mathcal{A}_4 \cup \{\text{TWEETY}:\neg\text{Πτηνό}\} \\ \mathcal{A}_7 &= \mathcal{A}_4 \cup \{\text{TWEETY}:\perp\}\end{aligned}$$

Παρατηρούμε ότι και τα τρία πιθανά *ABox* περιέχουν αντίφαση, οπότε η Βάση Γνώσης είναι μη ικανοποιήσιμη.

## 2.6 Πολυπλοκότητα

Η πολυπλοκότητα συλλογιστικής των Περιγραφικών Λογικών είναι ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα που μελετήθηκαν κατά την ανάπτυξή τους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι Περιγραφικές Λογικές σχεδιάστηκαν εξ αρχής [12] ως εργαλείο υποσυστημάτων αναπαράστασης γνώσης, που είναι ενταγμένα σε ευρύτερα περιβάλλοντα. Στην ενότητα αυτή περιγράφονται οι πηγές πολυπλοκότητας των Περιγραφικών Λογικών και παρουσιάζεται η υπολογιστική πολυπλοκότητα βασικών προβλημάτων συλλογιστικής καθώς και η σχέση της με την εκφραστικότητα των περιγραφικών γλωσσών.

### 2.6.1 Πηγές πολυπλοκότητας

Ο αλγόριθμος συλλογιστικής που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα απαιτεί τη διάσχιση ενός δέντρου, όπου η εφαρμογή του κανόνα- $\sqcap$  αντιστοιχεί στον έλεγχο όλων των προκατόχων ενός ατόμου, ενώ η εφαρμογή του κανόνα- $\sqcup$  στον έλεγχο όλων των διαφορετικών επιλογών που δημιουργεί ο μη ντετερμινιστικός αυτός κανόνας. Από την παραπάνω διαπίστωση προκύπτει η προέλευση της εκθετικής συμπεριφοράς του αλγορίθμου: το AND-branching, το οποίο ευθύνεται για το εκθετικό μέγεθος ενός υποψήφιου μοντέλου-δέντρου του γράφου και το OR-branching, υπεύθυνο για τον εκθετικό αριθμό των διαφορετικών υποψήφιων μοντέλων.

#### OR-branching

Το OR-branching εμφανίζεται όταν στην περιγραφική γλώσσα υπάρχουν κατασκευαστές διάζευξης, με τους οποίους μια έννοια μπορεί να είναι ικανοποιήσιμη με περισσότερα από ένα μοντέλα. Προφανώς, αναφερόμαστε στον κατασκευαστή  $\sqcup$ , όπως όμως αποδεικνύεται στο [5], η διάζευξη εισάγεται επίσης με συνδυασμό περιορισμών ρόλων και καθολικό περιορισμό ή με συνδυασμό περιορισμού πληθυκότητας και σύζευξης ρόλων. Αυτή η πηγή πολυπλοκότητας κάνει την ικανοποιησιμότητα σε κατηγορηματικές λογικές NP-hard. Ακόμα, το OR-branching, έχει χρησιμοποιηθεί για να αποδειχθεί ότι η υπαγωγή είναι NP-hard πρόβλημα [35], με αναγωγή ενός NP-hard προβλήματος στη μη-υπαγωγή.

#### AND-branching

Το AND-branching οφείλει την εκθετική του συμπεριφορά στην αλληλεπίδραση υπαγωγικών και καθολικών περιορισμών. Τα αποτελέσματα του AND-branching φαίνονται αν

αναπτύξουμε το tableau  $\{D(\alpha)\}$ , όπου  $D$  είναι η έννοια:

$$\begin{aligned} & \exists P_1. \forall P_2. \forall P_3. C_{11} \quad \sqcap \\ & \exists P_1. \forall P_2. \forall P_3. C_{12} \quad \sqcap \\ & \forall P_1. (\exists P_2. \forall P_3. C_{21} \quad \sqcap \\ & \quad \exists P_2. \forall P_3. C_{22} \quad \sqcap \\ & \quad \forall P_2. (\exists P_3. C_{31} \quad \sqcap \\ & \quad \quad \exists P_3. C_{32})). \end{aligned}$$

Αν και σε κάθε επίπεδο φωλιασμένων περιορισμών χρησιμοποιούμε ένα διαφορετικό ρόλο  $P_i$ , το ίδιο αποτέλεσμα θα προέκυπτε και με τη χρήση του ίδιου ρόλου  $R$ . Η δομή του υποψηφίου μοντέλου για το  $\{D(\alpha)\}$  είναι ένα δυαδικό δέντρο ύψους 3. Κάθε διαδρομή στο δέντρο τελειώνει με ένα άτομο που ανήκει στο  $C_{1i}, C_{2j}, C_{3k}$ , με  $i, j, k \in \{1, 2\}$ . Έτσι, αντίφαση μπορεί να βρεθεί ανεξάρτητα σε κάθε κλάδο του δέντρου. Άρα, για να αποφανθεί ο αλγόριθμος για το αν η δομή αυτή είναι πράγματι μοντέλο θα πρέπει να ελέγξει όλους τους κλάδους, οι οποίοι είναι εκθετικά περισσότεροι σε σχέση με τα επίπεδα φωλιασμένων εννοιών.

### 2.6.2 Η συνέπεια ABox σε $\mathcal{ALC}$ είναι PSpace-complete

Ο αλγόριθμος Tableau αποφαινεται τη συνέπεια ABox με βάση κάποιο TBox. Εδώ, θεωρούμε ότι έχουμε μόνο ABox (το TBox είναι κενό), και θα δείξουμε ότι ο αλγόριθμος υλοποιείται σε πολυωνυμικό χώρο, δηλαδή θα δείξουμε ότι η συνέπεια ABox σε  $\mathcal{ALC}$  ανήκει στην κλάση πολυπλοκότητας PSpace.

Καταρχάς, ορίζουμε το μέγεθος της εισόδου. Το μέγεθος του ABox ορίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} |\mathcal{A}| &= \sum_{\alpha: C \in \mathcal{A}} (|C| + 1) + \sum_{(\alpha, b): r \in \mathcal{A}} 3 \\ |\mathcal{A}| &= 1 \text{ για κάθε ατομική έννοια } A \text{ (συμπεριλαμβανομένων των } \top, \perp) \\ |\neg D| &= |D| + 1 \\ |D_1 \sqcap D_2| &= |D_1 \sqcup D_2| = |D_1| + |D_2| + 1 \\ |\exists R. D| &= |\forall R. D| = |D| + 2 \end{aligned}$$

Επιστρέφοντας στον αλγόριθμο Tableau παρατηρούμε ότι εφόσον δεν έχουμε TBox, δε χρειαζόμαστε τον κανόνα επιλογής, ούτε εφαρμόζουμε ξεδίπλωμα του TBox. Ακόμα, η ανάπτυξη του γράφου γίνεται μονότονα: προσθέτουμε έννοιες στο χαρακτηριστικό σύνολο ή κόμβους στο δέντρο, αλλά δεν αφαιρούμε τίποτα. Το δάσος που κατασκευάζεται από τον αλγόριθμο αποτελείται από τους *αρχικούς κόμβους* (*old nodes*), οι οποίοι είναι

ρίζες υποδέντρων και αντιστοιχούν στα άτομα που υπάρχουν στο  $\mathcal{A}$ . Οι ακμές που συνδέουν τους αρχικούς κόμβους αντιστοιχούν σε ισχυρισμούς ρόλων στο  $\mathcal{A}$ . Οι υπόλοιποι κόμβοι του γράφου παράγονται από τον κανόνα- $\exists$  και ονομάζονται *νέοι κόμβοι*, ενώ όλοι οι υπόλοιποι κανόνες αναφέρονται ως *κανόνες αύξησης* διότι αυξάνουν μόνο το μέγεθος των χαρακτηριστικών συνόλων των κόμβων. Οι νέοι κόμβοι βρίσκονται στο σύνολό τους σε ένα δέντρο συμπλήρωσης με ρίζα κάποιον αρχικό κόμβο.

Στη συνέχεια εξετάζουμε τα χαρακτηριστικά σύνολα των κόμβων. Για έναν αρχικό κόμβο  $\alpha$  το  $\mathcal{L}(\alpha)$  περιέχει τις έννοιες  $C$  που ικανοποιούν τον ισχυρισμό  $\alpha : C \in \mathcal{A}$ . Οι κανόνες επέκτασης προσθέτουν νέες έννοιες, οι οποίες είναι υποέννοιες των εννοιών του  $\mathcal{A}$ . Υπάρχουν το πολύ  $|\mathcal{A}|$  τέτοιες υποέννοιες, άρα κάθε χαρακτηριστικό σύνολο απαιτεί πολυωνυμικό χώρο σε σχέση με το  $|\mathcal{A}|$ . Επιπλέον, για κάθε έννοια  $D$  στο χαρακτηριστικό σύνολο ενός νέου κόμβου  $x$ , ο προκάτοχος του  $x$ , θα περιέχει μία ευρύτερη έννοια. Έτσι, το μέγιστο μέγεθος των εννοιών στα χαρακτηριστικά σύνολα των κόμβων, αυστηρά μειώνεται κατά μήκος ενός μονοπατιού νέων κόμβων, και έτσι το βάθος κάθε δέντρου συμπλήρωσης στο γράφο έχει άνω φράγμα το  $\max\{|C| \mid \alpha : C \in \mathcal{A}\}$ .

Επίσης, δεδομένου ότι είναι αδιάφορη η σειρά εκτέλεσης των κανόνων επέκτασης, μπορούμε να επιλέξουμε την παρακάτω σειρά εκτέλεσης χωρίς βλάβη της γενικότητας: αρχικά εφαρμόζουμε τους κανόνες αύξησης στους αρχικούς κόμβους και έπειτα εξαντλούμε τους κανόνες σε καθέναν από τους αρχικούς κόμβους, με λογική κατά βάθος διάσχισης. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε αρχικό κόμβο  $\alpha$ , εφαρμόζουμε κάθε φορά έναν υπαρκτικό περιορισμό της μορφής  $\exists R.C \in \mathcal{L}(\alpha)$ , έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένας  $R$ -διάδοχος  $\alpha_0$  με  $\mathcal{L}(\alpha_0) = \{C\}$ , στη συνέχεια εφαρμόζουμε στον  $\alpha_0$  τον κανόνα- $\forall$  ο οποίος θα προσθέσει νέες έννοιες στο  $\mathcal{L}(\alpha_0)$  και τέλος επαναλαμβάνουμε αναδρομικά την ίδια διαδικασία για το  $\alpha_0$  κ.ο.κ. Ο αλγόριθμος σταματά αν σε κάποιο δέντρο συνατήσει αντίφαση. Αν εξεταστούν όλοι οι υπαρκτικοί περιορισμοί ενός νέου κόμβου χωρίς να βρεθούν αντιφάσεις, μπορούμε να τον διαγράψουμε μαζί με το χαρακτηριστικό του σύνολο, και να επαναχρησιμοποιήσουμε το χώρο. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να εξετάσουμε όλο το δέντρο με ρίζα το  $\alpha$ , κρατώντας στη μνήμη ένα μόνο κλάδο του κάθε φορά. Το μήκος κάθε κλάδου είναι γραμμικό ως προς το  $|\mathcal{A}|$ , άρα μπορεί να αποθηκευτεί μαζί με όλα τα χαρακτηριστικά σύνολα σε χώρο πολυωνυμικό ως προς το  $|\mathcal{A}|$ .

Αποδεικνύεται ότι δεν μπορεί η επίλυση του προβλήματος να απαιτεί λιγότερο από πολυωνυμικό χώρο, δηλαδή το πρόβλημα συνέπειας ABox σε  $\mathcal{ALC}$  είναι PSpace-hard, ακόμα και για ABox με ένα μόνο ισχυρισμό  $\{\alpha : C\}$ . Η απόδειξη γίνεται με αναγωγή του προβλήματος εγκυρότητας για *περιορισμένους λογικούς τύπους* (*quantified Boolean formulae (QBF)*), το οποίο είναι PSpace-hard [53].

**Θεώρημα 2.** *Η ικανοποιησιμότητα και η υπαγωγή  $\mathcal{ALC}$  εννοιών και η συνέπεια ABox σε  $\mathcal{ALC}$  είναι προβλήματα PSpace-complete.*

**Θεώρημα 3.** *Η ύπαρξη γενικευμένου TBox στη βάση γνώσης, κάνει τον αλγόριθμο απο-*

φάνσιμο σε εκθετικό χρόνο.

### 2.6.3 Επίδραση εκφραστικότητας στην πολυπλοκότητα

Η αύξηση της εκφραστικότητας των περιγραφικών γλωσσών με επιπλέον κατασκευαστές, επηρεάζει την υπολογιστική τους πολυπλοκότητα.

Η προσθήκη περιορισμών πληθυκότητας, ακόμα και του προσοντούχου περιορισμού πληθυκότητας δεν αυξάνει περισσότερο την πολυπλοκότητα. Η ικανοποιησιμότητα εννοιών στην  $\mathcal{ALCQ}$  είναι επίσης στην κλάση PSpace [54] και η συνέπεια γενικευμένων βάσεων γνώσης στην  $\mathcal{ALCQ}$  είναι στην κλάση ExpTime [54], [25].

Η προσθήκη μεταβατικών ρόλων επίσης δεν είναι ιδιαίτερα “επικίνδυνη”: όλες οι περιγραφικές γλώσσες ανάμεσα στην  $\mathcal{ALC}$  και την  $\mathcal{ALCQIO}$ , μπορούν να επεκταθούν με μεταβατικούς ρόλους διατηρώντας την υπολογιστική τους πολυπλοκότητα [47], [54]. Όμως η προσθήκη στην  $\mathcal{ALC}$  μεταβατικών ρόλων και ιεραρχίας ρόλων κάνει το πρόβλημα ικανοποιησιμότητας εννοιών ExpTime-hard, ενώ η ικανοποιησιμότητα εννοιών με μόνο μεταβατικούς ρόλους ή ιεραρχίες ρόλων είναι στην κλάση PSpace [47]. Η πολυπλοκότητα αυξάνεται εξαιτίας του γεγονότος ότι οι μεταβατικοί ρόλοι και οι ιεραρχίες ρόλων χρησιμοποιούνται για την εσωτερίκευση του TBox [49]: για ένα TBox  $\mathcal{T}$  και μία έννοια της  $\mathcal{ALC}$   $E$  με ρόλους  $R_1, \dots, R_n$ , η  $E$  είναι ικανοποιήσιμη με βάση το TBox  $\mathcal{T}$  αν και μόνο αν η έννοια

$$\exists R.E \sqcap \forall R. \bigcap_{C \sqsubseteq D \in \mathcal{T}} (\neg C \sqcup D)$$

είναι ικανοποιήσιμη με βάση το  $\{R_1 \sqsubseteq R, \dots, R_n \sqsubseteq R\}$ , όπου  $R$  ένας νέος μεταβατικός ρόλος. Η πρώτη σύζευξη μας εξασφαλίζει ότι η επέκταση της  $E$  είναι πράγματι διάφορη του κενού συνόλου και η δεύτερη σύζευξη εξασφαλίζει ότι κάθε στοιχείο ενός μοντέλου ικανοποιεί κάθε γενικευμένο αξίωμα υπαγωγής στο  $\mathcal{T}$ . Με άλλα λόγια, στην  $\mathcal{ALC}$  με μεταβατικούς ρόλους και ιεραρχίες ρόλων, μπορούμε σε πολυωνυμικό χρόνο να ανάγουμε το πρόβλημα σε πρόβλημα ικανοποιησιμότητας εννοιών, το οποίο είναι EXPTIME-hard. Εάν επιπλέον έχουμε περιορισμούς πληθυκότητας, θα πρέπει να μη χρησιμοποιούνται υπερ-ρόλοι μεταβατικών ρόλων μέσα στην εμβέλεια των περιορισμών πληθυκότητας, γιατί αυτό οδηγεί στη μη-αποφασιστικότητα [31]. Ως αποτέλεσμα, εκφραστικές περιγραφικές λογικές όπως η  $\mathcal{SHIQ}$  επιτρέπει μόνο απλούς ρόλους στην εμβέλεια περιορισμών πληθυκότητας.

Αντίστοιχη επίδραση στην υπολογιστική πολυπλοκότητα έχει η προσθήκη ονοματικών εννοιών και ανάστροφων ρόλων: η ικανοποιησιμότητα εννοιών στην  $\mathcal{ALCQO}$  και την  $\mathcal{ALCI}$  με μεταβατικούς ρόλους είναι επίσης στην κλάση PSpace [31], αλλά η ικανοποιησιμότητα εννοιών στην  $\mathcal{ALCIO}$  είναι EXPTIME-hard πρόβλημα [1]. Ο λόγος είναι και πάλι ότι ο συνδυασμός ανάστροφων ρόλων και ονοματικών εννοιών οδηγεί σε εσωτερίκευση του TBox.

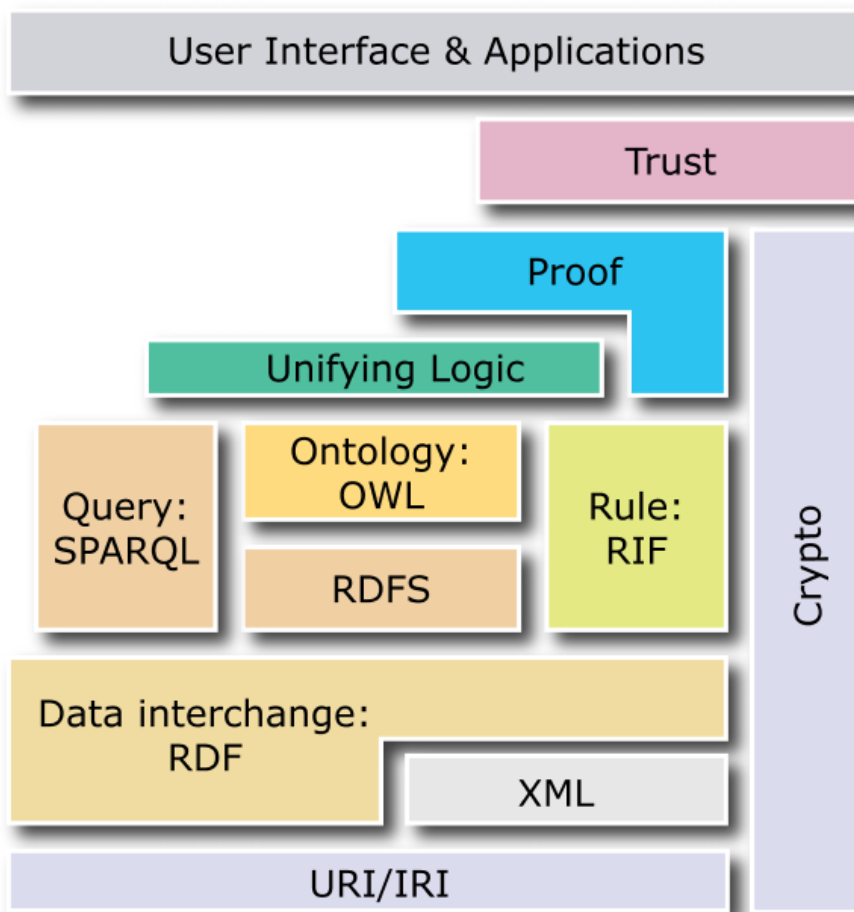
Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η ταυτόχρονη ύπαρξη σε μια περιγραφική γλώσσα ονοματικών εννοιών, ανάστροφων ρόλων και περιορισμών πληθυκότητας έχει δραματική επίπτωση στην πολυπλοκότητα: η ικανοποιησιμότητα εννοιών της γλώσσας *ALCQIO* είναι NEXPTIME-Hard πρόβλημα [54].

## 2.7 Αναπαράσταση Γνώσης στο Σημασιολογικό Ιστό

Ο Σημασιολογικός Ιστός είναι εξέλιξη του σημερινού παγκόσμιου ιστού. Αναπτύσσεται λόγω της ανάγκης που υπάρχει σήμερα για πολύ πιο εξελιγμένα συστήματα διαχείρισης γνώσης. Στόχος είναι ο Παγκόσμιος ιστός να μετατραπεί από ένα αποθετήριο συνδεδεμένων εγγράφων σε μια πλατφόρμα εφαρμογών όπου “στην πληροφορία δίνεται καλά ορισμένο νόημα, δίνοντας τη δυνατότητα συνεργασίας ανθρώπων και υπολογιστών” [8]. Στο Σημασιολογικό Ιστό, η πληροφορία που περιέχεται σε διάφορες πηγές προσδιορίζεται και αναπαρίσταται με χρήση μεταδεδομένων, δηλαδή δεδομένων σχετικών με δεδομένα, τα οποία συλλαμβάνουν μέρος του νοήματος των δεδομένων. Η ανακτώμενη πληροφορία ερμηνεύεται με τη βοήθεια οντολογιών, οι οποίες περιγράφουν τυπικά κάποιο πεδίο ενδιαφέροντος και δίνουν τη δυνατότητα *σημασιολογικής διαλειτουργικότητας (semantic interoperability)*. Η γνώση εκφράζεται με τη βοήθεια τυπικών γλωσσών, με *τυπική σημασιολογία (formal semantics)*, πάνω στην οποία λειτουργούν προγράμματα αυτοματοποιημένης συλλογιστικής (automated reasoners), τα οποία συνάγουν συμπεράσματα από την υπάρχουσα γνώση.

Για τις λειτουργίες του Σημασιολογικού Ιστού αναπτύχθηκαν γλώσσες αναπαράστασης γνώσης βασισμένες στην XML, τη γλώσσα στην οποία δομείται η πληροφορία στο σημερινό ιστό. Οι γλώσσες αυτές είναι η RDF, η RDF(S) και η OWL. Η εικόνα 2.7 παρουσιάζει την αρχιτεκτονική του Σημασιολογικού Ιστού. Όπως παρατηρούμε, ο Σημασιολογικός Ιστός αποτελείται από στρώματα που υλοποιούν διαφορετικές λειτουργικότητες:

- Η γλώσσα XML παρέχει τη στοιχειώδη σύνταξη του περιεχομένου των δεδομένων, χωρίς να τους προσδίδει σημασιολογία. Με τη γλώσσα XML Schema καθορίζεται η δομή των δεδομένων στα αρχεία XML.
- Η γλώσσα RDF είναι γλώσσα αναπαράστασης γνώσης και βρίσκεται στο επίπεδο *μεταδεδομένων*. Η RDF περιγράφει μόνο ισχυρισμούς για τα δεδομένα, χρησιμοποιώντας τις έννοιες του *πόρου (resource)* και της *ιδιότητας (property)*. Οι πόροι είναι ουσιαστικά τα ίδια τα δεδομένα, τα οποία περιγράφονται με την απόδοση ιδιοτήτων σε αυτά. Τα μοντέλα που βασίζονται στην RDF μπορούν να αναπαρασταθούν με βάση τη σύνταξη της XML.



Σχήμα 2.2: Αρχιτεκτονική στρωμάτων του Σημασιολογικού Ιστού

- Η γλώσσα RDF(S) χρησιμοποιείται στο επίπεδο σχήματος. Η γλώσσα αυτή επεκτείνει την RDF με τη δυνατότητα περιγραφής των πόρων της RDF με κλάσεις, ιεραρχία κλάσεων και ιδιότητες.
- Η γλώσσα OWL προσθέτει ακόμα περισσότερο λεξιλόγιο για την περιγραφή των ιδιοτήτων και των κλάσεων. Το λεξιλόγιο αυτό, είναι βασισμένο στις Περιγραφικές Λογικές και περιλαμβάνει τους κατασκευαστές περιγραφικών γλωσσών που έχουμε περιγράψει σε προηγούμενες ενότητες.

### 2.7.1 Η γλώσσα OWL

Η OWL είναι μία γλώσσα για το σχεδιασμό οντολογιών, η σημασιολογία της οποίας αντιστοιχεί σε εκείνη μίας εκφραστικής περιγραφικής λογικής. Σε μια οντολογία γίνεται η τυπική περιγραφή της κατάστασης ενός πεδίου ενδιαφέροντος, μέσω μιας ορολογίας και ενός συνόλου ισχυρισμών. Η OWL, επομένως, δεν είναι γλώσσα προγραμματισμού,

Κατασκευαστής	Σύνταξη ΠΛ	Παράδειγμα
intersectionOf	$C_1 \sqcap \dots \sqcap C_n$	Άνθρωπος $\sqcap$ Θηλυκό
unionOf	$C_1 \sqcup \dots \sqcup C_n$	Πατέρας $\sqcup$ Μητέρα
complementOf	$\neg C$	$\neg$ Αρσενικό
oneOf	$\{\alpha_1, \dots, \alpha_n\}$	{ΓΙΑΝΝΗΣ, ΜΑΡΙΑ}
allValuesFrom	$\forall R.C$	$\forall$ γράφει.Σενάριο
someValuesFrom	$\exists R.C$	$\exists$ έχειΒραβευτεί.Βραβείο
hasValue	$\exists R.\{\alpha\}$	$\exists$ έχειΣκηνοθέτη.{HITCHCOCK}
minCardinality	$(\geq nR)$	$(\geq 2$ έχειΣκηνοθέτη)
maxCardinality	$(\leq nR)$	$(\leq 3$ έχειΠρωταγωνιστή)
inverseOf	$r^-$	πρωταγωνιστείΣε <sup>-</sup>

Πίνακας 2.6: Οι κατασκευαστές της OWL

είναι μία δηλωτική γλώσσα, δηλαδή περιγράφει την κατάσταση του κόσμου με λογικό τρόπο. Με τη βοήθεια εργαλείων συλλογιστικής, τα οποία είναι ανεξάρτητα από την OWL, είναι δυνατό να εξαχθούν συμπεράσματα για αυτή την κατάσταση του κόσμου. Για τη μοντελοποίηση της γνώσης, η OWL χρησιμοποιεί *αξιώματα (axioms)*, τα οποία αντιστοιχούν σε δηλώσεις για τον κόσμο, *οντότητες (entities)*, οι οποίες αντιπροσωπεύουν αντικείμενα του πραγματικού κόσμου και *εκφράσεις (expressions)*, δηλαδή συνδυασμούς από οντότητες για την κατασκευή πιο σύνθετων εννοιών. Στον πίνακα 2.6 παρουσιάζονται οι κατασκευαστές της OWL.

Για παράδειγμα, η έννοια Αρσενικό  $\sqcap$  Παιδί γράφεται σαν κλάση της OWL ως εξής:

```
<owl:Class>
  <owl:intersectionOf rdf:parseType="Collection">
    <owl:Class rdf:about="Male"/>
    <owl:Class rdf:about="Child"/>
  </owl:intersectionOf>
</owl:Class>
```

Προθέματα όπως το owl: χρησιμοποιούνται για να ορίσουν τα ονόματα των πόρων που χρησιμοποιεί η XML, ενώ το rdf:parseType="Collection", είναι επέκταση της RDF που παρέχει συντομογραφία για λίστες που ορίζονται από τριάδες, με τις ιδιότητες first και rest. Το παραπάνω παράδειγμα αποτελείται από τις τριάδες  $\langle r_1, owl : intersectionOf, r_2 \rangle$ ,  $\langle r_2, owl : first, Human \rangle$ ,  $\langle r_2, rdfs : typeClass \rangle$ ,  $\langle r_2, owl : rest, r_3 \rangle$ , κλπ όπου  $r_i$  είναι



Αξίωμα	Σύνταξη ΠΛ	Παράδειγμα
subclassOf	$C_1 \sqsubseteq C_2$	Ταινία $\sqsubseteq$ ΈργοΤέχνης
equivalentClass	$C_1 \equiv C_2$	Ηθοποιός $\equiv$ Άνθρωπος $\sqcap$ ερμηνεύειΡόλο. $\top$
subpropertyOf	$R_1 \sqsubseteq R_2$	έχειΠρωταγωνιστή $\sqsubseteq$ έχειΗθοποιό
equivalentProperty	$R_1 \equiv R_2$	έχειΤιμή $\equiv$ έχειΚόστος
disjointwith	$C_1 \sqsubseteq \neg C_2$	Άσπρο $\sqsubseteq \neg$ Μαύρο
sameAs	$\{\alpha_1\} \equiv \{\alpha_2\}$	{SUPERMAN} $\equiv$ {CLARK_KENT}
differentFrom	$\{\alpha_1\} \sqsubseteq \neg\{\alpha_2\}$	{SUPERMAN} $\sqsubseteq \neg$ {BATMAN}
TransitiveProperty	$R$ μεταβατικός ρόλος	έχειΠρόγονο είναι μεταβατικός ρόλος
FunctionalProperty	$\top \sqsubseteq (\leq 1R)$	$\top \sqsubseteq (\leq 1$ έχειΜητέρα)
InverseFunctionalProperty	$\top \sqsubseteq (\leq 1R^-)$	$\top \sqsubseteq (\leq 1$ έχειΜητέρα) $^-$
SymmetricProperty	$R_1 \equiv R_2^-$	είναιΠαρόμοιοΜε $\equiv$ είναιΠαρόμοιοΜε $^-$

Πίνακας 2.7: Τα αξιώματα της OWL

ένας ανώνυμος πόρος, Human είναι ένα URI για τον πόρο “Άνθρωπος”, και τα owl : intersectionOf, owl : first, owl : rest, rdfs : type αντιστοιχούν στα URI των ιδιοτήτων.

Μία ακόμα σημαντική ιδιότητα της OWL, είναι ότι εκτός από τις “αυθαίρετες” κλάσεις της OWL, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν οι τύποι δεδομένων της XML Schema (π.χ. string, integer, float) στους περιορισμούς someValuesFrom, allValuesFrom και has-Value.

Τα αξιώματα της OWL, που απεικονίζονται στον Πίνακα 2.7, εκφράζουν σχέσεις υπαγωγής ή ισοδυναμίας ανάμεσα σε κλάσεις ή ιδιότητες, ξένες έννοιες, καθώς και σχέσεις ισοδυναμίας ή μη-ισοδυναμίας ανάμεσα στα άτομα. Η OWL ακόμα επιτρέπει να ορίζονται ιδιότητες των ιδιοτήτων, οι οποίες αφορούν ισχυρισμούς για το αν μια ιδιότητα είναι μεταβατική, ανάστροφη, συναρτησιακή ή συμμετρική.

Αν εξαιρέσουμε τα άτομα και τους τύπους δεδομένων, οι κατασκευαστές και τα αξιώματα της OWL έχουν την ίδια εκφραστικότητα με την περιγραφική λογική *SHIQ*. Πιο συγκεκριμένα, η OWL Lite είναι ισοδύναμη με τη *SHIN(D)* και η OWL DL με τη *SHOIN(D)*. Τέλος, η OWL Full έχει την ίδια εκφραστικότητα με την OWL DL, με την επιπλέον δυνατότητα μετα-μοντελοποίησης, δηλαδή δυνατότητα αντιμετώπισης μιας κλάσης σαν άτομο, γεγονός που την κάνει μη αποφάνσιμη [39].

### 2.7.2 Η γλώσσα OWL 2 και οι υπογλώσσες της

Η τελευταία έκδοση της OWL είναι η γλώσσα OWL 2. Με τις υπογλώσσες (*profiles*) της OWL 2, αντιμετωπίζεται το πρόβλημα υψηλής πολυπλοκότητας συλλογιστικής εξαιτίας της υψηλής εκφραστικότητας. Κάθε μία από τις υπογλώσσες μειώνει την εκ-

Κατασκευαστής	Σύνταξη	Σημασιολογία
Καθολική έννοια	$\top$	$\Delta^{\mathcal{I}}$
Κενή έννοια	$\perp$	$\emptyset$
Ονοματική έννοια (μόνο για μοναδιαία σύνολα αντικειμένων)	$\{a\}$	$\{a^{\mathcal{I}}\}$
Τομή εννοιών	$C \sqcap D$	$C^{\mathcal{I}} \cap D^{\mathcal{I}}$
Πλήρης υπαρξιακός περιορισμός	$\exists R.C$	$\{\alpha \in \Delta^{\mathcal{I}} \mid \exists \beta \in \Delta^{\mathcal{I}} : \langle \alpha, \beta \rangle \in R^{\mathcal{I}} \wedge \beta \in C^{\mathcal{I}}\}$
Πεδίο ορισμού	$p(f_1, \dots, f_n)$ για $p \in P^{\mathcal{D}_j}$	$\{\alpha \in \Delta^{\mathcal{I}} \mid \exists \beta_1, \dots, \beta_k \in \Delta^{\mathcal{D}_j} : f_i^{\mathcal{I}}(\alpha) = \beta_i \text{ για } 1 \leq i \leq n \wedge (\beta_1, \dots, \beta_k) \in p^{\mathcal{D}_j}\}$
Γενικευμένα αξιώματα υπαγωγής	$C \sqsubseteq D$	$C^{\mathcal{I}} \subseteq D^{\mathcal{I}}$
Υπαγωγή ρόλων	$R_1 \circ \dots \circ R_n \sqsubseteq R$	$R_1^{\mathcal{I}} \circ \dots \circ R_n^{\mathcal{I}} \subseteq R^{\mathcal{I}}$

Πίνακας 2.8: Σύνταξη και Σημασιολογία της  $\mathcal{EL}++$  και της **OWL 2 EL**

φραστικότητα της OWL με διαφορετικό τρόπο, ώστε η κάθε μία να χρησιμοποιείται σε διαφορετικού είδους εφαρμογές χωρίς να χάνει την εκφραστικότητά της.

- Η **OWL 2 EL** είναι κατάλληλη για οντολογίες με πολύ μεγάλο αριθμό ιδιοτήτων ή κλάσεων. Σε τέτοιες περιπτώσεις ενδιαφέρει τα βασικά προβλήματα συλλογιστικής να επιλύονται σε χρόνο πολυωνυμικό ως προς το μέγεθος της οντολογίας. Η OWL 2 EL βασίζεται στην οικογένεια γλωσσών  $\mathcal{EL}$  και συγκεκριμένα στη γλώσσα  $\mathcal{EL}++$ , η σύνταξη και η σημασιολογία της οποίας παρουσιάζονται στους πίνακες 2.8. Όπως παρατηρούμε, η OWL 2 EL δεν υποστηρίζει (μεταξύ άλλων) καθολικό υπαρξιακό περιορισμό ( $\forall R.C$ ), περιορισμούς πληθυκότητας ( $\geq nR.C$ ), ονοματικές έννοιες με περισσότερα του ενός άτομα και ανάστροφους ρόλους ( $R^-$ ).
- Η **OWL 2 QL** χρησιμοποιείται σε οντολογίες με πολύ μεγάλο αριθμό στιγμιοτύπων, και στις οποίες από πλευράς συλλογιστικής μας ενδιαφέρει κυρίως η απάντηση επερωτημάτων. Στην OWL 2 QL, η απάντηση συζευκτικών επερωτημάτων μπορεί να υλοποιηθεί με τη βοήθεια σχεσιακών βάσεων δεδομένων. Με την κατάλληλη τεχνική συλλογιστικής, η απάντηση επερωτημάτων μπορεί να είναι ορθή και πλήρης σε λογαριθμικό, ως προς το πλήθος των στιγμιοτύπων, χώρο. Όπως και για την OWL 2 EL, υπάρχουν αλγόριθμοι συλλογιστικής που σε πολυωνυμικό χρόνο υλοποιούν τα προβλήματα συνέπειας και υπαγωγής. Η σύνταξη και η σημασιολογία της γλώσσας είναι εκείνη της γλώσσας DL-Lite<sub>R</sub>, η οποία παρουσιάζεται στον πίνακα

Αξιώματα υπαγωγής εννοιών της μορφής: $B \sqsubseteq C$			
$B$ (Βασικές Έννοιες)		$C$ (Γενικευμένες Έννοιες)	
Σύνταξη	Σημασιολογία	Σύνταξη	Σημασιολογία
$A$ (ατομική έννοια)	$A^I \subseteq \Delta^I$	$B$	
$\exists R.T$	$(\exists R)^I = \{\alpha \in \Delta^I \mid \exists \beta. (\alpha, \beta) \in R^I\}$	$\neg B$	$(\neg B)^I = \Delta^I \setminus B^I$
Αξιώματα υπαγωγής ρόλων της μορφής: $R \sqsubseteq E$			
$R$ (Βασικοί Ρόλοι)		$E$ (Γενικευμένοι Ρόλοι)	
Σύνταξη	Σημασιολογία	Σύνταξη	Σημασιολογία
$P$ (ατομικός ρόλος)	$P^I \subseteq \Delta^I \times \Delta^I$	$R$	
$P^-$	$\{\langle \beta, \alpha \rangle \in \Delta^I \times \Delta^I \mid \langle \beta, \alpha \rangle \in P^I\}$	$\neg R$	$\Delta^I \times \Delta^I \setminus R^I$

Πίνακας 2.9: Σύνταξη και Σημασιολογία της DL-lite<sub>R</sub> και της OWL 2 QL

2.9. Παρατηρούμε ότι η γλώσσα αυτή δεν υποστηρίζει (μεταξύ άλλων) πλήρη υπαρξιακό περιορισμό ( $\exists R.C$ ), ονοματικές έννοιες ( $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ ), περιορισμούς πληθυκότητας ( $\geq nR$ ), μεταβατικότητα. Αν και η εκφραστικότητα της γλώσσας αυτής είναι αρκετά περιορισμένη, περιλαμβάνονται ωστόσο τα περισσότερα από τα βασικά χαρακτηριστικά εννοιολογικών μοντέλων όπως τα διαγράμματα κλάσεων της UML ή τα διαγράμματα οντοτήτων - συσχετίσεων.

- Η OWL 2 RL έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές που απαιτούν υψηλού επιπέδου συλλογιστική χωρίς να θυσιάζεται όλη η εκφραστική δύναμη της γλώσσας. Απευθύνεται σε εφαρμογές που θα αντάλασσαν μέρος της εκφραστικότητάς τους για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα, όπως επίσης σε εφαρμογές RDF(S) που χρειάζονται επιπλέον εκφραστικότητα. Τα συστήματα εξαγωγής συμπερασμάτων για την OWL 2 RL υλοποιούνται με μηχανές συλλογιστικής βασισμένες σε κανόνες (rule-based). Τα προβλήματα συνέπειας, ικανοποιησιμότητας εκφράσεων για τις κλάσεις, υπαγωγής, ελέγχου στιγμιότυπων και απάντησης συζευκτικών επερωτημάτων λύνονται σε χρόνο πολυωνυμικό σε σχέση με το μέγεθος της οντολογίας. Η γλώσσα αυτή έχει αρκετά υψηλή εκφραστικότητα, αφού περιλαμβάνει όλους τους κατασκευαστές της OWL 2 εκτός από ξένες έννοιες και ανακλαστικές ιδιότητες.

## Κεφάλαιο 3

# Εννοιολογική Μοντελοποίηση με χρήση Περιγραφικών Λογικών

### 3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζουμε θέματα που αφορούν την εννοιολογική μοντελοποίηση κάποιου πεδίου αναφοράς με χρήση Περιγραφικής Λογικής, ώστε να κατασκευαστεί από αυτό μία Βάση Γνώσης. Στα επόμενα κεφάλαια, γίνεται αναλυτική παρουσίαση της διαδικασίας μοντελοποίησης ενός πεδίου αναφοράς. Εξετάζονται τεχνικές που ακολουθούν αντικειμενοστραφή προσέγγιση για την αναπαράσταση του πεδίου και μελετώνται τα βασικότερα προβλήματα μοντελοποίησης από σημασιολογική σκοπιά καθώς και τρόποι επίλυσής τους με Περιγραφικές Λογικές. Παρουσιάζονται ζητήματα που αφορούν τη φύση των ατόμων του κόσμου, την ένταξή τους σε έννοιες των Περιγραφικών Λογικών, την κατασκευή ταξονομίας για την ιεραρχική δομή του σώματος ορολογίας και τη μοντελοποίηση των σχέσεων ανάμεσα στα άτομα. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιούνται παραδείγματα μίας οντολογίας για το χώρο του κινηματογράφου.

### 3.2 Τεχνολογία Γνώσης

Το πρώτο βήμα στην κατασκευή συστημάτων αναπαράστασης γνώσης είναι η μοντελοποίηση ενός μέρους του πραγματικού κόσμου το οποίο ονομάζεται *πεδίο αναφοράς* (*universe of discourse*), με την κατασκευή μιας συμβολικής δομής, η οποία στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί από ένα υπολογιστικό σύστημα για την επίλυση προβλημάτων. Οι Βάσεις Γνώσης είναι τέτοιες συμβολικές δομές. Η γενική διαδικασία σχεδιασμού της Βάσης Γνώσης σύμφωνα με κάποιο γνωστικό αντικείμενο ονομάζεται *τεχνολογία γνώσης* (*knowledge engineering*). Ο μηχανικός γνώσης μελετά την αρχιτεκτονική του υπο δημιουργία συστήματος, εξετάζει τι είναι απαραίτητο να αναπαρίσταται και ποιες

υπηρεσίες συλλογιστικής θα πρέπει να διαθέτει το σύστημα. Τελικό αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι ο σχεδιασμός μιας *οντολογίας*, δηλαδή ενός συνόλου εννοιών και των μεταξύ τους σχέσεων.

Το βασικό πλεονέκτημα της χρήσης μοντέλων είναι ότι αφαιρούν άχρηστες πληροφορίες ή λεπτομέρειες της υλοποίησης και επιτρέπουν να εξετάζεται πιο αποτελεσματικά η παρούσα κατάσταση του κόσμου, όπως επίσης και παλιότερες ή και μελλοντικές καταστάσεις του. Γι' αυτό, η εννοιολογική μοντελοποίηση παίζει σημαντικό ρόλο σε μια σειρά επιστημονικών περιοχών. Στην Τεχνητή Νοημοσύνη, η μοντελοποίηση περιοχών της ανθρώπινης γνώσης αποδείχτηκε απαραίτητη για να μπορεί ένα σύστημα να συμπεριφέρεται "ευφυώς". Επίσης, ο σχεδιασμός Βάσεων Δεδομένων απαιτεί την κατασκευή σε κάποιο αρχικό στάδιο ενός φυσικού σχήματος στο οποίο περιγράφονται οι βασικές αρχές της υλοποίησης της. Άλλωστε όλα τα υπολογιστικά συστήματα έχουν ένα αρχικό στάδιο ανάλυσης απαιτήσεων, το οποίο υλοποιείται με την κατασκευή ενός μοντέλου απαιτήσεων που περιγράφει τη σχέση του συστήματος με το περιβάλλον του. Τέλος, η αντικειμενοστραφής τεχνική στο σχεδιασμό συστημάτων λογισμικού αντιμετωπίζει τις υπομονάδες λογισμικού (κλάσεις, αντικείμενα) σαν μοντέλα του πραγματικού κόσμου (π.χ. UML).

Για τη μοντελοποίηση με Περιγραφικές Λογικές ακολουθείται αντικειμενοστραφής προσέγγιση: η οντολογία αποτελείται από ατομικά αντικείμενα, που συνδέονται μεταξύ τους με δυαδικές σχέσεις και που ομαδοποιούνται σε κλάσεις - έννοιες. Για το σχεδιασμό των μοντέλων χρησιμοποιούνται *μηχανισμοί αφαίρεσης (abstraction mechanisms)*, οι οποίοι αφαιρούν αρχικά τις λεπτομέρειες της γνωστικής περιοχής και τις εισάγουν στη συνέχεια συστηματικά:

- **Συσώρευση (Aggregation):** Αντίληψη των αντικειμένων σαν ολότητες, όχι σαν σύνολα των ιδιοτήτων τους.
- **Ταξινόμηση (Classification):** Αφαίρεση των διαφορών μεταξύ των αντικειμένων οργανώνοντάς τα σε κλάσεις που αντιπροσωπεύουν τις ομοιότητές τους.
- **Γενίκευση (Generalization):** Οργάνωση κλάσεων σε υπερ-κλάσεις που αναπαριστούν τις ομοιότητές τους.

Με τους μηχανισμούς αφαίρεσης αποκτάμε ένα δομημένο μοντέλο πληροφορίας, που διευκολύνει την υλοποίηση και τη συντήρηση. Οι Περιγραφικές Λογικές επεκτείνουν αυτό το στόχο υποστηρίζοντας αυτόματα ταξινόμηση εννοιών με βάση άλλες έννοιες, που οδηγεί στην αποκάλυψη και άλλων σχέσεων γενίκευσης, πέρα από αυτές που είχε διαπιστώσει ο μηχανικός γνώσης.

### 3.3 Βασικές αρχές μοντελοποίησης με Περιγραφικές Λογικές

Κατά τη μοντελοποίηση ενός πεδίου αναφοράς, το πρώτο αντικείμενο που συναντάει κανείς είναι τα άτομα (*individuals*) του κόσμου, τα οποία αντιστοιχούν σε οντότητες με τη δική τους ταυτότητα στον πραγματικό κόσμο. Στο πεδίο του κινηματογράφου ορισμένα από τα άτομα που συναντάμε είναι πρόσωπα, π.χ. PACINO, FELLINI, ταινίες, π.χ. THE\_GODFATHER, CITIZEN\_KANE, εταιρίες παραγωγής π.χ. MGM, κινηματογραφικά βραβεία, π.χ. PALME\_D'OR.

Τα άτομα του πεδίου αναφοράς συνδέονται μεταξύ τους με σχέσεις, οι οποίες αντιστοιχούν σε γεγονότα του κόσμου. Οι σχέσεις μοντελοποιούνται με ρόλους των Περιγραφικών Λογικών. Για παράδειγμα το άτομο PACINO συνδέεται με το άτομο THE\_GODFATHER μέσω της σχέσης πρωταγωνιστείΣε, ενώ το άτομο THE\_GODFATHER συνδέεται με το άτομο PACINO μέσω της σχέσης έχειΠρωταγωνιστή. Οι δύο αυτοί ρόλοι είναι ανάστροφοι μεταξύ τους και αυτή είναι μια πληροφορία που πρέπει να αναπαρίσταται στο μοντέλο ως εξής:

$$\text{πρωταγωνιστείΣε} \equiv \text{έχειΠρωταγωνιστή}^{-}$$

Κατά τη μοντελοποίηση των σχέσεων θα πρέπει να διακρίνουμε το είδος της σχέσης. Μία σχέση μπορεί να είναι συναρτησιακή, να συνδέει δηλαδή ένα άτομο με αυστηρά ένα άλλο άτομο. Οι συναρτησιακές σχέσεις ονομάζονται επίσης *χαρακτηριστικά*. Για παράδειγμα, η σχέση έχειΤίτλο είναι χαρακτηριστικό γιατί μία Ταινία μπορεί να έχει μόνο ένα τίτλο. Τα χαρακτηριστικά διακρίνονται επίσης σε *ολικά* (*total*) και *μερικά* (*partial*). Ολικό ονομάζεται ένα χαρακτηριστικό, όταν προσδιορίζει υποχρεωτικά όλα τα στιγμιότυπα μίας έννοιας, ενώ μερικό είναι το χαρακτηριστικό εκείνο που προσδιορίζει ορισμένα από τα στιγμιότυπα μίας έννοιας. Η σχέση έχειΤίτλο είναι ολικό χαρακτηριστικό, γιατί μία ταινία έχει υποχρεωτικά ένα τίτλο, γεγονός που γράφεται σε Περιγραφική Λογική ως εξής:

$$\text{Ταινία} \sqsubseteq \forall \text{έχειΤίτλο.string} \Pi \leq 1 \text{έχειΤίτλο} \Pi \exists \text{έχειΤίτλο.T}$$

Από την άλλη η ιδιότητα έτοςΒράβευσης είναι χαρακτηριστικό, γιατί μία ταινία μπορεί να βραβευτεί μόνο τη χρονιά που εκδόθηκε, αλλά μερικό, γιατί μια ταινία μπορεί να μην έχει βραβευτεί ποτέ, οπότε σε αυτή την περίπτωση γράφουμε:

$$\text{Ταινία} \sqsubseteq \forall \text{έτοςΒράβευσης.gYear} \Pi \leq 1 \text{έτοςΒράβευσης}$$

Στη συνέχεια, είναι απαραίτητο να οριοθετήσουμε τους τύπους των αντικειμένων, ομαδοποιώντας τα σε κλάσεις, όπως για παράδειγμα Ταινία, Ηθοποιός, Σενάριο, Συμβόλαιο κλπ. Οι κλάσεις αποτελούν μια αφαίρεση των κοινών ιδιοτήτων των στιγμιότυπων τους, και αντιστοιχούν στις έννοιες των Περιγραφικών Λογικών. Συνήθως, οι βασικές ιδιότητες

μοντελοποιούνται με χρήση αξιωμάτων υπαγωγής, στο αριστερό μέλος του οποίου βρίσκεται η προς περιγραφή κλάση, και στο δεξί οι ιδιότητες. Για την περιγραφή των ιδιοτήτων χρησιμοποιούμε όλους τους κατασκευαστές των Περιγραφικών Λογικών. Για παράδειγμα, αν θέλουμε να περιγράψουμε ότι οι Ταινίες είναι έργα τέχνης, με ιδιότητες όπως ότι έχουν τίτλο μια συμβολοακολουθία, έχουν τουλάχιστον ένα σκηνοθέτη κλπ, γράφουμε:

$$\begin{aligned} \text{Ταινία} \sqsubseteq & (\text{ΈργοΤέχνης} \\ & (\exists \text{έχειΤίτλο.string}) \\ & (\exists \text{έχειΣκηνοθέτη.Ανθρωπος}) \\ & \dots) \end{aligned}$$

Υπάρχει σημαντική διαφορά στη μοντελοποίηση πρωτογενών και ορισμένων εννοιών. Τα στιγμιότυπα μιας πρωτογενούς έννοιας δηλώνονται ένα προς ένα από τον κατασκευαστή της βάσης γνώσης, ενώ για τις ορισμένες έννοιες υπάρχει αναγκαία συνθήκη για τη συμμετοχή ατόμων. Έτσι η έννοια “Σκηνοθέτης” σαν πρωτογενής έννοια αντιστοιχεί στον άνθρωπο που μπορεί να σκηνοθετήσει μια ταινία (π.χ. τον απόφοιτο μιας σχολής κινηματογράφου):

$$\text{Σκηνοθέτης} \sqsubseteq (\forall \text{έχειΣκηνοθετήσει.Ταινία}),$$

ενώ σαν ορισμένη έννοια αντιστοιχεί στον άνθρωπο που έχει πράγματι σκηνοθετήσει μία ταινία:

$$\text{Σκηνοθέτης} \equiv (\forall \text{έχειΣκηνοθετήσει.Ταινία}) \sqsupseteq 1 \text{έχειΣκηνοθετήσει.Ταινία}.$$

Ο μηχανικός γνώσης συναντά τέτοια λεπτά θέματα κατά τη μοντελοποίηση. Η τελική απόφαση είναι σχεδόν πάντα ανεξάρτητη από την περιγραφική γλώσσα που χρησιμοποιείται, γι’ αυτό είναι απαραίτητο να εξετάζονται όλες οι πιθανές λύσεις και να επιλέγεται η καταλληλότερη για το κάθε πεδίο αναφοράς.

### 3.4 Τα άτομα του κόσμου

Σε κάθε πεδίο αναφοράς, τα αντικείμενα που μοντελοποιούνται ως άτομα μπορεί να έχουν σημαντικές διαφορές. Υπάρχουν *απτά* (*concrete*) αντικείμενα όπως ένας συγκεκριμένος άνθρωπος, αλλά και *αφηρημένα* (*abstract*) άτομα, όπως το θέμα μιας ταινίας. Σε κάθε περίπτωση το βασικό χαρακτηριστικό όλων των ατόμων είναι ότι έχουν μία *ταυτότητα* που τα διακρίνει μεταξύ τους και ότι είναι *μετρήσιμα*. Γι’ αυτό, είναι σημαντικό να προσδίδουμε στα άτομα του κόσμου μοναδικά ονόματα που τα διαχωρίζουν μεταξύ τους.

Η επιλογή των αντικειμένων που πρόκειται να μοντελοποιηθούν ως άτομα του κόσμου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ίδιο το πεδίο αναφοράς. Ο γενικός κανόνας

είναι ότι επιλέγουμε να μοντελοποιήσουμε σαν άτομα τις οντότητες που θέλουμε να είναι μετρήσιμες στο χαμηλότερο αφαιρετικό επίπεδο. Για παράδειγμα, σε ένα πεδίο αναφοράς για μια εφαρμογή που περιέχει κριτικές ταινιών θα μοντελοποιούσαμε σαν αντικείμενο την ταινία VERTIGO. Αντίθετα, σε μία διαπροσωπεία ενός καταστήματος ενοικίασης DVD, που διαθέτει προς ενοικίαση περισσότερα από ένα αντίτυπα της ταινίας, ο μηχανικός γνώσης θα μπορούσε να αναπαραστήσει ως αντικείμενα τα αντίτυπα, π.χ. DVD41, DVD42 και την ταινία ως έννοια με στιγμιότυπα τα συγκεκριμένα αντίτυπα.

### 3.4.1 Τιμές και άτομα

Αν η Περιγραφική Λογική που χρησιμοποιούμε επιτρέπει αποκλειστικά και μόνο τη χρήση αντικειμένων, θα πρέπει σύνθετες τιμές, όπως για παράδειγμα ημερομηνίες να μοντελοποιούνται ως άτομα που θα έχουν χαρακτηριστικά ημέρα, μήνας και έτος. Μία τέτοια μοντελοποίηση, όμως, ενέχει τον κίνδυνο όμοιες ημερομηνίες να γίνονται αντιληπτές από το σύστημα σαν διαφορετικά αντικείμενα, γεγονός που παραβιάζει την ιδιότητα των ατόμων να είναι μετρήσιμα, και συνεπώς μπορεί να οδηγήσει το μηχανισμό εξαγωγής συμπερασμάτων σε λάθη. Γι' αυτό κάποιες Περιγραφικές Λογικές, όπως η  $ALC(D)$  και η  $SHOQ(D)$  επιτρέπουν να χρησιμοποιούνται τιμές από καθορισμένα πεδία (*concrete domains*), τα οποία ορίζουν τύπους δεδομένων όπως Integer, String, Date κλπ. Τα καθορισμένα πεδία έχουν διαφορετικό μηχανισμό εξαγωγής συμπερασμάτων.

Τα ατομικά αντικείμενα, όπως TAINIA19 έχουν σημαντικές διαφορές από τις τιμές, που είναι ακέραιοι αριθμοί, συμβολοακολουθίες κλπ. Τα πρώτα έχουν εσωτερική και αμετάλλακτη ταυτότητα και θα πρέπει να δημιουργούνται μέσα στη βάση γνώσης. Αντίθετα, οι τιμές είναι μαθηματικές αφαιρετικές δομές, η ταυτότητα των οποίων καθορίζεται από κάποια διαδικασία ανάλυσης της δομής και του περιεχομένου τους.

### 3.4.2 Άτομα και αναφορές σε αυτά

Μπορούμε να αναφερθούμε στα άτομα είτε άμεσα, μέσω του ονόματος τους, είτε έμμεσα μέσω αναφορών σε αυτά. Για παράδειγμα, το άτομο BURTON είναι επίσης “ο σκηνοθέτης της ταινίας SCISSORHANDS” και “ο πρόεδρος της Επιτροπής του φεστιβάλ Καννών το 2010”. Όταν εκφράζουμε ρόλους ανάμεσα σε αντικείμενα, έχει ιδιαίτερη σημασία ποια αναφορά χρησιμοποιούμε. Για παράδειγμα, η πρόταση “ο BURTON έχει σκηνοθετήσει την ταινία SCISSORHANDS” έχει ουσιαστική διαφορά από την πρόταση “ο πρόεδρος της επιτροπής του φεστιβάλ Καννών έχει σκηνοθετήσει την ταινία SCISSORHANDS” γιατί αν επιλέξουμε τη δεύτερη έκφραση, την επόμενη χρονιά, που θα αναλάβει κάποιος άλλος πρόεδρος της επιτροπής, η σχέση μεταξύ του BURTON και της ταινίας χάνεται. Μάλιστα στην εργασία [42] αναφέρεται ότι ακόμα και η αναφορά σε ένα άτομο με βάση τον αριθμό ταυτότητάς του ενέχει κινδύνους, αφού μπορεί να χαθεί η ταυτότητα



ή από λάθος να ανατεθεί ο ίδιος αριθμός ταυτότητας σε διαφορετικά άτομα. Συνεπώς, στις περισσότερες περιπτώσεις είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούμε το μοναδικό όνομα που έχουμε προσδώσει στο ατομικό αντικείμενο.

Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου είναι πιο σωστό να χρησιμοποιούμε σχέσεις ανάμεσα σε αναφορές σε αντικείμενα, παρά στα ίδια τα αντικείμενα. Για παράδειγμα, έστω ότι θέλουμε να μοντελοποιήσουμε την πρόταση ότι σε μια ταινία που σκηνοθετεί ο BURTON είναι πάντα πρωταγωνιστής ο DEPP. Αν η ταινία “Dark Shadows” είναι η ταινία που σκηνοθετεί τώρα ο Burton, ο ισχυρισμός έχει Πρωταγωνιστή(DARK\_SHADOWS, DEPP) δεν είναι σωστός γιατί αν τελικά ο Burton παραιτηθεί από σκηνοθέτης και η ταινία ανατεθεί σε άλλον, με βάση το παραπάνω μοντέλο ο Depp θα παραμείνει πρωταγωνιστής της ταινίας, αν και είναι πιθανό ο νέος σκηνοθέτης να επιλέξει άλλους ηθοποιούς. Σε αυτή την περίπτωση, θέλουμε να γράψουμε ότι η συγκεκριμένη ταινία έχει αυτόν τον πρωταγωνιστή λόγω του ότι τη σκηνοθετεί ο συγκεκριμένος σκηνοθέτης, ενώ αν η ταινία χάσει τη δεύτερη ιδιότητα, χάνει και την πρώτη. Αυτή η πρόταση εκφράζεται με αναφορές στα άτομα ως εξής:

$$\exists \text{ έχειΣκηνοθέτη.}\{BURTON\} \sqsubseteq \exists \text{ έχειΠρωταγωνιστή.}\{DEPP\}$$

### 3.5 Μοντελοποίηση Εννοιών

Για το χώρο του κινηματογράφου τα άτομα ομαδοποιούνται σε κλάσεις που αφορούν μεταξύ άλλων ταινίες, ανθρώπους (ηθοποιούς, σκηνοθέτες, μουσικούς, τεχνικό προσωπικό), εταιρίες παραγωγής, βραβεία, αίθουσες. Αυτές οι κλάσεις μοντελοποιούνται σε Περιγραφικές Λογικές με ατομικές έννοιες.

Ένα άτομο μπορεί να συμμετέχει σε περισσότερες από μία κλάσεις, χωρίς απαραίτητα η μία να υπάγεται στην άλλη, για παράδειγμα η ίδια ταινία μπορεί να είναι στιγμιότυπο της κλάσης ΑσπρόμαυρηΤαινία και ΙστορικήΤαινία.

#### 3.5.1 Στοιχειώδεις και συμπτωματικές ιδιότητες

Για να περιγράψουμε μια ορισμένη έννοια, είναι απαραίτητο να θέσουμε τις αναγκαίες και ικανές συνθήκες για συμμετοχή ενός ατόμου σε αυτή. Για παράδειγμα η έννοια ΤαινίαΣεΑίθουσες ορίζεται ως εξής:

$$\text{ΤαινίαΣεΑίθουσες} \equiv \text{Ταινία} \sqsupseteq 1 \text{προβάλλεταιΣε}$$

Η ιδιότητα μιας ταινίας να προβάλλεται, είναι αναγκαία και ικανή συνθήκη για να συμμετέχει η ταινία στην κλάση ΤαινίεςΣεΑίθουσες. Λέμε ότι η ιδιότητα αυτή είναι *στοιχειώδης (essential)*. Έστω ότι επιπλέον υπάρχει ο περιορισμός ότι για να προβάλλεται μια ταινία σε

μία αίθουσα πρέπει να είναι ελληνική ή να έχει ελληνικούς υπότιτλους. Μία προσέγγιση για τη μοντελοποίηση του γεγονότος αυτού είναι η παρακάτω:

$$\begin{aligned} \text{ΤαινίαΣεΑίθουσες} &\equiv \text{Ταινία} \sqsupseteq 1 \text{προβάλλεταιΣε} \\ &\sqcap (\exists \text{έχειΓλώσσα.}\{\text{Ελληνικά}\} \sqcup \exists \text{έχειΥπότιτλους.}\{\text{Ελληνικά}\}) \end{aligned}$$

Η παραπάνω πρόταση δεν είναι σωστή γιατί είναι αρκετό για το σύστημα να γνωρίζει ότι κάποια ταινία προβάλλεται για να την εντάξει στην έννοια *ΤαινίεςΣεΑίθουσες*, δε χρειάζεται να ξέρει αν η ταινία είναι συμβατή με την ελληνική γλώσσα. Άλλωστε αυτό το χαρακτηριστικό δε θα μπορούσε να αποτελεί ικανή συνθήκη για την έννοια. Έτσι, η ιδιότητα αυτή ονομάζεται *συμπτωματική (incidental)*, γιατί τυχαίνει όλες οι ταινίες σε αίθουσες να ικανοποιούν και αυτή την ιδιότητα. Έτσι, καλύτερη μοντελοποίηση της έννοιας είναι:

$$\begin{aligned} \text{ΤαινίαΣεΑίθουσες} &\equiv \text{Ταινία} \sqsupseteq 1 \text{προβάλλεταιΣε} \\ \text{ΤαινίαΣεΑίθουσες} &\sqsubseteq \exists \text{έχειΓλώσσα.}\{\text{Ελληνικά}\} \sqcup \exists \text{έχειΥπότιτλους.}\{\text{Ελληνικά}\} \end{aligned}$$

Ο διαχωρισμός των ιδιοτήτων σε στοιχειώδεις και συμπτωματικές είναι σημαντικός όταν κατατάσσουμε έννοιες σε μία ταξινόμια, γιατί η υπαγωγή μιας έννοιας σε μία άλλη δεν μπορεί να οφείλεται σε τυχαία ή συμπτωματικά γεγονότα. Γι' αυτό συνηθίζεται οι συμπτωματικές ιδιότητες να αναπαρίστανται μόνο στο ABox και καθόλου στο TBox.

Ένα άλλο ζήτημα που χρειάζεται προσοχή κατά τη μοντελοποίηση παρουσιάζεται όταν υπάρχουν περισσότερες από μία αναγκαίες και ικανές συνθήκες για κάποια έννοια, ανεξάρτητα αν αυτές εμφανίζονται στον ορισμό. Για παράδειγμα όλες οι ταινίες που προβάλλονται σε κάποια αίθουσα έχουν κάποια ώρα προβολής. Άρα η πληροφορία ότι μια ταινία έχει ώρα προβολής, αυτόματα θα την κατέτασσε στις ταινίες που προβάλλονται τώρα στις αίθουσες. Αν η ώρα προβολής μοντελοποιηθεί σαν χαρακτηριστικό των ταινιών, αυτό εκφράζεται ως εξής:

$$\text{Ταινία} \sqcap \exists \text{ώραΠροβολής} \sqsubseteq \text{ΤαινίαΣεΑίθουσες}$$

Ταυτόχρονα, όμως, απαιτούμε μια ταινία σε αίθουσες να έχει ώρα προβολής, οπότε ισχύει ότι:

$$\text{ΤαινίαΣεΑίθουσες} \sqsubseteq \exists \text{ώραΠροβολής}.$$

Οι δύο παραπάνω εκφράσεις αν συνδυαστούν σε ένα TBox, έχουν ως αποτέλεσμα η έννοια *ΤαινίαΣεΑίθουσες* να έχει πολλαπλές επαρκείς συνθήκες, αν και μόνο μία από αυτές εμφανίζεται στον ορισμό της έννοιας.

### 3.5.2 Υλοποίηση Εννοιών

Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι επιθυμητό να συνδέσουμε κάποιες πληροφορίες με τις έννοιες αυτές καθεαυτές και όχι με τα στιγμιότυπά τους. Στο παράδειγμα της οντολογίας

ενός καταστήματος ενοικίασης DVD όπου οι ταινίες αναπαρίστανται ως έννοιες και τα ανάτυπα σε DVD ως στιγμιότυπα, θα προέκυπτε η ανάγκη αυτή, εάν για παράδειγμα θέλαμε να μάθουμε πόσα ανάτυπα της κάθε ταινίας διατηρεί το κατάστημα ή ποιες είναι οι πιο δημοφιλείς ταινίες.

Σε άλλα αντικειμενοστραφή συστήματα υπάρχει η δυνατότητα οι ίδιες οι κλάσεις να αντιμετωπιστούν σαν αντικείμενα τα οποία είναι στιγμιότυπα μετα-κλάσεων και έχουν μετα-ιδιότητες. Όμως, στις Περιγραφικές Λογικές τα άτομα είναι σαφώς διαχωρισμένα από τις κλάσεις, οπότε αυτή η πληροφορία είναι αδύνατο να αναπαρασταθεί. Ένα τέχνασμα για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό είναι να δημιουργήσουμε ένα ξεχωριστό "μετα-άτομο", το οποίο συνδέεται με την έννοια όχι σημασιολογικά αλλά μόνο μέσω του ονόματος του. Για παράδειγμα, αν θέλουμε να δούμε πόσα ανάτυπα της ταινίας Vertigo (η οποία αναπαρίσταται ως έννοια) διατηρεί το κατάστημα, κατασκευάζουμε ένα νέο άτομο, το VERTIGO\_INDIVIDUAL, και στη συνέχεια συνδέουμε με αυτό τη σχέση αριθμόςΑνατύπων.

### 3.5.3 Έννοιες εξαρτώμενες από σχέσεις

Εκτός από τις ατομικές έννοιες, υπάρχουν έννοιες που υπονοούν την ύπαρξη κάποιου γεγονότος, το οποίο θα πρέπει να ορίζεται ρητά στην οντολογία. Η διαφορά εδώ είναι όμοια με εκείνη που παρουσιάστηκε στην Ενότητα 3.3 για την έννοια Σκηνοθέτης, δηλαδή η διαφορά ανάμεσα σε έννοιες που περιέχουν τα άτομα που δυνητικά συμμετέχουν σε μία σχέση, και σε έννοιες που περιέχουν άτομα που όντως συμμετέχουν σε μία σχέση. Εδώ μας ενδιαφέρει η δεύτερη κατηγορία εννοιών, οι οποίες ονομάζονται *ρόλοι σχέσεων (relationship roles)*.

Οι έννοιες αυτές έχουν τις πιο πολλές φορές τη μορφή  $\exists R.T$ . Η έννοια Σκηνοθέτης για παράδειγμα, υπονοεί την πράξη της σκηνοθεσίας ενός έργου από έναν άνθρωπο, οπότε αφού ορίσουμε την έννοια έχειΣκηνοθετήσει, γράφουμε την έννοια σκηνοθέτης:  $\text{Σκηνοθέτης} \equiv \exists \text{έχειΣκηνοθετήσει}.T$ .

## 3.6 Ταξονομίες

Εκτός από τις ατομικές έννοιες, σε κάθε οντολογία μας ενδιαφέρει να αναπαραστήσουμε πιο εξειδικευμένες έννοιες στις οποίες συμμετέχουν υποσύνολα των ατόμων. Για παράδειγμα η έννοια Ταινία έχει υποέννοιες έννοιες όπως: ΚωμικήΤαινία, ΠολεμικήΤαινία, ΜουσικήΤαινία, ΜικρούΜήκους κλπ, η έννοια Ηθοποιός έχει υποέννοιες τις Πρωταγωνιστής, ΗθοποιόςΧαρακτήρων, Κομπάρσος κλπ ενώ η έννοια ΤεχνικόΠροσωπικό έχει υποέννοιες τις ΔιευθυντήςΦωτογραφίας, Μοντέρ, Ηχολήπτης κλπ. Ορίζουμε ότι μία έννοια είναι υποέννοια μιας άλλης ως εξής:

ΚωμικήΤαινία  $\sqsubseteq$  Ταινία

Με τον ορισμό των ατομικών εννοιών και των υποεννοιών τους κατασκευάζουμε μια ιεραρχική δομή, η οποία ονομάζεται *ταξονομία*. Ο σωστός ορισμός των σχέσεων υπαγωγής και η κατασκευή ταξονομιών είναι ένα από τα σημαντικότερα θέματα της εννοιολογικής μοντελοποίησης.

### 3.6.1 Υποέννοιες

#### Ξένες υποέννοιες

Σε πολλές περιπτώσεις οι υποκλάσεις είναι ξένες μεταξύ τους, δηλαδή δεν έχουν κανένα κοινό στιγμιότυπο. Για παράδειγμα, οι έννοιες ΤαινίαΜικρούΜήκους και ΤαινίαΜεγάλουΜήκους είναι ξένες υποέννοιες της έννοιας Ταινία. Το γεγονός αυτό αναπαρίσταται σε Περιγραφικές Λογικές που υποστηρίζουν άρνηση, προσθέτοντας το συμπλήρωμα της μίας έννοιας στις αναγκαίες συνθήκες της άλλης ως εξής:

$$\text{ΤαινίαΜικρούΜήκους} \sqsubseteq \neg \text{ΤαινίαΜεγάλουΜήκους}$$

ή ισοδύναμα:

$$\text{ΤαινίαΜικρούΜήκους} \sqcap \text{ΤαινίαΜεγάλουΜήκους} \sqsubseteq \perp$$

Σε περιπτώσεις όπου μεγάλες συλλογές υποκλάσεων είναι μεταξύ τους ξένες, κάποιες Περιγραφικές Λογικές δίνουν τη δυνατότητα οι ξένες έννοιες να διαχωρίζονται μεταξύ τους ορίζοντας ένα *διευκρινιστή* (*discriminator*). Για παράδειγμα, διαχωρίζουμε τις υποέννοιες που αφορούν το χρώμα μιας ταινίας δίνοντας στην έννοια *ΑσπρόμαυρηΤαινία* το διευκρινιστικό *ασπρόμαυρο* και στην έννοια *Έγχρωμη* το διευκρινιστικό *χρώμα*. Η χρήση διευκρινιστικών μας απαλλάσσει από τον κόπο να ορίσουμε μία προς μία τις ξένες έννοιες.

#### Πλήρης κάλυψη από τις υποέννοιες

Ο συνδυασμός κάποιων υποκλάσεων συχνά καλύπτει όλη την κλάση. Για παράδειγμα, μια ταινία είναι είτε μικρού είτε μεγάλου μήκους. Έτσι, σε Περιγραφικές Λογικές που υποστηρίζουν διάζευξη γράφουμε:

$$\text{Ταινία} \sqsubseteq \text{ΤαινίαΜικρούΜήκους} \sqcup \text{ΤαινίαΜεγάλουΜήκους}$$

Καθώς η έννοια ΤαινίαΜικρούΜήκους είναι υποέννοια της έννοιας Ταινία (το ίδιο άλλωστε ισχύει και για τις ταινίες μεγάλου μήκους), είναι εξίσου σωστό να ορίσουμε την έννοια *Ταινία* με ορισμό:

$$\text{Ταινία} \equiv \text{ΤαινίαΜικρούΜήκους} \sqcup \text{ΤαινίαΜεγάλουΜήκους}$$

Σε γλώσσες που δεν υποστηρίζουν διάζευξη, μπορούμε να επιλύσουμε το πρόβλημα με ορισμούς των υποεννοιών και ονοματικές έννοιες (nominals).

### Ορισμένες και πρωτογενείς υποέννοιες

Αν δεν έχουμε στη διάθεσή μας τον τελεστή διάζευξης, μπορούμε και πάλι να ορίσουμε ότι μια ταινία είναι είτε μικρού είτε μεγάλου μήκους, αξιοποιώντας και το γεγονός ότι οι δύο έννοιες είναι μεταξύ τους ξένες. Έτσι, περιγράφουμε τις έννοιες Ταινία και ΤαινίαΜικρούΜήκους ως πρωτογενείς έννοιες και στη συνέχεια γράφουμε έναν *ορισμό* για την έννοια ΤαινίαΜεγάλουΜήκους ως εξής:

$$\begin{aligned} \text{ΤαινίαΜικρούΜήκους} &\sqsubseteq \text{Ταινία} \\ \text{ΤαινίαΜεγάλουΜήκους} &\equiv \text{Ταινία} \sqcap \neg \text{ΤαινίαΜικρούΜήκους} \end{aligned}$$

Με τις δύο παραπάνω προτάσεις η Περιγραφική Λογική καλύπτει δύο γεγονότα: ότι μια ταινία είναι μικρού ή μεγάλου μήκους και ότι οι έννοιες ΤαινίαΜικρούΜήκους και ΤαινίαΜεγάλουΜήκους είναι ξένες, και μάλιστα χωρίς καμία από τις δύο προτάσεις να δηλωθεί ρητά. Το παραπάνω παράδειγμα αποδεικνύει τόσο τη μεγάλη εκφραστική δύναμη που μας δίνει ένα σύστημα που υποστηρίζει ορισμούς όσο και ότι ο συνδυασμός πλήρους κάλυψης και ξένων εννοιών, διαιρεί μία κλάση στις υποκλάσεις της.

Ένας ακόμα τρόπος για να επιτευχθεί ο ίδιος στόχος είναι με χρήση ονοματικών εννοιών. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούμε ένα χαρακτηριστικό, μέσω του οποίου γίνεται η διαίρεση μιας έννοιας στις υποέννοιές της. Για παράδειγμα, προσθέτουμε το χαρακτηριστικό χρώμα στις ταινίες, με πεδίο τιμών μία ονοματική έννοια, δηλαδή ένα σύνολο από πιθανές τιμές:

$$\begin{aligned} \text{Ταινία} &\sqsubseteq \exists \text{χρώμα}.\{\text{ΑΣΠΡΟΜΑΥΡΟ}\}, \{\text{ΕΓΧΡΩΜΟ}\}, \{\text{ΜΙΚΤΟ}\} \\ &\sqcap \leq 1 \text{χρώμα}.\{\text{ΑΣΠΡΟΜΑΥΡΟ}\}, \{\text{ΕΓΧΡΩΜΟ}\}, \{\text{ΜΙΚΤΟ}\}, \end{aligned}$$

και στη συνέχεια με βάση αυτό το χαρακτηριστικό ορίζουμε τις αντίστοιχες κλάσεις:

$$\begin{aligned} \text{ΑσπρόμαυρηΤαινία} &\equiv \text{Ταινία} \sqcap \exists \text{χρώμα}.\{\text{ΑΣΠΡΟΜΑΥΡΟ}\} \\ \text{ΈγχρωμηΤαινία} &\equiv \text{Ταινία} \sqcap \exists \text{χρώμα}.\{\text{ΕΓΧΡΩΜΟ}\} \\ \text{ΜικτούΧρώματοςΤαινία} &\equiv \text{Ταινία} \sqcap \exists \text{χρώμα}.\{\text{ΜΙΚΤΟ}\} \end{aligned}$$

Οι έννοιες αυτές θα είναι ξένες μεταξύ τους γιατί ο ρόλος χρώμα είναι χαρακτηριστικό, δηλαδή παίρνει το πολύ μία τιμή, αλλά επίσης καλύπτουν πλήρως την κλάση Ταινία αφού για κάθε ταινία υπάρχει μία τουλάχιστον τιμή για το ρόλο χρώμα η οποία προέρχεται από το συγκεκριμένο σύνολο.

## 3.7 Σημαντικές οντολογικές αποφάσεις για την κατασκευή της ταξονομίας

Η κατασκευή οντολογιών για υπολογιστικά συστήματα, απαιτεί τη χρήση αυστηρής και ανεξάρτητης από το πεδίο αναφοράς μεθοδολογίας η οποία να ορίζει βασικές σχεδιαστικές αποφάσεις που διασαφηνίζουν το νόημα των εννοιών σε μία οντολογία. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται ορισμένες πλευρές της οντολογικής διάστασης των εννοιών οι οποίες είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη για την κατασκευή μιας σωστής οντολογίας.

### 3.7.1 Μετα-ιδιότητες ιδιοτήτων

Τυπικά οι έννοιες είναι σύνολα ιδιοτήτων, ενώ οι υποέννοιές τους είναι υποσύνολα ιδιοτήτων. Ωστόσο, δεν είναι όλες οι ιδιότητες ίδιες, δεν προσδιορίζουν τις έννοιες με τον ίδιο τρόπο. Οι ίδιες οι ιδιότητες έχουν μετα-ιδιότητες, οι οποίες αν και δεν μπορούν να αναπαρασταθούν με Περιγραφικές Λογικές, είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη από το μηχανικό γνώσης.

#### Στοιχειώδεις και ισχυρές ιδιότητες

Η πρώτη μετα-ιδιότητα που θα εξετάσουμε είναι αν μία ιδιότητα είναι *στοιχειώδης* (*essential*). Είδαμε στην Ενότητα 3.5.1 ότι στοιχειώδης είναι μια ιδιότητα αν είναι απαραίτητο να την ικανοποιεί ένα άτομο για να είναι στιγμιότυπο αυτής της έννοιας. Για παράδειγμα, το να είναι ένα έργο τέχνης Ταινία είναι στοιχειώδης ιδιότητα, ή ακόμα για να είναι μια ταινία ΤαινίαΣεΑίθουσες θα πρέπει να έχει την ιδιότητα να προβάλλεται, η οποία επίσης είναι στοιχειώδης.

Για να χαρακτηρίσουμε μία ιδιότητα στοιχειώδη, δεν αρκεί να εξετάσουμε αν χαρακτηρίζει μόνιμα το άτομο, γιατί υπάρχει περίπτωση ένα άτομο να έχει την ιδιότητα αυτή για πάντα μεν, αλλά συμπτωματικά, ενώ υπήρχε η δυνατότητα να μην την έχει. Για παράδειγμα, η ιδιότητα “έχειΠρωταγωνιστή” είναι στοιχειώδης ιδιότητα για μία ταινία αφήγησης, αλλά όχι και για ένα ντοκυμαντέρ. Κάποια ντοκυμαντέρ έχουν πρωταγωνιστή, ενώ άλλα όχι επομένως η ιδιότητα αυτή ακόμα και αν ισχύει για κάποιο ντοκυμαντέρ είναι καθαρά συμπτωματική και όχι απαραίτητη για την κατάταξη μίας ταινίας στο συγκεκριμένο είδος.

Όταν υπάρχουν αλλαγές στο μοντέλο που κατασκευάζουμε, υπάρχει διάκριση ανάμεσα σε έννοιες που αναπαριστούν ιδιότητες σύμφυτες με τα άτομα, δηλαδή ιδιότητες που δεν αλλάζουν στο χρόνο, οι οποίες ονομάζονται *ισχυρές* και σε έννοιες που αναπαριστούν παροδικές ιδιότητες. Ισχυρή, λοιπόν, είναι μία ιδιότητα όταν είναι στοιχειώδης για όλα τα στιγμιότυπά της. Για παράδειγμα, η ιδιότητα να είναι ένα άτομο Άνθρωπος, ή η

ιδιότητα ενός έργου τέχνης να είναι Ταινία είναι ισχυρές ιδιότητες. Ένα άτομο που είναι στιγμιότυπο της έννοιας Άνθρωπος, θα ικανοποιεί την ιδιότητα του να είναι άνθρωπος για πάντα, και δεν υπάρχει κανένα στιγμιότυπο που να πάψει κάποια στιγμή να την ικανοποιεί.

Αντίθετα, η σκληρότητα, ή η ιδιότητα *ΤαινίαΣεΑίθουσες* δεν είναι ισχυρές ιδιότητες, με την έννοια ότι δεν είναι στοιχειώδεις για τα στιγμιότυπά τους. Οι μη ισχυρές ιδιότητες, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τις *ημι-ισχυρές ιδιότητες* και τις *αντι-ισχυρές*. Αντι-ισχυρή είναι η ιδιότητα *ΤαινίαΣεΑίθουσες* γιατί τα στιγμιότυπά της δε θα προβάλλονται πάντα σε αίθουσες άρα η ιδιότητα να προβάλλονται δεν είναι στοιχειώδης για αυτά. Ημι-ισχυρή είναι η ιδιότητα *έχειΠρωταγωνιστή* γιατί υπάρχουν κάποια στιγμιότυπα (οι ταινίες αφήγησης) στα οποία η ιδιότητα αυτή είναι στοιχειώδης και άλλα (τα ντοκυμαντέρ) στα οποία δεν είναι.

Στη μοντελοποίηση είναι λάθος να υπάγονται ισχυρές ιδιότητες σε αντι-ισχυρές, όπως:  $\text{Ταινία} \sqsubseteq \text{ΤαινίαΣεΑίθουσες}$ . Κάθε στιγμιότυπο της έννοιας *ΤαινίαΣεΑίθουσες* μπορεί να πάψει να είναι προβάλλεται σε κάποια αίθουσα ενώ κάθε στιγμιότυπο της έννοιας *Ταινία* δε θα σταματήσει να είναι ταινία. Αν λοιπόν ορίσουμε ότι όλες οι ταινίες που υπάρχουν προβάλλονται αυτή τη στιγμή σε κάποια αίθουσα, αυτό θα οδηγήσει τελικά σε ασυνέπεια.

### Ταυτοποίηση και Ενότητα

Μία ακόμα πολύ σημαντική μετα-ιδιότητα είναι η *ταυτοποίηση (identity)*. Λέμε ότι μία ιδιότητα ταυτοποιεί αν με βάση αυτή μπορούμε να διακρίνουμε αν δύο αντικείμενα είναι όμοια (ή διαφορετικά). Πολύ συχνά, τα κριτήρια ταυτοποίησης παραβλέπονται, γιατί τυπικά δεν ανήκουν στο υλοποιημένο σύστημα. Στην πράγματικότητα όμως, τα κριτήρια ταυτοποίησης είναι συνθήκες που καθορίζουν την ισότητα (ικανές συνθήκες) και που συνεπάγονται από την ισότητα (αναγκαίες συνθήκες).

Για παράδειγμα, έστω ότι μοντελοποιούμε την έννοια *ΧρονικήΔιάρκεια* με στιγμιότυπα της μορφής *MIA\_ΩΡΑ*, *ΔΥΟ\_ΩΡΕΣ* και η έννοια *ΧρονικόΔιάστημα* με στιγμιότυπα της μορφής *1-2PM\_TRITH* *7-8PM\_ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ*. Διαισθητικά, θα μπορούσε κάποιος να μοντελοποιήσει την έννοια *ΧρονικόΔιάστημα* σαν υποέννοια της *ΧρονικήΔιάρκεια*, γιατί όλα τα χρονικά διαστήματα μπορούν να ιδωθούν σαν χρονικές διάρκειες. Όμως, σύμφωνα με το κριτήριο ταυτοποίησης για τις χρονικές διάρκειες, δύο διαστήματα που διαρκούν μία ώρα θεωρούνται όμοια, ανεξάρτητα αν η στιγμή έναρξής τους διαφέρει. Αντίθετα, το κριτήριο ταυτοποίησης για τα χρονικά διαστήματα θα θεωρούσε όμοια μόνο διαστήματα με την ίδια στιγμή έναρξης και λήξης. Τα στιγμιότυπα του παραδείγματος, θα εκλαμβάνονταν όμοια σαν χρονικές διάρκειες και διαφορετικά σαν χρονικά διαστήματα. Επομένως, η σχέση υπαγωγής δεν ισχύει γιατί οδηγεί σε αντίφαση. Άρα, με βάση το κριτήριο ταυτοποίησης, δεν μπορούμε να μοντελοποιήσουμε τη σχέση μεταξύ τους με υπαγωγή.

Το κριτήριο *ενότητας (unity)* καθορίζει αν με βάση την ιδιότητα αυτή τα στιγμιότυπα της έννοιας αποτελούν ολότητες ή όχι. Για παράδειγμα, τα στιγμιότυπα της έννοιας *Νερό*

δεν είναι ολότητες, γιατί τα στιγμιότυπα της κλάσης αποτελούν ποσότητες νερού, και στον πραγματικό κόσμο μία ποσότητα νερού δεν αποτελεί ξεχωριστή οντότητα. Αντίθετα, η έννοια Ωκεανός αναπαριστά ολότητες, αφού στιγμιότυπα της μορφής ΑΤΛΑΝΤΙΚΟΣ\_ΩΚΕΑΝΟΣ είναι πράγματι μια ξεχωριστή οντότητα. Επομένως, θα ήταν λάθος να μοντελοποιούσαμε την έννοια Ωκεανός ως υποκλάση της έννοιας Νερό, εφόσον η μία έννοια περιέχει ολότητες και η άλλη όχι.

### 3.7.2 Κανόνες για την κατασκευή ταξονομίας

Οι σχέσεις υπαγωγής είναι η βάση για την κατασκευή μιας ταξονομίας και η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη. Τυπικά, η σχέση υπαγωγής σημαίνει ότι όλα τα στιγμιότυπα της υποκλάσης είναι στιγμιότυπα της υπερκλάσης. Παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικοί κανόνες για την κατασκευή μιας ταξονομίας, οι οποίοι βασίζονται στη μεθοδολογία ON-TOCLEAN [27].

- Τα αξιώματα υπαγωγής δεν ορίζουν στιγμιότυπα.

Η σχέση στιγμιότυπου δε θα πρέπει να συγχέεται με τη σχέση υπαγωγής. Για παράδειγμα, η έννοια Άνθρωπος είναι υποέννοια της έννοιας Θηλασικό. Ένα στιγμιότυπο της έννοιας Άνθρωπος π.χ. ΜΑΡΙΑ είναι και στιγμιότυπο της έννοιας Θηλασικό. Όμως η έννοια Άνθρωπος, δεν είναι υποέννοια της έννοιας ΕίδοςΖωής. Ο λόγος είναι ότι τα κριτήρια ταυτοποίησης για την έννοια ΕίδοςΖωής αφορούν τις γονιδιακές διαφορές που ταυτοποιούν κάθε είδος και το διαχωρίζουν από τα υπόλοιπα, κριτήρια που είναι κοινά σε όλους τους ανθρώπους και δεν μπορούν να ταυτοποιήσουν τον κάθε άνθρωπο ατομικά. Άρα, η έννοια Άνθρωπος είναι *στιγμιότυπο* των ειδών ζωής και όχι υποέννοια.

- Τα αξιώματα υπαγωγής δεν ορίζουν μετα-ιδιότητες.

Η συζήτηση σχετικά με τις μετα-ιδιότητες θα μπορούσε να οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι και οι μετα-ιδιότητες είναι ιδιότητες αντικειμένων, και επομένως ότι μπορούν να μοντελοποιηθούν ως κλάσεις, για παράδειγμα μία κλάση ΙσχυρήΚλάση με στιγμιότυπα κλάσεις που αντιστοιχούν σε ισχυρές ιδιότητες όπως Άνθρωπος. Όμως και πάλι τα κριτήρια ταυτοποίησης μίας ισχυρής κλάσης, δεν έχουν καμία σχέση με τα κριτήρια ταυτοποίησης των αντικειμένων της κλάσης Άνθρωπος. Άρα, όπως και στο προηγούμενο παράδειγμα, η κλάση ΙσχυρήΚλάση είναι μία κλάση που έχει στιγμιότυπα κλάσεις. Η ισχυρή ιδιότητα είναι μετα-ιδιότητα, δηλαδή ιδιότητα ιδιοτήτων, άρα δεν μπορεί να αναπαρασταθεί ως κλάση.

- Τα στιγμιότυπα υπαγωγής δεν ορίζουν μέρη ή συστατικά.



Μία ακόμα σημαντική παρατήρηση αφορά τη σχέση μεταξύ μίας κλάσης και ενός υποσυνόλου. Ένα συστατικό μέρος ενός συνόλου είναι φυσικά υποσύνολο του, αλλά χρειάζεται να διακρίνουμε τα μέρη ενός συνόλου από τα μέρη των μελών του συνόλου, μέσω των στοιχειωδών ιδιοτήτων τους, που σχεδόν πάντα είναι διαφορετικές. Για παράδειγμα, η κλάση Μηχανή δεν είναι υποέννοια της έννοιας Αυτοκίνητο. Αυτό συμβαίνει επειδή για το αυτοκίνητο οι στοιχειώδεις ιδιότητες αφορούν τη μεταφορά ανθρώπων, ενώ για τη μηχανή τη δημιουργία στροφικής κίνησης. Ο σωστός τρόπος μοντελοποίησης είναι με μία σχέση : Αυτοκίνητο  $\sqsubseteq$   $\exists$  έχειΜέρος.Μηχανή.

- Η υπαγωγή δεν είναι ένωση.

Πολλές φορές δημιουργούμε κλάσεις που αναπαριστούν διαφορετικά επίπεδα αφάιρεσης για μία έννοια. Για το παραπάνω παράδειγμα, θα μπορούσαμε εκτός από την έννοια Αυτοκίνητο να δημιουργήσουμε μια κλάση ΜέροςΑυτοκινήτου και να δηλώσουμε Μηχανή  $\sqsubseteq$  ΜέροςΑυτοκινήτου. Όμως, μηχανές δε χρησιμοποιούνται μόνο σε αυτοκίνητα, με άλλα λόγια η ιδιότητα ενός αντικειμένου να είναι μηχανή είναι ισχυρή ενώ η ιδιότητα να είναι μέρος αυτοκινήτου είναι αντι-ισχυρή γιατί τα στιγμιότυπά της μπορεί να είναι μέρη και άλλων αντικειμένων. Άρα εδώ η σωστή μοντελοποίηση είναι με διάζευξη ως εξής: ΜέροςΑυτοκινήτου  $\sqsubseteq$  Μηχανή  $\sqcup$  Τιμόνι  $\sqcup$  Τροχός  $\sqcup$  ....

- Τα αξιώματα υπαγωγής δεν ορίζουν πολυσημία.

Υπάρχουν όροι που στη φυσική γλώσσα έχουν πολλές σημασίες. Για παράδειγμα, η έννοια Βιβλίο μπορεί να έχει τη σημασία του βιβλίου γενικά, με ιδιότητες όπως ότι έχει τίτλο, συγγραφέα, θέμα, ή τη σημασία ενός συγκεκριμένου ανατύπου ενός βιβλίου με ιδιότητες όπως ότι έχει μέγεθος, βάρος, εξώφυλλο κλπ. Άρα δεν είναι σωστό να δηλώσουμε Ανατύπο  $\sqsubseteq$  Βιβλίο, γιατί και στις δύο αυτές έννοιες τα κριτήρια ταυτοποίησης είναι διαφορετικά.

### 3.8 Μοντελοποίηση σχέσεων

Οι δυαδικές σχέσεις μεταξύ των ατόμων εκφράζονται μέσω ρόλων. Όπως και στις έννοιες, υπάρχει μία σειρά από περιορισμούς για τις σχέσεις:

- **Περιορισμοί Πληθυκότητας:** Δηλώνουν το μέγιστο ή ελάχιστο αριθμό ατόμων που μπορεί να σχετίζονται μέσω του ρόλου, π.χ. ΑισθηματικήΤαινία  $\sqsubseteq \geq 2$  έχειΠρωταγωνιστή.
- **Περιορισμοί πεδίου ορισμού:** Καθορίζουν τις ιδιότητες που πρέπει να πληρούν τα άτομα ώστε να αποτελούν υποκείμενο μίας σχέσης, π.χ.  $\exists$  έχειΣκηνοθέτη.  $\top \sqsubseteq$  Ταινία.

- **Περιορισμοί πεδίου τιμών:** Καθορίζουν τις ιδιότητες που πρέπει να πληρούν τα άτομα ώστε να αποτελούν αντικείμενο μίας σχέσης, π.χ.  $\top \sqsubseteq \forall$  έχει Σκηνοθέτη.Σκηνοθέτης.
- **Ανάστροφοι ρόλοι:** Ορίζουν αντίστροφες σχέσεις, π.χ. έχει Πρωταγωνιστή  $\sqsubseteq$  πρωταγωνιστεί Σε<sup>-</sup>.

### 3.8.1 Υλοποίηση σχέσεων

Για ορισμένες σχέσεις είναι απαραίτητο να περιγράψουμε κάποιες επιπλέον ιδιότητες. Για παράδειγμα, για τη σχέση προβάλλεται Σε είναι επιθυμητό να περιγράψουμε λεπτομέρειες για την προβολή όπως ώρα, μέρος, κλπ. Σε αυτές τις περιπτώσεις δημιουργούμε μία έννοια η οποία αποτελεί την υλοποίηση του ρόλου και έχει τη μορφή, για το παράδειγμά μας:

$$\begin{aligned} \text{Προβολή} \sqsubseteq \exists \text{προβάλλεται Σε. Αίθουσα} \sqcap \exists \text{υποΠροβολή. Ταινία} \\ \sqcap \exists \text{ώραΠροβολής. Ωρα} \sqcap \exists \text{αριθμόςΠροβολών. integer.} \end{aligned}$$

Με τον ίδιο τρόπο μοντελοποιούμε σχέσεις ανάμεσα σε περισσότερα από δύο αντικείμενα. Το μειονέκτημα είναι ότι με αυτό τον τρόπο είναι δύσκολο να καθορίσουμε τα υποκείμενα της σχέσης και να τα διαχωρίσουμε από τα χαρακτηριστικά της. Για παράδειγμα, η έννοια Προβολή μπορεί να αποτελεί μία δυαδική σχέση της μορφής Προβολή (Αίθουσα, Ταινία) όπου η ώρα προβολής χαρακτηρίζει τη σχέση, ή να αποτελεί μία σχέση της μορφής Προβολή (Αίθουσα, Ταινία, Ωρα). Για τη λύση του προβλήματος, έχει προταθεί [9] να χρησιμοποιούνται τα κλειδιά των βάσεων δεδομένων για τη σηματοδότηση των χαρακτηριστικών εκείνων που εποτελούν υποκείμενα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι Περιγραφικές Λογικές όπως η  $\mathcal{DLR}$  υποστηρίζουν σχέσεις μεταξύ  $n$  ατόμων, οπότε δε χρειάζονται υλοποίηση σχέσεων.

### 3.8.2 Ιεραρχίες Ρόλων

Σε πολλές εφαρμογές δύο ρόλοι ανάμεσα σε αντικείμενα των ίδιων σχέσεων συνδέονται με τον περιορισμό ότι όποια αντικείμενα ικανοποιούν τον πρώτο, θα πρέπει να ικανοποιούν υποχρωτικά και το δεύτερο. Το γεγονός αυτό δίνει τη δυνατότητα κατασκευής μιας ταξονομίας ρόλων. Για παράδειγμα μπορούμε να δηλώσουμε:

$$\text{πρωταγωνιστεί Σε} \sqsubseteq \text{έχει Ρόλο Σε}$$

Οι ιεραρχίες ρόλων είναι ιδιαίτερα χρήσιμες γιατί χωρίς αυτές θα ήμασταν υποχρωμένοι να υλοποιούμε κάθε σχέση ώστε να κατασκευάζουμε υποέννοιές της. Με τις ιεραρχίες ρόλων, μπορούμε να το αποφύγουμε. Η ύπαρξη ιεραρχίας ρόλων σε μια περιγραφική γλώσσα συμβολίζεται με το γράμμα  $\mathcal{H}$ .

### 3.8.3 Επίλυση του προβλήματος πολυσημίας - Πραγματοποίηση

Κάποιες φορές η ίδια έννοια έχει πολλές και διαφορετικές σημασίες στη φυσική γλώσσα. Για παράδειγμα ας δούμε τις φράσεις: “ο Αγγελόπουλος είναι ο σκηνοθέτης της ταινίας “Ο Θίασος””, “αγόρασα το “Θίασο” σε DVD”, και “το κανάλι 7 θα προβάλει το “Θίασο” αύριο στις 9”. Υπάρχει διαφορά ανάμεσα στην ταινία με την αφηρημένη έννοια, τις διάφορες εκδόσεις της στην αγορά και σε συγκεκριμένες προβολές. Σε αυτές τις περιπτώσεις υπάρχει μία σχέση ανάμεσα στη γενική έννοια (π.χ. ταινία) και τις πιο συγκεκριμένες έννοιες (π.χ. έκδοση σε DVD), η οποία ονομάζεται *πραγματοποίηση* (*maternalization*) και η οποία μελετάται στο [45].

Ας δούμε καταρχήν πως θα μπορούσαν να μοντελοποιηθούν οι διαφορετικές σημασίες της έννοιας Ταινία:

Ταινία  $\sqsubseteq$   $\exists$  έχει Τίτλο.string  $\sqcap$   $\exists$  έχει Σκηνοθέτη.Ανθρωπος  $\sqcap$  ...  
 Έκδοση Ταινίας  $\sqsubseteq$   $\exists$  έχει Μορφή.{DVD}  $\sqcup$  {Film}...  $\sqcap$   $\exists$  έχει Εκδότη.Εταιρία  $\sqcap$  έχει ISBN.string  $\sqcap$  ...  
 Προβολή Ταινίας  $\sqsubseteq$   $\exists$  ώρα Προβολής.time  $\sqcap$   $\exists$  προβάλλεται Στο.(Κανάλι  $\sqcup$  Αίθουσα  $\sqcup$  ...)  $\sqcap$  ...

Όπως εξηγήθηκε στο 3.7.2, οι σχέσεις ανάμεσα στις παραπάνω έννοιες δεν μπορούν να μοντελοποιηθούν με αξιώματα υπαγωγής, γιατί αυτό εισάγει εννοιολογικές ασυνέπειες. Μία πιθανή λύση για την περίπτωση που δεν είμαστε διατεθειμένοι να ορίσουμε διαφορετικά άτομα ως στιγμιότυπα της κάθε μίας από τις τρεις έννοιες θα ήταν να αποδώσουμε τα χαρακτηριστικά και των τριών εννοιών στην έννοια Ταινία και τα άτομα να είναι αποκλειστικά και μόνο συγκεκριμένες προβολές.

Όμως η καλύτερη προσέγγιση στο πρόβλημα είναι να αντιμετωπίσουμε το στιγμιότυπο της έννοιας Έκδοση Ταινίας σαν υποκλάση της έννοιας Προβολή Ταινίας. Δηλαδή οι υποκλάσεις αυτές είναι στιγμιότυπα, στα οποία αποδίδουμε μετα-ρόλους. Η τεχνική αυτή ονομάζεται *πραγματοποίηση*. Η τεχνική υλοποιείται μέσω του ρόλου *πραγματοποίησηΤου*, ο οποίος για λόγους ευκολίας κατανόησης έχει υπορόλους τους *έκδοσηΤου* και *προβολήΤου*. Έτσι, στο παράδειγμά μας θα έπρεπε να προσθέσουμε τους παρακάτω ισχυρισμούς:

$\text{έκδοσηΤου} \sqsubseteq \text{πραγματοποίησηΤου}$   
 $\text{ΈκδοσηΤαινίας} \sqsubseteq \exists \text{έκδοσηΤου.Ταινία}$   
 $\text{προβολήΤου} \sqsubseteq \text{πραγματοποίησηΤου}$   
 $\text{ΠροβολήΤαινίας} \sqsubseteq \exists \text{προβολήΤου.Ταινία}$

Συχνά οι ιδιότητες της πιο αφαιρετικής έννοιας κληρονομούνται από την πραγματοποίησή της, όπως για παράδειγμα η έκδοση της ταινίας έχει τον ίδιο τίτλο με την ταινία.

Αυτο υλοποιείται με αλυσίδες ρόλων:

$$\text{έκδοσηΤου} \circ \text{έχειΤίτλο} \sqsubseteq \text{έχειΤίτλο}$$

### 3.8.4 Σχέσεις μέρους-όλου

Μία σχέση μέρους όλου αφορά σχέσεις όπως εκείνες μίας ταινίας με τις σκηνές της. Το ζήτημα αυτό είναι από τα πιο πολυσυζητημένα θέματα της εννοιολογικής μοντελοποίησης, ενώ στην εργασία [2] γίνεται μία αναλυτική μελέτη για το χειρισμό τέτοιων σχέσεων.

Η γνωστική επιστήμη επισημαίνει μία σειρά διαφορετικών σχέσεων μέρους-όλου, οι οποίες δε θα πρέπει να συγχέονται μεταξύ τους, διότι οδηγούν σε εννοιολογικές ασυνέπειες. Έτσι υπάρχουν τρία είδη ολότητας: συμπλέγματα, συλλογές και μάζες τα μέρη των οποίων ονομάζονται εξαρτήματα, μέλη και ποσότητες αντίστοιχα, ενώ επιπλέον μέρη μπορεί να είναι οι μερίδες (μέρη με ίδιες εσωτερικές ιδιότητες με την ολότητα) και τα τμήματα. Για παράδειγμα, μία ταινία είναι σύμπλεγμα σκηνών, ενώ μία ανθολογία είναι συλλογή ποιημάτων.

Δύο ακόμα ζητήματα προκύπτουν όταν μελετάμε τη φύση σχέσεων μέρους-όλου:

- *Υπαρξη*: Η ύπαρξη και η ταυτότητα μίας ολότητας μπορεί να εξαρτάται από κάποιο αντικείμενο (π.χ. μία ταινία πρέπει να έχει σκηνοθέτη) ή να εξαρτάται από ένα σύνολο μερών (π.χ. ένα βιβλίο πρέπει να έχει εξώφυλλο). Αντίστροφα, το μέρος μπορεί να εξαρτάται από την ολότητα (π.χ. μία σκηνή εξαρτάται από την ταινία). Τέλος, το μέρος μπορεί να ανήκει αποκλειστικά σε μία ολότητα, ή σε περισσότερες.
- *Ιδιότητες*: Ιδιότητες μπορεί να κληρονομούνται από την ολότητα στα μέρη (π.χ. ανήκειΣε) ή από τα μέρη στην ολότητα (π.χ. είναιΕλλαπωματικό).

Με βάση τα παραπάνω, εισάγονται ειδικοί ρόλοι καθένας από τους οποίους αντιστοιχεί σε μία διαφορετική σχέση μέρους όλου: έχειΑΕξάρτημα, έχειΑΜέλος, έχειΑΤμήμα, έχειΑΠοσοότητα, έχειΑΣυστατικό όπου το "Α" σημαίνει "άμεσο". Με βάση αυτές μπορούμε να ορίσουμε πιο σύνθετες σχέσεις μέρους όλου:

$$\text{έχειΕξάρτημα} \equiv \text{έχειΑΕξάρτημα} \sqcup (\text{έχειΑΜέλος} \circ \text{έχειΑΕξάρτημα})$$

$$\text{Trans}(\text{έχειΕξάρτημα})$$

$$\text{έχειΜέρος} \equiv \text{έχειΕξάρτημα} \sqcup \text{έχειΜέλος} \circ \text{έχειΤμήμα} \dots$$

$$\text{έχειΕξάρτημα} \equiv \text{είναιΕξάρτημαΤου}^-$$

Στην πράξη, όταν δηλώνουμε χαρακτηριστικά και ρόλους που περιγράφουν μέρη, π.χ. εξαρτήματα, δηλώνουμε τον αντίστοιχο ρόλο ως ειδικευση της σχέσης έχειΕξάρτημα, ώστε

να μπορούμε να τους διαχωρίζουμε ευκολότερα από άλλους που δεν περιγράφουν σχέσεις μέρους-όλου.

### 3.8.5 Γενικοί Περιορισμοί

Κατά τη μοντελοποίηση μπορεί να συναντήσει κανείς περιορισμούς που εκφράζουν έγκυρες καταστάσεις του κόσμου, όπως για παράδειγμα ότι η ημερομηνίαΛήξης ενός προϊόντος πρέπει να είναι μετά την ημερομηνίαΠαραγωγής. Τέτοιοι περιορισμοί είναι αδύνατο να εκφραστούν σε Περιγραφικές Λογικές. Σε ευρεία χρησιμοποιούμενες εφαρμογές, το πρόβλημα λύνεται με κατασκευαστές εννοιών που χρησιμοποιούν πολύ εκφραστικές γλώσσες, όπως γλώσσες προγραμματισμού (π.χ. CLASSIC) ή με παραλλαγές της λογικής πρώτης τάξης (π.χ. LOOM). Ο μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων δεν ασχολείται με αυτούς τους υπολογισμούς, γιατί δεν μπορεί να εγγυηθεί την ορθότητα ενός τόσο εκφραστικού φορμαλισμού. Όμως, ο υπολογισμός των περιορισμών αυτών έχει κάποια επίδραση στο ABox, αφού στην πράξη ελέγχει τη συνέπεια τέτοιων περιορισμών στο ABox, και διαγράφει τους ασυνεπείς ισχυρισμούς.

Για την επίλυση των ζητημάτων αυτών έχουν επίσης προταθεί πιο γενικά συστήματα τα οποία προσθέτουν νέους κατασκευαστές βάσει αρχών, για παράδειγμα κατασκευαστές που να χειρίζονται ημερομηνίες, χρονικές διάρκειες κλπ. Τέτοιες προσεγγίσεις έχουν προταθεί στα [6], [10], [30].

## 3.9 Μεθοδολογία ανάπτυξης οντολογιών

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται μία μεθοδολογία για τη συστηματική ανάπτυξη οντολογιών:

- Αρχικά, προσδιορίζουμε τα άτομα που υπάρχουν στο πεδίο αναφοράς. Επιστρέφουμε στο βήμα αυτό για να εξετάσουμε θέματα όπως η πραγματοποίηση και οι τιμές.
- Απαριθμούμε τις έννοιες που ομαδοποιούν τα άτομα αυτά.
- Διαχωρίζουμε τις ατομικές έννοιες από τους ρόλους σχέσεων.
- Αναπτύσσουμε μία ταξονομία εννοιών. Επανερχόμαστε στο βήμα αυτό για να εξετάσουμε ζητήματα που αφορούν ξένες έννοιες, ή κάλυψη από υποέννοιες.
- Προσδιορίζουμε αν υπάρχουν άτομα (κυρίως ονοματικές έννοιες με απαρίθμηση τιμών) τα οποία είναι στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος σε κάθε κατάσταση του πεδίου αναφοράς.

- Αναζητάμε συστηματικά σχέσεις μέρους-όλου ανάμεσα στα αντικείμενα και κατασκευάζουμε αντίστοιχους ρόλους. Στη συνέχεια κατασκευάζουμε υπορόλους αυτών των ρόλων εξειδικεύοντας στις έννοιες του πεδίου αναφοράς.
- Ταυτοποιούμε άλλες ιδιότητες των ατόμων και στη συνέχεια γενικές σχέσεις ανάμεσα στα άτομα.
- Προσθέτουμε περιορισμούς σε ρόλους όπως περιορισμούς πληθυκότητας, πεδίου ορισμού και πεδίου τιμών. Επεξεργαζόμαστε τις έννοιες που συμμετέχουν στους περιορισμούς πεδίου ορισμού και πεδίου τιμών.
- Προσδιορίζουμε πιο γενικούς περιορισμούς πάνω στις σχέσεις, όπως ιεραρχίες ρόλων, αλυσίδες ρόλων, ή ισοδύναμους ρόλους.
- Διαχωρίζουμε τις στοιχειώδεις από τις συμπτωματικές ιδιότητες των εννοιών, όπως και τις πρωτογενείς από τις ορισμένες έννοιες.
- Εξετάζουμε ιδιότητες των εννοιών όπως ισχυρές ιδιότητες, κριτήρια ταυτοποίησης, χρησιμοποιώντας τους κανόνες της Ενότητας 3.7.2.

### 3.10 Η μοντελοποίηση του ABox

Εκτός από την περιγραφή του εννοιολογικού μοντέλου, είναι πολύ σύνηθες να μοντελοποιούμε επίσης συγκεκριμένες καταστάσεις του κόσμου, προσθέτοντας συγκεκριμένους ισχυρισμούς για άτομα.

Το πιο σημαντικό θέμα που αντιμετωπίζει ο μηχανικός γνώσης κατά τη μοντελοποίηση του ABox, είναι η *υπόθεση ανοικτού κόσμου*, βάσει της οποίας μία σχέση που δεν είναι γνωστό αν ισχύει, δε θεωρείται ψευδής. Ως αποτέλεσμα, ένα ερωτήμα που αφορά τη συμμετοχή ενός ατόμου σε μία έννοια, ή τη σχέση ενός ατόμου με ένα άλλο, έχει τρεις πιθανές απαντήσεις: "σίγουρα ναι", "σίγουρα όχι" ή "δεν ξέρω". Η θετική πλευρά της υπόθεσης ανοικτού κόσμου είναι ότι επιτρέπεται να προσθέσουμε στο μοντέλο άτομα για τα οποία δεν έχουμε πλήρη γνώση: για παράδειγμα μία ταινία για την οποία δε γνωρίζουμε το έτος παραγωγής, μπορεί να υπάρχει στο μοντέλο, αφήνοντας την ανάλογη σχέση χωρίς τιμή.

Μία ακόμα συνέπεια της υπόθεσης ανοικτού κόσμου είναι ότι σε κάποιες περιπτώσεις οι ισχυρισμοί για τα άτομα δεν αναγνωρίζονται ως ικανοποιητικοί ορισμοί. Έστω ότι η σχέση έχει σκηνοθέτη συνδέει την TAINIA24 με τον ALLEN ο οποίος είναι στιγμιότυπο της έννοιας Αμερικανός. Ο ισχυρισμός αυτός δεν είναι αρκετός για να κατατάξει την TAINIA24 σαν στιγμιότυπο της έννοιας  $\forall$  έχει σκηνοθέτη. Αμερικανός γιατί θα πρέπει να έχει δηλωθεί ρητά ότι δεν υπάρχει άλλος σκηνοθέτης της ταινίας. Ακόμα όμως και τότε, είναι αμφίβολο αν η απάντηση που θα πάρουμε θα είναι θετική.

Η παραπάνω συνέπεια αποδεικνύει ότι η υπόθεση ανοικτού κόσμου οδηγεί στο να υπάρχει σαφής διάσταση ανάμεσα στην κατάσταση του κόσμου και στη γνώση του συστήματός μας για τον κόσμο. Έτσι, όταν μοντελοποιούμε ένα πεδίο μπορεί να αποδειχτεί απαραίτητο να δημιουργήσουμε έννοιες που αφορούν την κατάσταση της ίδιας της βάσης γνώσης αντί για την κατάσταση του κόσμου, για παράδειγμα έννοιες της μορφής *ΤαινίεςΜεΆγνωστοΈτοςΠαραγωγής*.

### 3.11 Συμπεράσματα

Οι Περιγραφικές Λογικές αποτελούν ένα φορμαλισμό που προσφέρει πολύ μεγάλες δυνατότητες στη μοντελοποίηση ενός πεδίου ορισμού. Οι δυνατότητες αυτές αφορούν το χειρισμό πρωτογενών και ορισμένων εννοιών, την ύπαξη ικανών και αναγκαίων συνθηκών για τον προσδιορισμό των εννοιών και την παροχή πολλών εκφραστικών μέσων στους ρόλους. Βέβαια, οι Περιγραφικές Λογικές έχουν επίσης και αδυναμίες όπως η δυσκολία στο χειρισμό τιμών δεδομένων και περιορισμών του πεδίου, σε κάποιες μορφές κληρονομικότητας, όπως η πραγματοποίηση και η μετα-μοντελοποίηση.

Σε κάθε περίπτωση, το μεγαλύτερο ζήτημα στο σχεδιασμό εννοιολογικών μοντέλων παραμένει ο έλεγχος ορθότητας και πληρότητας. Αν και ο έλεγχος ορθότητας υποστηρίζεται από το μηχανισμό εξαγωγής συμπερασμάτων των Περιγραφικών Λογικών, η πληρότητα, όπως και σε κάθε πρόβλημα, είναι πολύ πιο δύσκολο να επιτευχθεί.

## Κεφάλαιο 4

# Αναζήτηση και παρουσίαση πολιτιστικού πολυμεσικού περιεχομένου στο Video Active

### 4.1 Εισαγωγή

Η υψηλή πολιτισμική και κοινωνική επίδραση της συλλογής και παρουσίασης πληροφοριών από οπτικοακουστικό υλικό, φέρνει αντικειμενικά στο επίκεντρο την ψηφιοποίηση του περιεχομένου οπτικοακουστικών αρχείων και την παρουσίασή τους στο διαδίκτυο. Η ψηφιοποίηση και η δημοσίευση στο διαδίκτυο αρχειακού υλικού, είναι ένα σημαντικό βήμα, όχι όμως αρκετό για την πλήρη αξιοποίησή του μεγάλου όγκου πληροφοριών που περιέχεται σε αυτό. Έχει ιδιαίτερη σημασία το υλικό να οργανώνεται σημασιολογικά έτσι ώστε να είναι κατανοητό από διαφορετικές ομάδες χρηστών αλλά και από διαφορετικά συστήματα έτσι ώστε να διευκολύνει το χρήστη να το εξερευνήσει από τη σκοπιά που εκείνος επιθυμεί.

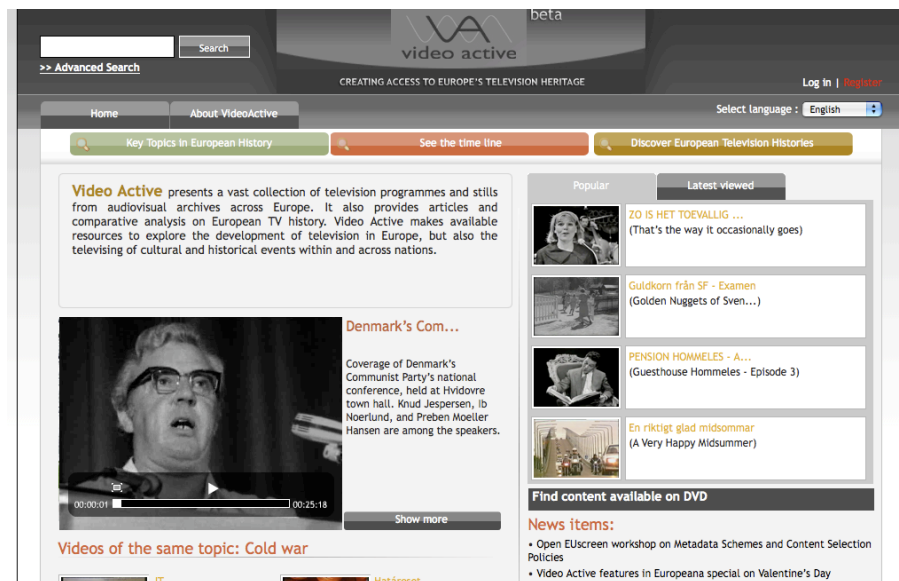
Το Video Active <sup>1</sup> είναι μία διαδικτυακή πύλη, στην οποία συγκεντρώνεται οπτικοακουστικό υλικό από 14 ευρωπαϊκά τηλεοπτικά αρχεία. Σκοπός της δημιουργίας του Video Active είναι να προσφερθεί πρόσβαση σε μελετητές στην ευρωπαϊκή τηλεοπτική κληρονομιά, δεδομένου ότι η τηλεόραση αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους πολιτισμικούς χώρους σήμερα, τόσο σε εθνικό όσο και σε πανευρωπαϊκό επίπεδο. Με αυτό τον τρόπο, είναι δυνατό να μελετηθεί η ποικιλομορφία των ευρωπαϊκών πολιτισμών και η σύγχρονη ιστορία των ευρωπαϊκών χωρών.

Το περιεχόμενο των τηλεοπτικών αρχείων που συμμετέχουν στο Video Active περιλαμβάνει πάνω από 10.000 αντικείμενα, τα οποία είναι, κατά κύριο λόγο αποσπάσματα από τηλεοπτικά προγράμματα. Η επιλογή του υλικού έχει γίνει με κριτήριο τη δυνατότητα

---

<sup>1</sup>[www.videoactive.eu](http://www.videoactive.eu)





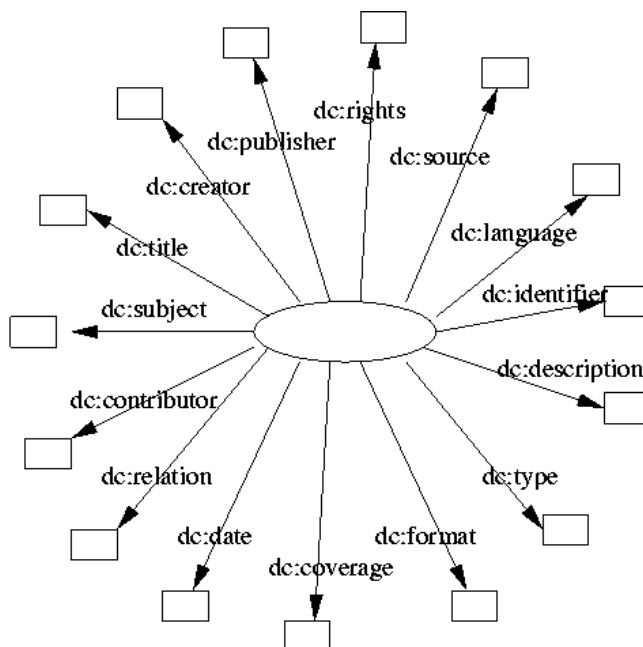
Σχήμα 4.1: Στιγμιότυπο της αρχικής σελίδας του Video Active

συγκριτικής μελέτης της ιστορίας της ευρωπαϊκής τηλεόρασης, αλλά και της ευρωπαϊκής ιστορίας όπως καταγράφεται από την τηλεόραση. Παράλληλα, δίνεται έμφαση σε προγράμματα που αντανakλούν την τεχνολογική εξέλιξη στην τηλεόραση, την ανάπτυξη των διαφόρων τηλεοπτικών ειδών, την επίδραση της τηλεόρασης στον τρόπο ζωής, καθώς και την τηλεοπτική παρουσίαση ιστορικών γεγονότων που έχουν καταγραφεί στη συλλογική μνήμη.

Ο τρόπος οργάνωσης των δεδομένων θα πρέπει να διευκολύνει τον εντοπισμό ομοιοτήτων και διαφορών στον πολιτισμό των ευρωπαϊκών χωρών, στόχος που μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια πληροφοριών που σχετίζονται σημασιολογικά με το οπτικοακουστικό υλικό. Η περιγραφή αυτών των πληροφοριών γίνεται με τη βοήθεια *μεταδεδομένων*, δηλαδή ψηφιακών τεκμηρίων που αναφέρονται στο ίδιο το οπτικοακουστικό υλικό. Ένα βασικό ζήτημα είναι, επομένως, η επιλογή των κατάλληλων μεταδεδομένων. Η πρόοδος που σημειώνουν σήμερα οι τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού και η χρήση του προτύπου μεταδεδομένων Dublin Core<sup>2</sup> παρέχουν τα εργαλεία για τη σημασιολογική αναπαράσταση του ψηφιακού περιεχομένου. Έτσι, τα δεδομένα οργανώνονται σε θεματικές περιοχές, οι οποίες περιλαμβάνουν θέματα όπως η μετανάστευση, ο ελεύθερος χρόνος, η εργασία, τα ναρκωτικά, η εκπαίδευση κλπ. Ταυτόχρονα, το οπτικοακουστικό υλικό οργανώνεται με βάση το τηλεοπτικό είδος, δηλαδή με βάση το αν ένα πρόγραμμα είναι ψυχαγωγικό, ενημερωτικό, παιδικό, διαφήμιση κλπ, καθώς και με βάση άλλα κριτήρια όπως η σημασία του στην ιστορία της τηλεόρασης, τα τεχνικά χαρακτηριστικά, οι δημιουργοί, ο χρόνος παραγωγής, η γλώσσα. Επίσης, στο Video Active δημοσιεύονται

<sup>2</sup>dublincore.org

άρθρα τα οποία είτε αναλύουν το ψηφιακό περιεχόμενο, είτε προσεγγίζουν συνολικά την εξέλιξη της ευρωπαϊκής τηλεόρασης.

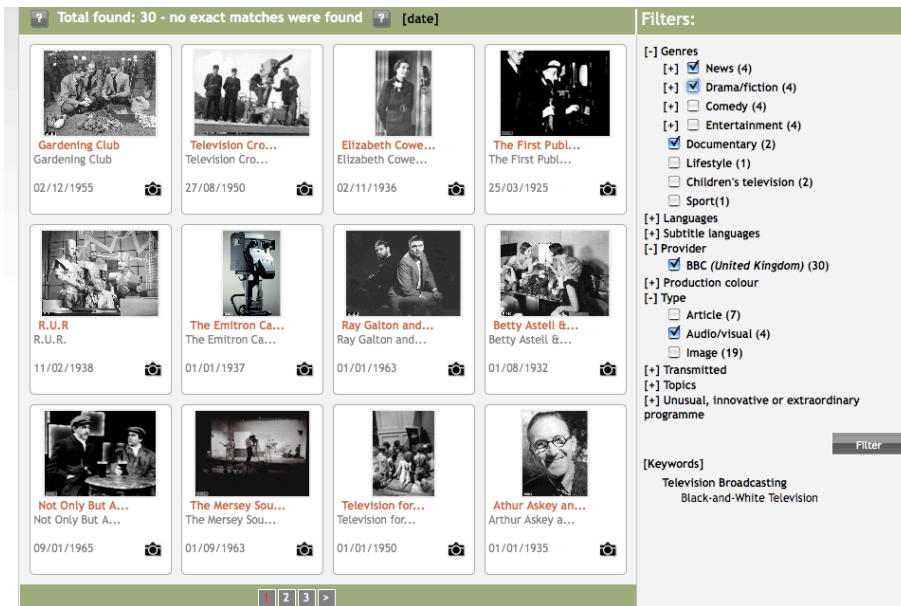


Σχήμα 4.2: Η δομή του προτύπου Dublin Core

Στην ιστοσελίδα του Video Active δίνεται η δυνατότητα αναζήτησης με βάση λέξεις κλειδιά που εισάγει ο χρήστης, όπως στις περισσότερες μηχανές αναζήτησης. Επίσης, αναζήτηση μπορεί να γίνει με βάση τα μεταδεδομένα που περιγράφουν το οπτικοακουστικό υλικό, αλλά και με βάση τη χρονολογική σειρά (timeline). Ακόμα, κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων αναζήτησης, δίνεται η δυνατότητα διεύρυνσης ή περιορισμού των κριτηρίων αναζήτησης με τη βοήθεια φίλτρων αναζήτησης τα οποία επίσης αντιστοιχούν στα μεταδεδομένα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.3.

## 4.2 Απαιτήσεις του συστήματος

Η βασική λειτουργική απαίτηση είναι να κατασκευαστεί μία διαδικτυακή πύλη, μέσω της οποίας να παρέχεται πρόσβαση στο περιεχόμενο τηλεοπτικών αρχείων. Στην Ενότητα αυτή περιγράφουμε τι είδους λειτουργίες πρέπει να αναπτυχθούν για να ικανοποιηθεί



Σχήμα 4.3: Η σελίδα παρουσίασης των αποτελεσμάτων αναζήτησης

αυτός ο σκοπός. Εξετάζουμε καταρχάς τις ομάδες χρηστών που χρησιμοποιούν το Video Active και τους στόχους τους. Στη συνέχεια, με βάση τις απαιτήσεις αυτές προσδιορίζουμε συνοπτικά τις βασικές λειτουργικές και μη λειτουργικές απαιτήσεις του συστήματος.

#### 4.2.1 Ομάδες χρηστών

Το περιεχόμενο των τηλεοπτικών αρχείων περιέχει μεγάλο όγκο πληροφοριών και καλύπτει πολλές θεματικές περιοχές. Το παραπάνω σε συνδυασμό με την υψηλή κοινωνική επίδραση της τηλεόρασης, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το περιεχόμενο των τηλεοπτικών αρχείων ενδιαφέρει πολλές διαφορετικές ομάδες, οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιούν το Video Active. Ακολουθούν οι ομάδες αυτές και οι απαιτήσεις τους, ξεκινώντας από τις ομάδες που αναμένεται να κάνουν μια πιο συμβατική χρήση του συστήματος, έως εκείνες που θα κάνουν πιο εξειδικευμένη χρήση.

- **Γενικοί χρήστες του Παγκόσμιου Ιστού**, οι οποίοι ψάχνουν για πληροφορίες είτε από περιέργεια, ή χρησιμοποιούν το σύστημα σποραδικά ψάχνοντας για κάποια πληροφορία.
- **Ακαδημαϊκοί χρήστες (καθηγητές, φοιτητές)**, οι οποίοι επιθυμούν απλή πρόσβαση σε πιστοποιημένα δεδομένα ώστε να έχουν τη δυνατότητα να τη χρησιμοποιήσουν για διδακτικούς ή ερευνητικούς σκοπούς.
- **Ερευνητές**, οι οποίοι επιθυμούν να έχουν πρόσβαση σε όσο το δυνατόν περισσότερες πηγές και όσο το δυνατόν περισσότερα δεδομένα και ενδιαφέρονται για την

πλήρη τεκμηρίωση των στοιχείων.

- **Επαγγελματικοί χρήστες**, ειδικοί στο χώρο όπως εργαζόμενοι σε αρχεία ή σε βιβλιοθήκες οι οποίοι ψάχνουν και επαληθεύουν πληροφορίες.
- **Κάτοχοι του ψηφιακού περιεχομένου**, οι οποίοι διαχειρίζονται το διαθέσιμο υλικό.

#### 4.2.2 Λειτουργικές Απαιτήσεις

Οι λειτουργικές απαιτήσεις του συστήματος, καθορίζονται από το πώς το σύστημα θα προσφέρει στις ομάδες χρηστών πρόσβαση στην ψηφιακή πληροφορία. Οι πιο βασικές λειτουργικές απαιτήσεις του συστήματος είναι:

- Η σημασιολογική διαλειτουργικότητα ώστε να επιτυγχάνεται η συνένωση πληροφορίας από διαφορετικές πηγές.
- Η τεχνική διαλειτουργικότητα ώστε να υποστηρίζονται διαφορετικές τεχνολογίες οι οποίες χρησιμοποιούνται είτε από τα αρχεία είτε από το σύστημα.
- Η περιγραφή της πληροφορίας με τυπική σημασιολογία μέσω ενός κοινού σχήματος μεταδεδομένων, με την αξιοποίηση προτύπων και σημασιολογικών θησαυρών.
- Η κατασκευή διαπροσωπείας χρήστη για την εύκολη πρόσβαση στο περιεχόμενο.
- Η ανάκτηση των στοιχείων θα πρέπει να είναι γρήγορη και αξιόπιστη, πράγμα που υπονοεί ότι θα πρέπει να επιστρέφεται στο χρήστη αυτό ακριβώς που ψάχνει, και τίποτα περισσότερο ή λιγότερο.
- Η παροχή του ψηφιακού περιεχομένου σε όλες τις ευρωπαϊκές γλώσσες.

#### 4.2.3 Μη λειτουργικές απαιτήσεις

Οι μη λειτουργικές απαιτήσεις του συστήματος αφορούν το πώς το σύστημα θα είναι πιο χρηστικό και θα ικανοποιεί στο μέγιστο βαθμό τις επιθυμίες του χρήστη. Ορισμένες πλευρές για αυτό είναι:

- Η ικανότητα του συστήματος να διαχειρίζεται πολύ μεγάλο όγκο δεδομένων.
- Ο σχεδιασμός της διαπροσωπείας χρήστη να δίνει πολλές διαφορετικές δυνατότητες πλοήγησης στο περιεχόμενο, δηλαδή εκτός από εισαγωγή λέξης, να υπάρχει δυνατότητα αναλυτικής αναζήτησης σε περισσότερα από ένα πεδία, χρονική τοποθέτηση του περιεχομένου, προτάσεις για σχετιζόμενα ψηφιακά αντικείμενα κλπ.
- Η εξασφάλιση της προστασίας των πνευματικών δικαιωμάτων των αρχείων που προσφέρουν το περιεχόμενο.

## 4.3 Αρχές Σχεδίασης

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του συστήματος, ο βασικός σχεδιαστικός στόχος είναι το σύστημα να είναι φιλικό προς το χρήστη, ιδιαίτερα κατά την αναζήτηση και ανάκτηση πληροφορίας, και να περιλαμβάνει διαφορετικές λειτουργικότητες ώστε να καλύπτει όλες τις ομάδες χρηστών. Με βάση τα κριτήρια που τίθενται από τους χρήστες έχει σχεδιαστεί και η τεχνική δομή του συστήματος, η οποία θα παρουσιαστεί συνοπτικά στις επόμενες ενότητες.

### 4.3.1 Αρχιτεκτονική

Η δομή του Video Active αποτελείται από μία σειρά υπομονάδων καθε μία από τις οποίες παίζει διαφορετικό ρόλο στο συνολικό σύστημα. Διαφορετικές υπομονάδες είναι υπεύθυνες για το ανέβασμα του υλικού, την τεκμηρίωσή του, την κωδικοποίησή του, την περιγραφή του με λέξεις-κλειδιά και τις λειτουργίες αναζήτησης. Η αρχιτεκτονική του συστήματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.4. Το σύστημα αξιοποιεί τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού, οι οποίες εξελίσσουν τη δυνατότητα απάντησης επερωτημάτων σε σχέση με το σημερινό ιστό και επιτρέπουν τη σημασιολογική διαλειτουργικότητα με άλλα ψηφιακά αρχεία διαφορετικής δομής. Οι τεχνολογίες αυτές αφορούν, καταρχάς, τη σημασιολογική αναπαράσταση των μεταδεδομένων με τη βοήθεια της γλώσσας RDF<sup>3</sup>, η οποία παρέχει κάποιες, περιορισμένες, υπηρεσίες συλλογιστικής καθώς και τη δυνατότητα συγχώνευσης μεταδεδομένων από άλλες πηγές. Για την εκτέλεση επερωτημάτων χρησιμοποιείται η γλώσσα SPARQL RDF<sup>4</sup>. Επιπλέον, οι λέξεις κλειδιά που περιγράφουν το ψηφιακό υλικό προέρχονται από ένα σημασιολογικό θησαυρό, ο οποίος έχει σχεδιαστεί με βάση το πρότυπο SKOS<sup>5</sup> (Simple Knowledge Organisation System). Έτσι, τα δεδομένα και οι όροι του θησαυρού έχουν αποθηκευτεί με τη μορφή RDF-triples στο σημασιολογικό αποθετήριο Sesame [15]. Με αυτό τον τρόπο, δίνεται η δυνατότητα εκτέλεσης συνδυασμένων επερωτημάτων και ανάκτησης υπονοούμενης γνώσης από τα μεταδεδομένα. Για όσα δεδομένα δεν απαιτείται σημασιολογική αναπαράσταση, χρησιμοποιείται το σχεσιακό μοντέλο οργάνωσης Βάσεων Δεδομένων και τεχνικές αναζήτησης κειμένου, τα οποία έχουν χαμηλότερη υπολογιστική πολυπλοκότητα, ώστε να βελτιώνεται η επίδοση του συνολικού συστήματος.

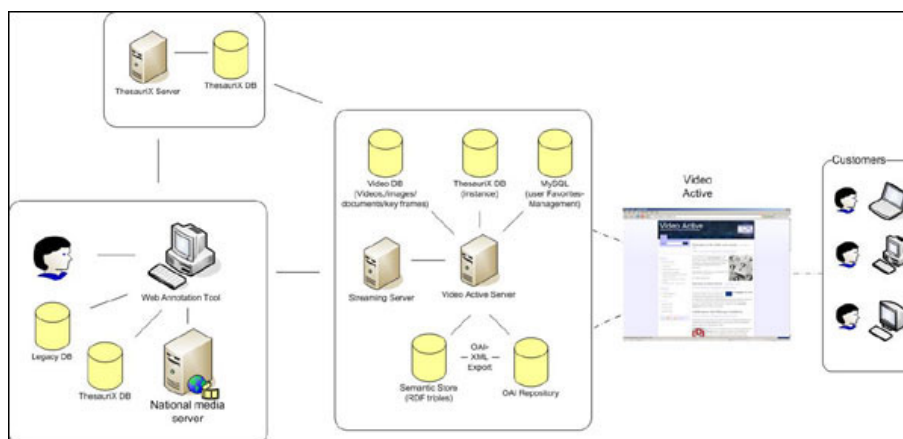
### 4.3.2 Σημασιολογική αποθήκευση και αναζήτηση

Τα οπτικοακουστικά αρχεία που παρέχουν το ψηφιακό υλικό ακολουθούν διαφορετικές προσεγγίσεις για την περιγραφή και ταξινόμηση του υλικού, με αποτέλεσμα να είναι

<sup>3</sup><http://www.w3.org/RDF/>

<sup>4</sup><http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>

<sup>5</sup><http://www.w3.org/2004/02/skos/>



Σχήμα 4.4: Η αρχιτεκτονική του συστήματος

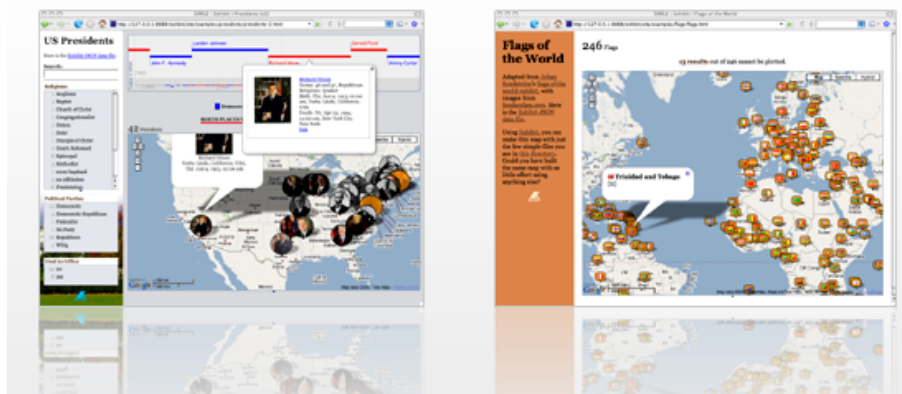
απαραίτητο το Video Active να μπορεί να διαχειρίζεται μεταδεδομένα από ετερογενείς πηγές. Το πρόβλημα αυτό επιλύεται με την οργάνωση των μεταδεδομένων με βάση το πρότυπο Dublin Core, εμπλουτισμένο με επιπλέον στοιχεία, όπως το Είδος (Genre) και ο τίτλος στην αγγλική γλώσσα, ώστε να καλύπτονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του υλικού. Τα μεταδεδομένα για την αναπαραγωγή των video παράγονται αυτόματα, και αναπαρίστανται με βάση το πρότυπο MPEG-7.

Η διαδικασία τεκμηρίωσης (annotation) των δεδομένων, εκτός από χειροκίνητα, μπορεί να γίνει με ημι-αυτόματο τρόπο. Για τη δεύτερη περίπτωση, τα αρχεία διαθέτουν αντιστοιχίσεις με τα στοιχεία του Dublin Core. Για όσα στοιχεία δεν είναι δυνατό να βρεθεί αντιστοίχιση με το Dublin Core, γίνεται χειροκίνητη εισαγωγή με χρήση του εργαλείου Web Annotation Tool [20]. Με αυτό τον τρόπο εισάγονται επίσης τα μεταδεδομένα που σχετίζονται με την αναπαραγωγή του υλικού και γίνεται η μετατροπή της κωδικοποίησής του ώστε να μπορεί να αναπαραχθεί από τον Flash και Windows Media server. Το Web Annotation Tool παράγει ένα αρχείο XML το οποίο στη συνέχεια μετατρέπεται σε RDF triples οι οποίες αποθηκεύονται στη σημασιολογική αποθήκη Sesame. Η αναζήτηση και ανάκτηση του υλικού γίνεται με συνδυασμό της γλώσσας SPARQL (για επερωτήματα πάνω στα RDF triples) και της υψηλής επίδοσης βιβλιοθήκης μηχανών αναζήτησης κειμένου Lucene[29]. Η σημασιολογική αναζήτηση βελτιστοποιεί σημαντικά την ανάκτηση στοιχείων, καθώς η αναζήτηση για μία έννοια, επιστρέφει επίσης δεδομένα που σχετίζονται με έννοιες που υπάγονται στην αρχική έννοια.

### 4.3.3 Πολυγλωσσική πρόσβαση

Το Video Active υποστηρίζει 15 διαφορετικές γλώσσες. Η πολυγλωσσική πρόσβαση αποτελεί βασικό σχεδιαστικό στόχο, και επομένως καλύπτει κάθε πλευρά της λειτουργίας του συστήματος. Καταρχάς, έχουν σχεδιαστεί διαφορετικές διαπροσωπείες για καθεμία

από τις γλώσσες που υποστηρίζονται. Ακόμα, τα πιο βασικά μεταδεδομένα, όπως ο τίτλος ή η περιγραφή, είναι μεταφρασμένα στην αγγλική γλώσσα, ενώ για τα μεταδεδομένα που αφορούν λέξεις-κλειδιά, είδος και τοποθεσία χρησιμοποιούνται ελεγχόμενα λεξιλόγια σε όλες τις γλώσσες που υποστηρίζονται. Το λεξιλόγιο για τις λέξεις-κλειδιά προέρχεται από το θησαυρο 1500 όρων του IPTC <sup>6</sup> (International Press and Telecom Council), ο οποίος έχει μεταφραστεί σε 11 γλώσσες για το Video Active. Το λεξιλόγιο για τα είδη προέρχεται από το ESCORT 2007 EBU System of Classification of Radio and Television Programmes [26] και για γεωγραφικούς όρους χρησιμοποιείται ο θησαυρός ISO 3166 English Country Names and Code Elements <sup>7</sup>. Για τη μετάφραση και την εξαγωγή των όρων του θησαυρού σε μορφή XML, χρησιμοποιείται η εφαρμογή ThesauriX. Η σημασιολογική διαλειτουργικότητα επιτυγχάνεται με τη μετατροπή της ταξινόμιας του θησαυρού με βάση το πρότυπο SKOS. Το πρότυπο SKOS είναι η πρόταση της W3C (World Wide Web Consortium) για την αναπαράσταση ταξονομιών θησαυρού. Το πρότυπο SKOS έχει σχεδιαστεί με σκοπό τη διευκόλυνση σημασιολογικής ανάκτησης μεταδεδομένων και τη δημιουργία σημασιολογικών θησαυρών. Τέλος, έχει χρησιμοποιηθεί το framework SIMILE <sup>8</sup> για την παρουσίαση του υλικού σε χρονολογική σειρά (timeline), ώστε να είναι δυνατό να εξεταστεί η πορεία της ευρωπαϊκής τηλεόρασης στο πέρασμα του χρόνου.



Σχήμα 4.5: Στιγμιότυπο του framework SIMILE

## 4.4 Το σχήμα μεταδεδομένων του Video Active

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζεται το σχήμα μεταδεδομένων που χρησιμοποιεί το Video Active. Το σχήμα μεταδεδομένων έχει σχεδιαστεί σε γλώσσα XML. Υπάρχει ιε-

<sup>6</sup><http://www.iptc.org/>

<sup>7</sup>[http://www.iso.org/iso/english\\_country\\_names\\_and\\_code\\_elements](http://www.iso.org/iso/english_country_names_and_code_elements)

<sup>8</sup><http://www.simile-widgets.org/exhibit/>

ραρχική δομή με βάθος δύο επιπέδων, όμως η σημασιολογία δεν προέρχεται κυρίως από την ιεραρχική δομή αλλά από την ονοματολογία των XML elements που περιγράφουν τα ψηφιακά τεκμήρια. Αναλυτικά το σχήμα μεταδεδομένων παρουσιάζεται στο Παράρτημα Α.

Στο σχήμα χρησιμοποιούνται 7 σύνθετοι τύποι (complex types) δεδομένων, οι οποίοι διαχωρίζουν εννοιολογικά τα μεταδεδομένα που αναπαρίστανται στο Video Active. Οι σύνθετοι τύποι που αναπαριστούν τα μεταδεδομένα είναι:

1. **VAType** → ψηφιακό περιεχόμενο του Video Active
2. **keywordType** → λέξεις-κλειδιά
3. **timeParameterType** → χρονική διάρκεια ενός video
4. **contributorType** → πρόσωπα που συμμετείχαν στην παραγωγή ενός προγράμματος
5. **significanceType** → σημασία του προγράμματος για την ευρωπαϊκή τηλεόραση
6. **classificationType** → είδος (genre) του προγράμματος
7. **metadataType** → μεταδεδομένα για την αναπαραγωγή video

Τέλος, ο Πίνακας 4.1 περιέχει τη σημασιολογία των XML elements που χρησιμοποιούνται, έτσι ώστε να παρουσιαστεί πιο αναλυτικά η επιλογή των μεταδεδομένων του Video Active. Σημειώνεται ότι η περιγραφή του ψηφιακού υλικού που χρησιμοποιήθηκε εδώ, μπορεί να έχει γενική εφαρμογή για την περιγραφή πολιτιστικών μεταδεδομένων, και έχει σε γενικές γραμμές ακολουθηθεί και στο σχεδιασμό της οντολογίας για την παρούσα εργασία.



<b>Χαρακτηριστικό</b>	<b>Περιγραφή</b>	<b>Τύπος</b>
materialType	Ο τύπος του ψηφιακού υλικού, αν είναι video, εικόνα, ήχος κλπ	string
title	Τίτλος του ψηφιακού αντικειμένου	string
episodeTitle	Τίτλος επεισοδίου	string
alternativeTitle	Εναλλακτικός τίτλος	string
englishProgramTitle	Τίτλος του ψηφιακού αντικειμένου στα αγγλικά	string
englishEpisodeTitle	Τίτλος του ψηφιακού αντικειμένου στα αγγλικά	string
subject	Θέμα του ψηφιακού αντικειμένου	string
abstract	Περίληψη περιγραφής	string
englishAbstract	Περίληψη περιγραφής στα αγγλικά	string
description	Περιγραφή περιεχμένου	string
keywords	Λέξεις-κλειδιά	keywordType
creator	Δημιουργός του ψηφιακού αντικειμένου	string
publisher	Υπεύθυνος για τη δημοσίευση του αντικειμένου	string
owner	Κάτοχος των δικαιωμάτων του αντικειμένου	string
rights	Πληροφορίες για τα δικαιώματα πάνω στο ψηφιακό αντικείμενο	string
ipr	Πνευματικά δικαιώματα (intellectual property rights)	string
coverageSpatial	Γεωγραφικές συντεταγμένες του αντικειμένου	keyword
relation	Αναφορά σε σχετικές πηγές	string

source	Αναφορά στην πηγή προέλευσης του αντικειμένου	string
identifier	Αναγνωριστικός κωδικός του αντικειμένου	string
yearCreated	Έτος παραγωγής	string
dateTransmitted	Ημερομηνία πρώτης προβολής	string
assetType	Ορίζει αν το ψηφιακό αντικείμενο είναι πλήρες πρόγραμμα ή απόσπασμα	string
assetTime	Χρονική διάρκεια	timeParamType
language	Γλώσσα	string
subtitleLanguage	Γλώσσα υποτίτλων	string
contributor	Συντελεστές του ψηφιακού αντικειμένου	contributorType
productionPlatform	Πλατφόρμα παραγωγής του αντικειμένου (film, digital camera etc)	string
assetColour	Χρώμα παραγωγής	string
productionSpace	Χώρος παραγωγής (στούντιο, με κοινό, κλπ)	string
significance	Αν το αντικείμενο έχει κάποια ιδιαίτερη σημασία ώστε να γίνει αντικείμενο μελέτης (πχ καινοτομία, κάλυψη ιστορικών γεγονότων)	significanceType
dimension	Αν το περιεχόμενο του αντικειμένου απασχόλησε σε εθνικό ή διεθνές επίπεδο	string
info	Αναλυτικές πληροφορίες σε σχέση με το αντικείμενο	string
classification	Είδος	string
topic	Θεματική περιοχή που καλύπτει το αντικείμενο	string
dateSubmitted	Ημερομηνία υποβολής του αντικειμένου	date
modified	Ημερομηνία τελευταίας μορφοποίησης	date
completeContent	Αν το αντικείμενο αποτελεί το σύνολο της πηγής ή ένα τμήμα της (π.χ. κάποια επεισόδια μίας σειράς)	integer
metadata	Μεταδεδομένα για την αναπαραγωγή video	metadataType

Πίνακας 4.1: Περιγραφή των XML elements



# Κεφάλαιο 5

## Ανάπτυξη της οντολογίας του Video Active

### 5.1 Επισκόπηση

Οι Περιγραφικές Λογικές αποτελούν ένα πολύ ισχυρό εργαλείο για την εννοιολογική μοντελοποίηση ενός πεδίου αναφοράς, καθώς παρέχουν στο μηχανικό γνώσης πολύ περισσότερες δυνατότητες από ότι οποιοσδήποτε άλλος φορμαλισμός. Ορισμένες από αυτές τις δυνατότητες είναι:

- Η *οντολογική οργάνωση (ontological organization)* της γνώσης, χάρη στην οποία είναι δυνατό να καλυφθούν οι βασικές πτυχές της σημασιολογίας των δεδομένων και να περιγραφούν οι ιδιότητες περίπλοκων εννοιών.
- Ο *έλεγχος ορθότητας (consistency checking)*, με τον οποίο ελέγχεται η συνέπεια μίας έννοιας σε σχέση με τη συνολική βάση γνώσης, επομένως εξασφαλίζεται η έλλειψη λογικών αντιφάσεων στη γνώση που έχει αναπαρασταθεί.
- Η *εισαγωγή των δεδομένων (data entry)* από τον κατασκευαστή της Βάσης Γνώσης, η οποία μπορεί να καλύπτει μόνο τις ιδιότητες τις οποίες είναι γνωστό ότι διαθέτει το κάθε αντικείμενο. Για τις υπόλοιπες ιδιότητες, ο *μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων* εξάγει λογικούς ισχυρισμούς για τα άτομα που συνεπάγονται από τη βάση γνώσης, προσθέτοντας νέα γνώση.
- Η *οργάνωση της γνώσης σε ταξινόμια (views organization)*, που προσδίδει στις έννοιες του σώματος ορολογίας σαφές νόημα και προσδιορίζει πόσο γενικές ή πόσο ειδικές είναι. Με αυτό τον τρόπο, η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση δεδομένων γίνεται ευκολότερη.

- Η ανακάλυψη ισοδύναμων περιγραφών (*schema refinement*) μέσω του μηχανισμού εξαγωγής συμπερασμάτων που επιτρέπει τη βελτιστοποίηση και τη συντόμευση μεγάλων Βάσεων Γνώσης.

Λόγω των σημαντικών αυτών δυνατοτήτων, στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, αναπτύχθηκε σε Περιγραφική Λογική μία οντολογία η οποία περιγράφει τα μεταδεδομένα του Video Active. Σκοπός της εργασίας είναι να αναδείξει τα πλεονεκτήματα της μοντελοποίησης με χρήση οντολογιών και να παρουσιάσει μία μέθοδο για τη σημασιολογική αναπαράσταση πολιτιστικών μεταδεδομένων γενικά.

Για τη μοντελοποίηση μελετήθηκε το πρότυπο Dublin Core, στο οποίο βασίζεται η περιγραφή των μεταδεδομένων τόσο στο Video Active όσο και στις περισσότερες πηγές πολιτιστικών μεταδεδομένων. Λήφθηκαν υπόψη επίσης το σχήμα μεταδεδομένων που παρουσιάζεται στην Ενότητα 4.4, τα RDF-triples των μεταδεδομένων όπως αναπαρίστανται στη σημασιολογική αποθήκη Sesame και η παρουσίαση των δεδομένων στην ιστοσελίδα του Video Active. Να σημειωθεί ότι αν και θα αναμενόταν το αντίθετο, υπήρχαν ορισμένες διαφορές ανάμεσα στις τρεις αυτές προσεγγίσεις, οι οποίες αφορούσαν κατά κύριο λόγο τη σημασιολογία των εννοιών και όχι την επιλογή των μεταδεδομένων που περιγράφει το ψηφιακό περιεχόμενο. Για παράδειγμα, για το μεταδεδομένο Significance, υπήρχε στα RDF-triples και στο σχήμα μεταδεδομένων ιεραρχία βάθους δύο, ενώ στην ιστοσελίδα του Video Active η ιεραρχία αυτή έχει καταργηθεί με την αφαίρεση από το πεδίο “Significance” υποκατηγοριών (όπως το Typical Significance). Σε τέτοιες περιπτώσεις, έγινε προσπάθεια η οντολογία να περιλαμβάνει όλα τα μεταδεδομένα που υπάρχουν, ώστε να είναι συμβατή και με τις τρεις αναπαραστάσεις. Ένα ακόμα παράδειγμα για το παραπάνω αποτελεί η συλλογή άρθρων του Video Active. Πρόκειται για άρθρα ορισμένα από τα οποία συνδέονται με τα ψηφιακά αντικείμενα, ενώ τα υπόλοιπα έχουν γενικό ενδιαφέρον καθώς περιγράφουν διάφορες πλευρές της ιστορίας των ευρωπαϊκών τηλεοράσεων. Αν και τα άρθρα δεν αναπαρίστανται ως RDF-triples, αντιμετωπίζονται από το video active ως κομμάτι του περιεχομένου του, οπότε είναι σημασιολογικά πιο σωστό να συμπεριληφθεί η περιγραφή τους στην οντολογία. Άλλωστε, ο βασικός σκοπός της εργασίας είναι να μελετηθούν οι δυνατότητες εννοιολογικής μοντελοποίησης για πολιτιστικά μεταδεδομένα συνολικά, επομένως δόθηκε προτεραιότητα στη σωστή σημασιολογική αναπαράσταση των μεταδεδομένων.

## 5.2 Σχεδιασμός της οντολογίας

Για την εννοιολογική μοντελοποίηση και τον αρχικό σχεδιασμό της οντολογίας χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία που περιγράφεται στην Ενότητα 3.9. Παρακάτω, γίνεται μια αναλυτική περιγραφή των βημάτων που ακολουθήθηκαν με βάση τη μεθοδολογία αυτή.

Η εκφραστικότητα της οντολογίας είναι  $SHOIF(D)$ . Να σημειωθεί ότι η οντολογία αναπτύχθηκε σε γλώσσα OWL 2 στο εργαλείο Protégé.

### **Βήμα 1-Προσδιορισμός των ατόμων του πεδίου αναφοράς**

Η ανάπτυξη της οντολογίας ξεκινά από τον προσδιορισμό των ξεχωριστών οντοτήτων του πεδίου αναφοράς. Μοντελοποιούμε σαν αντικείμενα όλα τα στοιχεία του κόσμου που αποτελούν διακριτές οντότητες. Με αυτή την έννοια, ως άτομα για την παρούσα οντολογία θα αναπαρίστανται καταρχάς τα αντικείμενα που αποτελούν οντότητες του υλικού, όπως DIGITAL\_CONTENT24, ARTICLE61 (στο Video Active, άρα και στο ABox αυτά αναφέρονται με τη μορφή VA\_BBC20070917125530792, αλλά εδώ χρησιμοποιούμε τον παραπάνω ορισμό για λόγους απλότητας). Ακόμα, οι διάφοροι συντελεστές (contributors) για την παραγωγή ενός ψηφιακού αντικειμένου αποτελούν επίσης άτομα του κόσμου π.χ. CONTRIBUTOR1, CONTRIBUTOR240. Άτομα του κόσμου αποτελούν επίσης οι γλώσσες που υποστηρίζονται π.χ. ENGLISH, SPANISH, οι φορείς που παρέχουν το ψηφιακό υλικό π.χ. BBC, TVC. Τέλος, ως άτομα του κόσμου αναπαρίστανται επίσης οι λέξεις-κλειδιά (και οι γεωγραφικοί προσδιορισμοί των ψηφιακών αντικειμένων, οι οποίοι αντιμετωπίζονται επίσης ως λέξεις-κλειδιά) π.χ. SPORTS, NETHERLANDS. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι αν και η έννοια “Sports”, εν γένει δεν αποτελεί διακριτό αντικείμενο του κόσμου, στους σημασιολογικούς θησαυρούς αντιμετωπίζεται ως τέτοιο, με τη λογική ότι αποτελεί μία διακριτή λέξη ή έννοια η οποία περιγράφει κάποιο αντικείμενο.

### **Βήμα 2 - Απαρίθμηση των εννοιών που ομαδοποιούν τα άτομα**

Για την ομαδοποίηση των ατόμων σε έννοιες είναι απαραίτητο να μελετηθεί ποια είναι η φύση της αναπαράστασης του υλικού και στο ίδιο το Video Active, αλλά και γενικότερα, όταν το πεδίο αναφοράς αναφέρεται στον πολιτισμό. Καταρχάς, όλα τα αντικείμενα του υλικού ομαδοποιούνται σε μία έννοια, που ονομάζεται Material. Ακόμα, κάποια αντικείμενα έχουν την ιδιότητα να αποτελούν ψηφιακό περιεχόμενο ενώ άλλα έχουν την ιδιότητα να είναι άρθρα, οπότε με βάση αυτή την ιδιότητα ομαδοποιούνται στις έννοιες DigitalContent και Article αντίστοιχα. Με βάση το διαχωρισμό αυτό το υλικό έχει μία σειρά από ιδιότητες που πρέπει να εξεταστούν. Ξεκινάμε από τα ψηφιακά αντικείμενα εξετάζοντας τις ιδιότητές τους ως προς μια σειρά από πλευρές όπως η παραγωγή, το περιεχόμενο, η κοινωνική επίδραση.

1. Μελετώντας τη διαδικασία παραγωγής των ψηφιακών αντικειμένων, παρατηρούμε ότι ο τύπος τους είναι διαφορετικός. Κάποια ψηφιακά αντικείμενα έχουν μορφή video και άλλα μορφή εικόνας. Επομένως, δημιουργούμε τις έννοιες Video, Image. Επιπλέον, τα ψηφιακά αντικείμενα διαχωρίζονται με βάση την ιδιότητά τους να έχουν διαφορετικές πλατφόρμες παραγωγής (ψηφιακή κάμερα, φιλμ, video, ζωντανή

μετάδοση). Με βάση αυτό, κατασκευάζουμε τις κλάσεις DigitalContentShotInDigital, DigitalContentShotOnFilm, DigitalContentShotOnVideo και LiveProgram. Δεδομένου ότι υπάρχουν ψηφιακά αντικείμενα με άγνωστη πλατφόρμα παραγωγής, είναι πιο σωστό αυτή η έλλειψη γνώσης να αναπαρίσταται στην οντολογία, οπότε αυτά τα ψηφιακά αντικείμενα ομαδοποιούνται στην κλάση DigitalContentShotOnUnknownPlatform. Μία άλλη ιδιότητα είναι το *χρώμα* παραγωγής των αντικειμένων οπότε ανάλογα με αυτή τους την ιδιότητα τα άτομα εντάσσονται σε μία από τις κλάσεις BlackAndWhiteDigitalContent, ColouredDigitalContent και MixedColoursDigitalContent. Σε σχέση με το χώρο παραγωγής τα ψηφιακά αντικείμενα ομαδοποιούνται στις έννοιες DigitalContentRecordedInStudioWithAudience, DigitalContentRecordedInStudioWithoutAudience, DigitalContentRecordedOnLocation, LiveProgramOrOutsideBroadcast και για λόγους μοντελοποίησης της γνώσης που διαθέτουμε DigitalContentWithUnknownProductionSpace. Τέλος, ανάλογα με το αν το ψηφιακό αντικείμενο αποτελεί ολόκληρο πρόγραμμα ή απόσπασμα προγράμματος εντάσσουμε τα ψηφιακά αντικείμενα στις έννοιες WholeProgram και Clip.

2. Εξετάζοντας το *περιεχόμενο* κάθε ψηφιακού αντικειμένου συναντάμε καταρχάς τις *θεματικές περιοχές* στις οποίες εντάσσονται. Διακρίνουμε 34 διαφορετικές θεματικές περιοχές, και δημιουργούμε μία έννοια με στιγμιότυπα τα ψηφιακά αντικείμενα για καθεμία από αυτές π.χ. DigitalContentAboutSexualRevolution, DigitalContentAboutNationalHolidays, DigitalContentAboutFashion κλπ. Ακόμα, ομαδοποιούμε τα ψηφιακά αντικείμενα ανάλογα με το είδος του προγράμματος στο οποίο ανήκουν όπως Advertisement, News, Entertainment, TalkShow.
3. Από τη σκοπιά της *κοινωνικής επίδρασης* των ψηφιακών αντικειμένων, κατατάσσουμε τα ψηφιακά αντικείμενα σε έννοιες που αφορούν τη σημασία τους στην ιστορία της ευρωπαϊκής τηλεόρασης. Υπάρχουν ψηφιακά αντικείμενα με εξαιρετική σημασία, είτε επειδή εκπροσωπούν κάποια καινοτομία για την τηλεόραση, είτε επειδή είναι δημοφιλή, είτε επειδή καλύπτουν κάποιο ιστορικό γεγονός ή παρουσιάζουν μία σημαντική προσωπικότητα. Τέτοια αντικείμενα εντάσσονται σε έννοιες όπως DigitalContentWithExceptionalSignificance, InnovativeDigitalContent/Technology, SeasonalSpecial κλπ. Άλλα ψηφιακά αντικείμενα έχει σημασία να μελετηθούν επειδή είναι αντιπροσωπευτικά για την εποχή τους, τη χώρα προέλευσής τους ή το είδος τους. Αυτά εντάσσονται σε έννοιες όπως DigitalContentWithTypicalSignificance, DigitalContentWithTypicalStyleForGenre. Ακόμα, η μελέτη της κοινωνικής επίδρασης απαιτεί τον προσδιορισμό για το αν το κάθε ψηφιακό αντικείμενο είχε κοινωνική επίδραση σε ευρωπαϊκές ή παγκόσμιες διαστάσεις. Έτσι δημιουργούνται οι έννοιες: DigitalContentWithNationalOrEuropeanDimensions και DigitalContentWithWorldwideDimensions. Τέλος, είναι σημαντικό να τοποθετήσουμε τα ψηφιακά αντικείμενα στο

χρόνο, και καθώς δεν είναι εφικτό να λειτουργήσει η διαδικασία συλλογιστικής με τύπους δεδομένων (πχ συγκρίσεις ανάμεσα σε ημερομηνίες) κατατάσσουμε τα ψηφιακά αντικείμενα στη δεκαετία προβολής τους, περιγράφοντας έτσι συνολικότερα την εποχή κατά την οποία δημιουργήθηκαν. Δημιουργούνται κλάσεις της μορφής `TransmittedIn1930s`, `TransmittedIn1940s` κλπ.

Αντίστοιχα, για τα άρθρα παρατηρούμε ότι ορισμένα από αυτά περιγράφουν ψηφιακό περιεχόμενο, οπότε τα εντάσσουμε στην έννοια `ArticleThatDescribesDigitalContent`. Από την άλλη τα άρθρα γενικού ενδιαφέροντος πάνω σε κάποιο θέμα τα κατατάσσουμε ανάλογα με τη θεματολογία τους δημιουργώντας κλάσεις όπως `ArticleOnEvents`, `ArticleOnProgrammes`.

Τα άτομα που αφορούν συντελεστές παραγωγής του ψηφιακού αντικειμένου εντάσσονται στην έννοια `Contributor`, οι γλώσσες εντάσσονται στην έννοια `Language` και οι φορείς που παρέχουν το υλικό ομαδοποιούνται στην έννοια `Provider`. Τέλος, οι λέξεις-κλειδιά και οι γεωγραφικοί όροι ομαδοποιούνται στην έννοια `Concept`, η οποία είναι έννοια της οντολογίας του SKOS, η οποία θα παρουσιαστεί αναλυτικότερα στην Ενότητα 5.3.

### Βήμα 3 - Διαχωρισμός ατομικών εννοιών από ρόλους σχέσεων

Οι έννοιες που περιγράφηκαν παραπάνω, είναι στην πλειοψηφία τους ατομικές έννοιες, με την έννοια ότι προσδιορίζουν τα στιγμιότυπα τους χωρίς να απαιτείται η ύπαρξη κάποιας σχέσης με ένα άλλο αντικείμενο. Μόνη εξαίρεση αποτελεί η έννοια `ArticleThatDescribesDigitalContent` η οποία απαιτεί την πράξη της περιγραφής ενός ψηφιακού αντικειμένου, ενώ χωρίς αυτήν ένα άρθρο θεωρείται γενικού ενδιαφέροντος. Επομένως η έννοια αυτή μοντελοποιείται σαν ρόλος σχέσεων ως εξής:

$$\text{ArticleThatDescribesDigitalContent} \equiv \exists \text{describes.DigitalContent}$$

### Βήμα 4 - Ανάπτυξη της ταξονομίας των εννοιών

Οι έννοιες που περιγράφουν το ψηφιακό περιεχόμενο, μπορούν να οργανωθούν μία ταξονομία. Η πιο γενική έννοια είναι προφανώς η έννοια `Material` με υποέννοιες τις `Article` και `DigitalContent`:

$$\text{Article} \sqsubseteq \text{Material}$$

$$\text{DigitalContent} \sqsubseteq \text{Material}$$

Η έννοια `DigitalContent` έχει υποέννοιες όλες τις έννοιες που περιγράφηκαν παραπάνω για τις επιμέρους ιδιότητες των ψηφιακών αντικειμένων. Για λόγους κατανόησης του υλικού ορίζουμε μία σειρά από έννοιες οι οποίες ομαδοποιούν τις έννοιες με βάση την



πλευρά εξέτασης των ιδιοτήτων του αντικειμένου, όπως DigitalContentWithTopic, DigitalContentWithType, TransmittedInDecade. Οι έννοιες αυτές δεν προσθέτουν κάτι ως προς τη σημασιολογία του πεδίου αναφοράς, όμως μπορούμε να πούμε ότι λόγω κληρονομικότητας, εκφράζουν τη γνώση μας για τον κόσμο ως προς την κάθε πλευρά μελέτης του υλικού, πχ ένα αντικείμενο που ανήκει στην κλάση DigitalContentWithProductionColour θα πρέπει να ανήκει σε μία από τις κλάσεις BlackAndWhite, Coloured ή Mixed, οπότε από τη συμμετοχή στην πιο γενική έννοια βγαίνει το συμπέρασμα ότι το χρώμα παραγωγής του αντικειμένου αυτού είναι γνωστό. Μερικά παραδείγματα για τη δομή των εννοιών αυτών παρουσιάζονται παρακάτω:

DigitalContentWithType	⊆	DigitalContent
DigitalContentOnPlatform	⊆	DigitalContent
Video	⊆	DigitalContentWithType
Image	⊆	DigitalContentWithType
DigitalContentShotOnFilm	⊆	DigitalContentOnPlatform
DigitalContentShotOnUnknownPlatform	⊆	DigitalContentOnPlatform
Clip	⊆	DigitalContentWithAssetType
DigitalContentWithWorldwideDimension	⊆	DigitalContentWithDimension
BlackAndWhiteDigitalContent	⊆	DigitalContentWithProductionColour
TransmittedIn1960s	⊆	TransmittedInDecade

Για την αναπαράσταση της σημασιολογίας των εννοιών που αφορούν το τηλεοπτικό είδος (Genre) και τη σημασία (Significance) στην ιστορία των ευρωπαϊκών τηλεοράσεων, είναι απαραίτητο να κατασκευαστεί ιεραρχική δομή βάθους 2. Και εδώ κατασκευάζουμε για λόγους ευκολότερης κατανόησης της έννοιες DigitalContentWithGenre και DigitalContentWithSignificance, όμως επιπλέον κατασκευάζουμε ταξινόμια και για τα τηλεοπτικά είδη και τη σημασία του ψηφιακού περιεχομένου λόγω της σημασιολογίας. Για παράδειγμα, ένα Talk Show είναι ψυχαγωγικό πρόγραμμα, αυτό εκφράζεται με την πρόταση TalkShow ⊆ Entertainment. Έτσι, η λογική ανάπτυξης της ταξινόμιας για τις έννοιες αυτές είναι:

DigitalContentWithGenre	⊆	DigitalContent
News	⊆	DigitalContentWithGenre
PoliticsAndIssuesProgram	⊆	News
Comedy	⊆	DigitalContentWithGenre
Satire	⊆	Comedy

Sitcom	⊆	Comedy
DigitalContentWithSignificance	⊆	DigitalContent
DigitalContentWithExceptionalSignificance	⊆	DigitalContentWithSignificance
DigitalContentAboutCelebritiesAndStars	⊆	DigitalContentWithExceptionalSignificance
PopularDigitalContent	⊆	DigitalContentWithExceptionalSignificance

Για τα άρθρα, η έννοια Article έχει υποέννοιες τις ArticleThatDescribesDigitalContent και ArticleWithTopic. Η τελευταία έννοια συγκεντρώνει τα γενικά άρθρα πάνω στην ιστορία της ευρωπαϊκής τηλεόρασης. Τα άρθρα που ομαδοποιούνται σε αυτή την κλάση εντάσσονται επίσης σε υποκλάσεις ανάλογα με το θέμα τους, όπως ArticleOnEvents, ArticleOnTechnology. Η ταξινόμηση για τα άρθρα παρουσιάζεται παρακάτω:

ArticleThatDescribesDigitalContent	⊆	Article
ArticleWithTopic	⊆	Article
ArticleOnInstitutions	⊆	ArticleWithTopic
ArticleOnWatching	⊆	ArticleWithTopic

Οι έννοιες Contributor, Language και Provider, δεν έχουν υποέννοιες.

Σε αυτό το σημείο έχει σημασία να ορίσουμε σε ποιες περιπτώσεις είναι σημασιολογικά σωστό να ορίσουμε ποιες έννοιες θα είναι ξένες μεταξύ τους. Ένα ψηφιακό αντικείμενο, μπορεί να ανήκει σε περισσότερες από μία θεματικές περιοχές ή σε περισσότερα από ένα τηλεοπτικά είδη, επομένως όλες οι έννοιες που αναφέρονται στο περιεχόμενο των ψηφιακών αντικειμένων, π.χ. οι υποέννοιες των κλάσεων DigitalContentWithTopic, DigitalContentWithGenre δεν μπορεί να είναι ξένες μεταξύ τους. Αντίθετα οι κλάσεις που αναφέρονται στη διαδικασία παραγωγής του ψηφιακού υλικού ή στο χρόνο μετάδοσης πρέπει να είναι μεταξύ τους ξένες, γιατί για παράδειγμα ένα ψηφιακό αντικείμενο που έχει τύπο Video, δεν μπορεί ταυτόχρονα να έχει τύπο εικόνα ( $\text{Video} \sqcap \text{Image} \equiv \perp$ ), ή ένα πρόγραμμα που μεταδόθηκε τη δεκαετία του '50 δεν μπορεί να μεταδόθηκε τη δεκαετία του '90 ( $\text{TransmittedIn1950s} \sqcap \text{TransmittedIn1980s} \equiv \perp$ ).

### Βήμα 5 - Προσδιορισμός ονοματικών εννοιών

Στην οντολογία αυτή, υπάρχουν άτομα, τα οποία είναι στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος σε κάθε περίπτωση και με τα οποία συνδέονται όλα τα ψηφιακά αντικείμενα. Τα αντικείμενα αυτά είναι οι φορείς που παρέχουν το ψηφιακό υλικό, δηλαδή τα άτομα της κλάσης Provider και οι γλώσσες που υποστηρίζονται, δηλαδή τα άτομα της κλάσης Language. Οι έννοιες αυτές μοντελοποιήθηκαν ως ονοματικές έννοιες επειδή τα ψηφιακά

αντικείμενα του Video Active συνδέονται με ένα κλειστό σύνολο ατόμων από αυτές τις έννοιες. Έτσι, οι έννοιες περιγράφηκαν ως εξής:

$$\begin{aligned} \text{Provider} &\equiv \{ \text{BBC} \} \sqcup \{ \text{DR} \} \sqcup \{ \text{DW} \} \sqcup \{ \text{HENAA} \} \dots \\ \text{Language} &\equiv \{ \text{Albanian} \} \sqcup \{ \text{Basque} \} \sqcup \{ \text{Breton} \} \sqcup \{ \text{Bulgarian} \} \dots \end{aligned}$$

### Βήμα 6 - Εύρεση σχέσεων ανάμεσα στα άτομα με προσδιορισμό των ιδιοτήτων τους

Εφόσον έχουμε αναπτύξει την ταξονομία των εννοιών θα πρέπει να προσδιοριστούν ιδιότητες των ατόμων που μοντελοποιούνται ως σχέσεις των ατόμων είτε με ατομικά αντικείμενα είτε από τιμές τύπων δεδομένων. Στο πεδίο αναφοράς δεν υπάρχουν σχέσεις μέρους όλου ή πολυσημία εννοιών. Επομένως, η μοντελοποίηση των σχέσεων θα περιτραφεί κυρίως γύρω από τον πλήρη προσδιορισμό των σχέσεων που αντιστοιχούν σε ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τα αντικείμενα και λιγότερο σε σχέση με την εύρεση τρόπων επίλυσης για τη σωστή μοντελοποίηση των σχέσεων.

Βασική ιδιότητα όλου του υλικού που υπάρχει στο Video Active, είτε πρόκειται για άρθρα είτε για το ψηφιακό περιεχόμενο, είναι ότι περιγράφεται από κάποιο τίτλο. Έτσι ορίζουμε το ρόλο `hasTitle` ο οποίος χαρακτηρίζει την έννοια `Material` ως εξής:

$$\text{Material} \sqsubseteq \exists \text{hasTitle.string}$$

Για την περιγραφή των ψηφιακών αντικειμένων, παρατηρούμε ότι συνδέονται σημασιολογικά με άλλα αντικείμενα. Καταρχάς, υπάρχουν ψηφιακά αντικείμενα τα οποία περιγράφονται από άρθρα του Video Active οπότε δημιουργούμε το ρόλο `isDescribedBy`, ο οποίος είναι προφανώς ανάστροφος του ρόλου `describes` και ορίζουμε:

$$\begin{aligned} \text{describes} &\equiv \text{isDescribedBy}^- \\ \text{DigitalContent} &\sqsubseteq \exists \text{isDescribedBy.ArticleThatDescribesDigitalContent} \end{aligned}$$

Ακόμα, κάθε ψηφιακό αντικείμενο συνδέεται σημασιολογικά με τους συντελεστές παραγωγής του, το φορέα απου το παρέχει, τη γλώσσα που χρησιμοποιεί και τη γλώσσα υποτίτλων, αν έχει. Συνδέεται επίσης με κάποια σχετικά άρθρα ή ψηφιακά αντικείμενα με ανάλογο θέμα. Τέλος, συνδέεται με τις λέξεις-κλειδιά, οι οποίες προσδιορίζουν είτε το περιεχόμενό του είτε το γεωγραφικό προσδιορισμό. Έτσι, κατασκευάζουμε ένα ρόλο για

κάθε μία από αυτές τις σχέσεις και γράφουμε:

$$\begin{aligned} \text{DigitalContent} \sqsubseteq & \exists \text{hasContributor.Contributor} \\ & \sqcap \exists \text{hasProvider.Provider} \\ & \sqcap \exists \text{hasLanguage.Language} \\ & \sqcap \exists \text{hasSubtitleLanguage.SubtitleLanguage} \\ & \sqcap \exists \text{hasKeyword.Concept} \\ & \sqcap \exists \text{hasSpatialCoverage.Concept} \\ & \sqcap \exists \text{isRelatedTo.}(\text{Article} \sqcup \text{DigitalContent}), \end{aligned}$$

όπου ο ρόλος `isRelatedTo` είναι συμμετρικός δηλαδή  $\forall \alpha, \beta \in \mathcal{A} : \text{isRelatedTo}(\alpha, \beta) \sqsubseteq \text{isRelatedTo}(\beta, \alpha)$ .

Κάθε ψηφιακό αντικείμενο περιγράφεται από μια σειρά από σχέσεις με τιμές από καθορισμένα πεδία (`dataProperties`). Σχέσεις που αφορούν ιδιότητες όπως η μετάφραση του τίτλου, η περιγραφή του αντικειμένου, το θέμα του, ο δημιουργός του έχουν ως πεδίο τιμών συμβολοακολουθίες, σχέσεις που αφορούν ημερομηνία πρώτης προβολής, ημερομηνία τελευταίας μορφοποίησης κλπ έχουν ως πεδίο τιμών ημερομηνίες και η σχέση που αφορά αν το αντικείμενο είναι το πλήρες πρόγραμμα ή απόσπασμά του έχει ως πεδίο τιμών ακέραιο αριθμό. Έτσι τελικά ορίζουμε:

$$\begin{aligned} \text{DigitalContent} \sqsubseteq & \exists \text{hasAlternativeTitle.string} \sqcup \exists \text{hasCompleteContent.string} \\ & \sqcup \exists \text{hasCreator.string} \sqcup \exists \text{hasDescription.string} \\ & \sqcup \exists \text{createdInYear.gYear} \sqcup \exists \text{modifiedIn.string} \\ & \sqcup \exists \text{hasCreator.string} \sqcup \exists \text{hasDescription.string} \\ & \sqcup \exists \text{hasAbstract.string} \sqcup \exists \text{hasEnglishAbstract.string} \\ & \sqcup \exists \text{hasEpisodeTitle.string} \sqcup \exists \text{hasEnglishEpisodeTitle.string} \\ & \sqcup \exists \text{hasEnglishProgramTitle.string} \sqcup \exists \text{hasFullLength.string} \\ & \sqcup \exists \text{hasIdentifier.string} \sqcup \exists \text{hasInfo.string} \\ & \sqcup \exists \text{hasIpr.string} \sqcup \exists \text{hasProcessStatus.string} \\ & \sqcup \exists \text{hasPublisher.string} \sqcup \exists \text{hasRights.string} \\ & \sqcup \exists \text{hasSource.string} \sqcup \exists \text{hasSubject.string} \\ & \sqcup \exists \text{hasSubmissionDate.date} \sqcup \exists \text{hasTransmissionDate.date} \end{aligned}$$

Επίσης, για όσα ψηφιακά αντικείμενα έχουν μορφή video υπάρχουν μία σειρά ιδιότητες που αφορούν πληροφορίες για την κωδικοποίησή τους, όπως η διάρκεια, το `bitrate`, το

μέγεθος του αρχείου. Οι ιδιότητες αυτές περιγράφονται με σχέσεις με τιμές από καθορισμένα πεδία (dataProperties):

$$\text{Video} \sqsubseteq \exists \text{hasDuration.integer} \sqcup \exists \text{hasFormat.string} \\ \sqcup \exists \text{hasVideoBitrate.integer} \sqcup \exists \text{hasVideoCodec.string} \dots$$

Τα αντικείμενα που ανήκουν στην έννοια Contributor χαρακτηρίζονται από δύο ιδιότητες, τό όνομα και το ρόλο τους στη δημιουργία του ψηφιακού αντικειμένου.

$$\text{Contributor} \sqsubseteq \exists \text{hasFullName.string} \sqcup \exists \text{hasRole.string}$$

### Βήμα 7 - Εύρεση περιορισμών σε ρόλους

Σημσιολογικά, το πεδίο αναφοράς δεν επιβάλλει την ευρεία χρήση περιορισμών πληθυκότητας, με την έννοια ότι κάθε ψηφιακό αντικείμενο μπορεί να προσδιορίζεται από καμία ή περισσότερες ιδιότητες που περιγράφουν το περιεχόμενο ή τη διαδικασία παραγωγής τους, χωρίς να υπάρχει αυστηρός περιορισμός σε αυτό. Υπάρχουν ωστόσο ορισμένες σχέσεις που θα πρέπει να περιγραφούν ως *συναρτησιακοί (functional)* ρόλοι. Πρόκειται για τις σχέσεις εκείνες που αφορούν τη σύνδεση του αντικειμένου με μοναδικά αναγνωριστικά που έχει (για παράδειγμα hasTitle, hasIdentifier, hasFullName, για σχέσεις που σχετίζονται με το χρόνο παραγωγής ή την ημερομηνία ψηφιοποίησης του αρχείου (όπως createdInYear, modifiedIn) καθώς και οι σχέσεις που αφορούν τεχνικά χαρακτηριστικά για την αναπαραγωγή του οπτικοακουστικού υλικού.

Περιορισμοί στο πεδίο ορισμού και στο πεδίο τιμών υπάρχουν για όλους τους ρόλους, με βάση την έννοια την οποία περιγράφουν και την έννοια ή το καθορισμένο πεδίο από όπου παίρνουν τιμές. Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν ρόλοι που να χρησιμοποιούνται από πολλές διαφορετικές κλάσεις, οι περιορισμοί αυτοί προκύπτουν κατευθείαν από τους ορισμούς των κλάσεων και των ρόλων όπως περιγράφονται στις προηγούμενες ενότητες.

### Βήμα 8 - Διαχωρισμός στοιχειωδών ιδιοτήτων, ισχυρών ιδιοτήτων και κριτηρίων ταυτοποίησης

Για όλες τις ατομικές έννοιες στην οντολογία, η στοιχειώδης ιδιότητά τους, δηλαδή εκείνη που αποτελεί αναγκαία και ικανή συνθήκη για τη συμμετοχή προκύπτει από την ονοματολογία που έχει επιλεγεί και όχι από σχέσεις με άλλα άτομα. Για την έννοια ArticlethatDescribesDigitalContent, η οποία είναι ορισμένη έννοια, στοιχειώδης ιδιότητα που αναπαρίσταται με ρόλο είναι η πρόταση  $\exists \text{describes.DigitalContent}$  γιατί αποτελεί αναγκαία και ικανή συνθήκη για τη συμμετοχή ενός άρθρου στην κλάση.

Σε σχέση με το διαχωρισμό ισχυρών και συμπτωματικών ιδιοτήτων, επισημαίνεται ότι όλοι ο ρόλοι που περιγράφουν τα ψηφιακά αντικείμενα αντιστοιχούν σε ισχυρές ιδιότητες,

δηλαδή ιδιότητες αμετάλλακτες στο χρόνο, τις οποίες έχουν όλα τα αντικείμενα, ανεξάρτητα αν η πληροφορία για την τιμή τους είναι γνωστή σε εμάς ή όχι. Με άλλα λόγια όλες οι ιδιότητες που αφορούν την παραγωγή, το περιεχόμενο και τη σημασία των ψηφιακών αντικειμένων υπάρχουν στον πραγματικό κόσμο για τέτοιου τύπου αντικείμενα, επομένως είναι ορθός ο ορισμός των ιδιοτήτων αυτών με σχέσεις υπαγωγής.

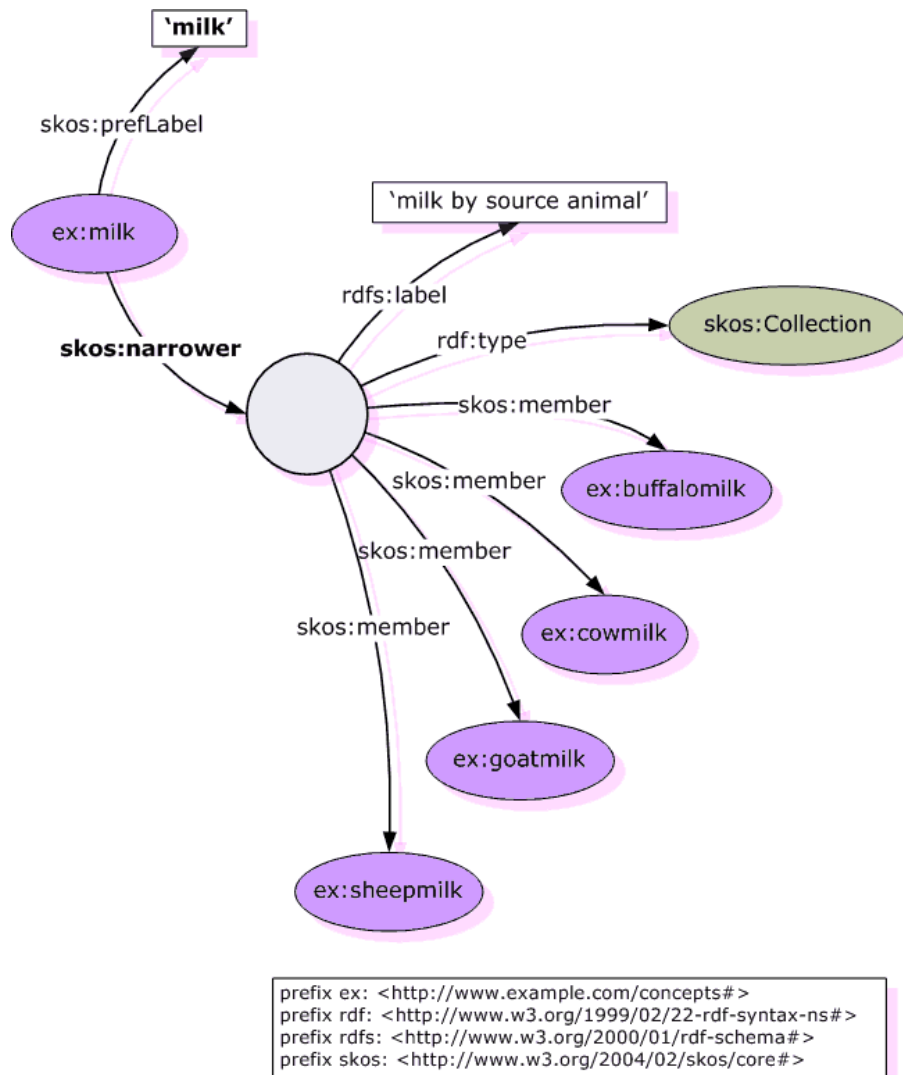
Ως προς τα κριτήρια ταυτοποίησης, τα ψηφιακά αντικείμενα αναπαρίστανται με το ρόλο `hasIdentifier`, ο οποίος περιγράφει το μοναδικό αναγνωριστικό-κλειδί που δίνει το Video Active σε κάθε αντικείμενο του ψηφιακού του υλικού. Επισημαίνεται ότι ο τίτλος δεν αποτελεί κριτήριο ταυτοποίησης, αφού υπάρχουν αρκετά ψηφιακά αντικείμενα με ίδιο τίτλο, όπως για παράδειγμα διαφορετικά επεισόδια της ίδιας εκπομπής. Για τους συντελεστές παραγωγής του ψηφιακού υλικού (`Contributors`), κριτήριο ταυτοποίησης θα μπορούσε να αποτελεί το όνομά τους, όμως αυτό δεν είναι απόλυτα σωστό, δεδομένου ότι υπάρχουν περιπτώσεις όπου το ίδιο όνομα έχει γραφεί με διαφορετικό τρόπο, για παράδειγμα με χρήση συντομογραφιών.

### 5.3 Η οντολογία του SKOS

Στο Video Active οι λέξεις-κλειδιά που περιγράφουν τα ψηφιακά αντικείμενα, ως προς τη θεματολογία και ως προς το γεωγραφικό προσδιορισμό, έχουν αναπαρασταθεί με βάση το πρότυπο SKOS. Επομένως, για την οντολογία που περιγράφεται εδώ, χρησιμοποιείται το πρότυπο αυτό για την περιγραφή τους, με εισαγωγή στην αρχική οντολογία της οντολογίας του SKOS, και με τη δημιουργία των εννοιών `hasKeyword`, `hasSpatialCoverage` για τη σύνδεση των ψηφιακών αντικειμένων με την έννοια `Concept`, που, όπως θα δούμε είναι η βασική έννοια της οντολογίας του SKOS. Στην ενότητα αυτή γίνεται μία σύντομη περιγραφή του προτύπου SKOS και της δομής του.

Το πρότυπο *SKOS (Simple Knowledge Organisation System)* αποτελεί ένα μοντέλο για την περιγραφή συστημάτων οργάνωσης γνώσης με τρόπο κατανοητό στον υπολογιστή. Σχεδιάστηκε με σκοπό να εκφράσει τη δομή και το περιεχόμενο *εννοιολογικών σχημάτων (concept schemes)*, δηλαδή συνόλων εννοιών που περιλαμβάνουν σημασιολογικές σχέσεις ανάμεσα στις έννοιες όπως σημασιολογικοί θησαυροί, ταξονομίες, σχήματα ταξινόμησης εννοιών, ορολογίες και άλλα ελεγχόμενα λεξιλόγια. Το λεξιλόγιο του SKOS (*SKOS Core Vocabulary*), έχει σχεδιαστεί με τη βοήθεια ιδιοτήτων της RDF και κλάσεων της RDFS. Ένα παράδειγμα της δομής παρουσιάζεται με το γράφο της Εικόνας 5.1.

Δεδομένου ότι το πρότυπο SKOS δημοθυρήθηκε για να περιγράψει εννοιολογικά σχήματα, τα στιγμιότυπά του θα πρέπει να είναι τα ίδια έννοιες. Η βασική λοιπόν έννοια του προτύπου SKOS είναι η έννοια `Concept` με στιγμιότυπα άλλες έννοιες όπως “οικονομία”, “τέχνη”, “υγεία”, “επιστήμη”. Επίσης, χρησιμοποιείται η έννοια `ConceptScheme` η οποία έχει στιγμιότυπα συγκεκριμένα εννοιολογικά σχήματα.



Σχήμα 5.1: Απεικόνιση σε γράφο της δομής του προτύπου SKOS

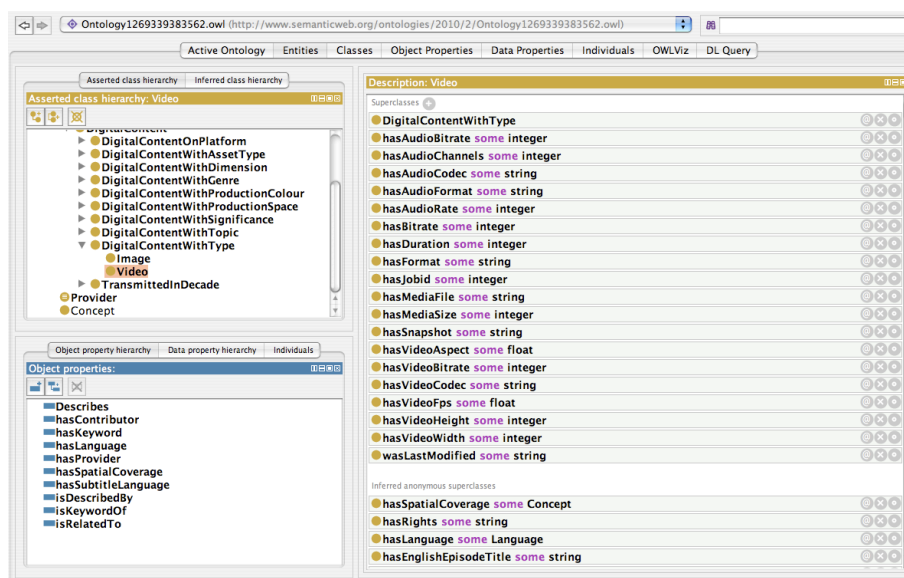
Επειδή οι έννοιες που περιγράφουν ένα πεδίο μπορεί να περιγράφονται με μία σειρά συνώνυμων λέξεων, σε κάθε έννοια-στιγμιότυπο αποδίδονται ετικέτες που αναπαρίστανται ως ιδιότητες, οι οποίες αποδίδουν διαφορετικές λεξικογραφικές ερμηνείες στις έννοιες. Οι ιδιότητες αυτές είναι η *prefLabel* που συνδέει την έννοια με τη συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη λέξη που την περιγράφει (π.χ. “ζώο”) και η *altLabel*, η οποία συνδέει την έννοια με συνώνυμες λέξεις (π.χ. “πλάσμα”). Με την προσθήκη μίας ετικέτας η οποία είναι ενδεικτική για τη γλώσσα που χρησιμοποιείται για την κάθε ετικέτα έννοιας, γίνεται δυνατό μία έννοια να εκφραστεί σε περισσότερες από μία γλώσσες.

Η πιο σημαντική υπηρεσία του προτύπου SKOS είναι ότι χρησιμοποιεί σχέσεις ανάμεσα στα στιγμιότυπά του, οι οποίες αναπαριστούν τη σημασιολογική σχέση των εννοιών. Οι σημασιολογικές σχέσεις ορίζονται με το ρόλο *semantic Relation* και τους υπορόλους

του broader, narrower, related. Οι ρόλοι broader και narrower είναι ανάστροφοι μεταξύ τους και μεταβατικοί. Χρησιμοποιούνται για να ορίσουν ότι μία έννοια είναι ευρύτερη ή αντίστοιχα στενότερη από μία άλλη. Ο ρόλος related είναι συμμετρικός και χρησιμοποιείται για να συσχετίζει έννοιες με παρόμοιο νόημα.

## 5.4 Η οντολογία

Η οντολογία που σχεδιάστηκε καλύπτει όλες τις σημαντικές πληροφορίες που αφορούν τα ψηφιακά αντικείμενα, και επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ τους. Αντί για την αναπαράσταση των μεταδεδομένων με συμβολοακολουθίες, έγινε προσπάθεια τα μεταδεδομένα αυτά να αναπαρασταθούν ως διακριτές οντότητες και να περιγραφούν οι ιδιότητές τους. Με αυτό τον τρόπο, η ανάκτηση πληροφορίας είναι ευκολότερη και πιο αξιόπιστη, με την έννοια ότι η σύνδεση των δεδομένων γίνεται πλέον με βάση τις ιδιότητές που έχουν στον πραγματικό κόσμο. Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται ποια είναι η οντολογία που προκύπτει μετά τη μεθοδική ανάλυση του πεδίου αναφοράς. Στα Σχήματα 5.2, 5.3 και 5.4 παρουσιάζονται στιγμιότυπα της οντολογίας από το Protégé.

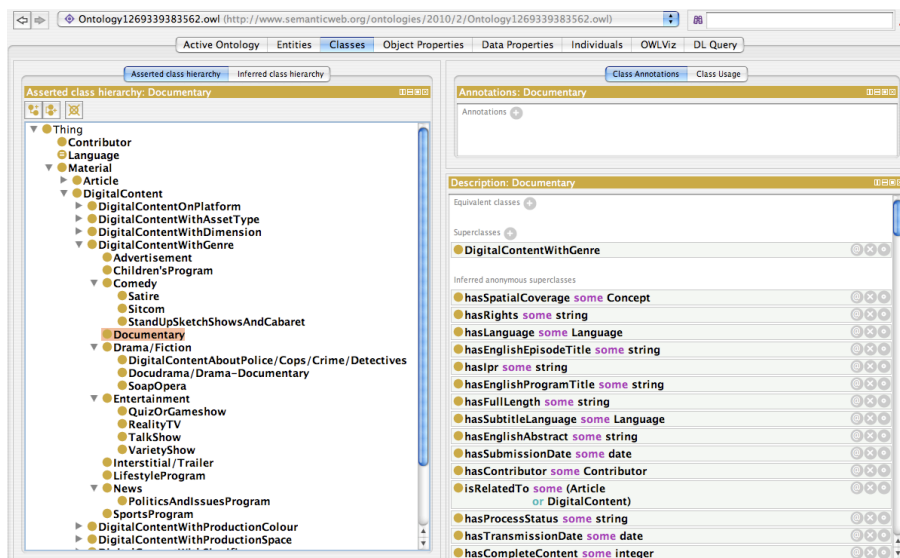


Σχήμα 5.2: Η περιγραφή της έννοιας Video στην οντολογία

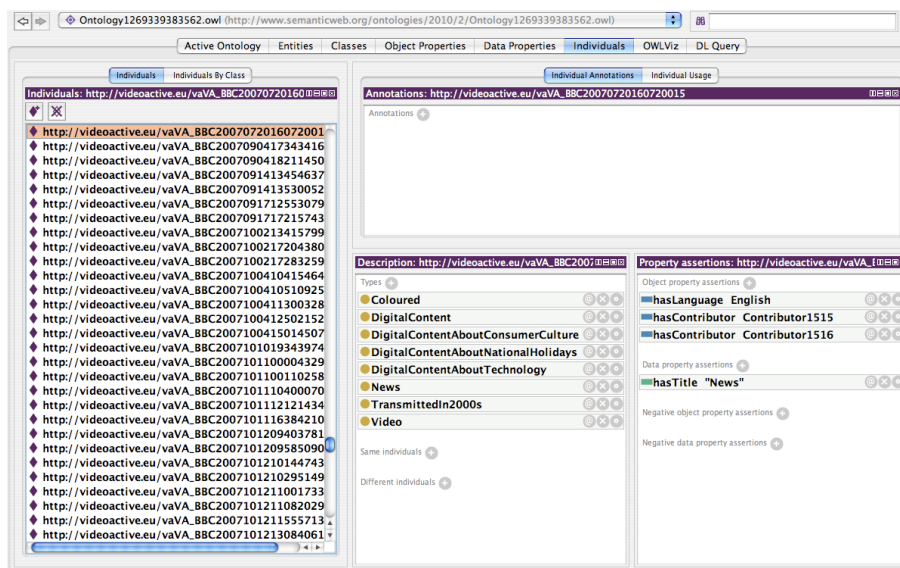
Με βάση την οντολογία που αναπτύχθηκε, κάθε δεδομένο που περιλαμβάνεται στο υλικό του Video Active, άρθρα και ψηφιακά αντικείμενα, αποτελεί ένα διακριτό αντικείμενο του κόσμου. Όλα τα υλικά ομαδοποιείται στην κλάση Material και ανάλογα με τον τύπο του ανήκει σε μία από τις υποέννοιες της έννοιας αυτής, DigitalContent ή Article.

Τα ψηφιακά αντικείμενα, εντάσσονται σε μία σειρά από έννοιες, οι οποίες αποτελούν υποέννοιες της DigitalContent. Οι έννοιες αυτές ομαδοποιούν τα ψηφιακά αντικείμενα σε





Σχήμα 5.3: Η ταξινόμηση των Genres και η περιγραφή της έννοιας Documentary



Σχήμα 5.4: Στιγμιότυπο του ABox

μία σειρά από κατηγορίες με βάση τις κοινές τους ιδιότητες. Οι έννοιες αυτές καλύπτουν τις πιο βασικές ιδιότητες των ψηφιακών αντικειμένων, όπως το θέμα, η σημασία, το είδος, ο τύπος, το χρώμα παραγωγής, η δεκαετία παραγωγής. Η οργάνωση αυτών των εννοιών σε ταξινόμια επιτρέπει την ένταξη στενότερων εννοιών σε ευρύτερες για τη σωστότερη σημασιολογική αναπαράσταση του πεδίου. Για παράδειγμα, το ψηφιακό αντικείμενο DC35 μπορεί να εντάσσεται στις έννοιες: Coloured, Video, DigitalContentAboutArtsAndCulture, DigitalContentAboutEnvironmentalIssues, DigitalContentAboutWarsAndConflict, Pol-

iticsAndIssuesProgram, TransmittedIn2000s, γεγονός που συνεπάγεται ότι ανήκει επίσης και στην έννοια News λόγω της σχέσης PoliticsAndIssuesProgram  $\sqsubseteq$  News. Αντίστοιχα, τα άρθρα εντάσσονται σε έννοιες με βάση το θέμα τους, ενώ τα άρθρα που περιγράφουν άλλα ψηφιακά αντικείμενα ομαδοποιούνται σε ενιαία κλάση, και συνδέονται μέσω ρόλου με τα ψηφιακά αντικείμενα που περιγράφουν.

Ακόμα τα ψηφιακά αντικείμενα περιγράφονται μέσω μία σειρά από σχέσεις με άλλα αντικείμενα όπως η γλώσσα, οι συντελεστές παραγωγής, τα αρχεία που παρέχουν το υλικό, οι λέξεις κλειδιά, ο γεωγραφικός προσδιορισμός. Για παράδειγμα, το αντικείμενο DC35 συνδέεται μέσω ρόλων, για τη γλώσσα (hasLanguage) με το αντικείμενο “DUTCH”, για τους συντελεστές (hasContributor) με τα αντικείμενα “CONTRIBUTOR1404” και “CONTRIBUTOR1403”, για τις λέξεις κλειδιά (hasConcept) με τα αντικείμενα “RACISM” και “LITERATURE”. Η χρήση της οντολογίας του SKOS, επιτρέπει τη σύνδεση του αντικειμένου αυτού με άλλες λέξεις κλειδιά που αποτελούν ευρύτερες έννοιες των λέξεων αυτών, όπως “SOCIAL\_ISSUES” και “ARTS” αντίστοιχα, γεγονός που ενισχύει πολύ τη σημασιολογική αναζήτηση με λέξεις κλειδιά.

Τέλος, τα μεταδεδομένα που περιγράφονται από τύπους δεδομένων, όπως συμβολοσειρές, ακέραιους και ημερομηνίες, περιγράφονται ως ιδιότητες τύπων δεδομένων (data properties) των ψηφιακών αντικειμένων. Τέτοιες ιδιότητες είναι ο τίτλος, το αναγνωριστικό, η περιγραφή, η ημερομηνία μετάδοσης και οι πληροφορίες που περιγράφουν τον τρόπο αναπαραγωγής των ψηφιακών αντικειμένων που είναι video.

Στο σύνολό της η οντολογία αναπαριστά με πλήρη, τυπικό και σημασιολογικά σωστό τρόπο την πληροφορία που περιέχεται στα τηλεοπτικά αρχεία. Η οντολογία προσφέρει τη δυνατότητα μελέτης των δεδομένων που περιγράφει, απεικονίζοντας τις ομοιότητες και τις διαφορές τους, τα βασικά τους χαρακτηριστικά και αυτό δε γίνεται πλέον λόγω συμπτωματικών ομοιοτήτων, αλλά μέσω της συστηματικής μελέτης και τυπικής περιγραφής των ιδιοτήτων τους. Δεδομένου ότι η σημασιολογική αναπαράσταση και διαλειτουργικότητα του συστήματος αποτελεί βασική λειτουργική απαίτηση, μπορούμε να εξάγουμε το συμπέρασμα ότι οι οντολογίες είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την αναπαράσταση και διαχείριση μεταδεδομένων.



## Κεφάλαιο 6

# Έλεγχος και αξιολόγηση του συστήματος

### 6.1 Εισαγωγή

Μετά την ανάπτυξη της οντολογίας, είναι απαραίτητο να εξεταστεί κατά πόσο εκπληρώθηκε ο αρχικός στόχος, δηλαδή η σημασιολογική αναπαράσταση των μεταδεδομένων με τρόπο κατανοητό τόσο από τον άνθρωπο όσο και από τον υπολογιστή. Χρειάζεται να ελεγχθεί η ορθότητα και η πληρότητα της οντολογίας, δηλαδή αν με την εκτέλεση ενός επρωτήματος στην οντολογία επιστρέφονται δεδομένα που πράγματι ικανοποιούν την ιδιότητα που περιγράφεται (ορθότητα) και αν επιστρέφονται όλα τα δεδομένα που ικανοποιούν αυτή την ιδιότητα (πληρότητα). Πέρα όμως από αυτό η οντολογία θα πρέπει κυρίως να αξιολογηθεί σε σχέση με το αν επιτυγχάνει το σκοπό της σημασιολογικής αναπαράστασης των μεταδεδομένων, αν διευκολύνει τη σημασιολογική αναζήτηση και αν η απάντηση σε ένα επρωτήμα είναι τεκμηριωμένη από σημασιολογική σκοπιά.

Για την αξιολόγηση του συστήματος, προστέθηκαν στιγμιότυπα στην οντολογία. Τα αντικείμενα του σώματος ισχυρισμών δημιουργήθηκαν από τα RDF-triples στα οποία αποθηκεύονται τα μεταδεδομένα του Video Active. Η ανάκτηση των μεταδεδομένων από τη σημασιολογική αποθήκη Sesame πραγματοποιήθηκε σε γλώσσα Java. Στη συνέχεια, η προσθήκη των στιγμιότυπων στην οντολογία έγινε επίσης σε Java με τη βοήθεια της Διασύνδεσης Προγραμματισμού Εφαρμογών OWL API <sup>1</sup>, η οποία χρησιμοποιείται για τη δημιουργία και το χειρισμό οντολογιών σε γλώσσα OWL. Η εκτέλεση των επρωτημάτων πάνω στην οντολογία πραγματοποιήθηκε στο εργαλείο Protégé.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται ορισμένα από τα επρωτήματα που εκτελέστηκαν στην οντολογία, με τη μορφή σεναρίων χρήσης. Για κάθε σενάριο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που δίνει η οντολογία, και εξάγονται συμπεράσματα σε σχέση

---

<sup>1</sup>owlapi.sourceforge.net

με το βαθμό επίτευξης των στόχων. Στην τελευταία ενότητα, παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα που προκύπτουν για την αξιολόγηση του συστήματος.

## 6.2 Σενάρια χρήσης

### Σενάριο 1

Το μεγαλύτερο κομμάτι της οντολογίας αποτελείται από ατομικές έννοιες στις οποίες εντάσσονται τα ψηφιακά αντικείμενα, και από απλούς ρόλους με άλλα αντικείμενα. Έτσι, τα επερωτήματα τίθενται και απαντιούνται με αρκετά απλό τρόπο ενώ παράλληλα εξασφαλίζεται η αναπαράσταση με τυπική σημασιολογία. Ένα τέτοιο παράδειγμα παρουσιάζεται σε αυτό το σενάριο.

Έστω ότι μας ενδιαφέρει να εντοπίσουμε όλα τα ψηφιακά αντικείμενα τα οποία έχουν τη μορφή video, έχουν θέμα την εκπαίδευση και είναι στην αγγλική γλώσσα. Το επερωτήμα που τίθεται έχει τη μορφή περιγραφής μίας κλάσης και περιγράφεται παρακάτω:

$$Q_1 \leftarrow \text{Video} \sqcap \text{DigitalContentAboutEducation} \sqcap \exists \text{hasLanguage}.\{\text{ENGLISH}\}$$

Το επερωτήμα έχει τη μορφή τομής εννοιών, στις οποίες εντάσσονται ψηφιακά αντικείμενα που πληρούν τα αντίστοιχα κριτήρια. Επομένως η τομή των εννοιών θα επιστρέψει τα ψηφιακά αντικείμενα που ικανοποιούν και τις τρεις ιδιότητες, γεγονός που είναι σημασιολογικά σωστό και επιβεβαιώνεται από την εκτέλεση του επερωτήματος.

### Σενάριο 2

Μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τη σημασιολογική αναζήτηση παρουσιάζουν περιπτώσεις όπου υπάρχει ένταξη εννοιών σε άλλες έννοιες. Έστω για παράδειγμα ότι αναζητούμε ψυχαγωγικά προγράμματα, με την εκτέλεση του επερωτήματος:

$$Q_2 \leftarrow \text{Entertainment}$$

Σε τέτοια επερωτήματα, συμβατικά συστήματα αναζήτησης κειμένου θα επέστρεφαν μόνο τα αντικείμενα εκείνα που περιγράφονται από τη λέξη “entertainment”. Ωστόσο, αυτό δεν είναι πλήρες σημασιολογικά, διότι ο χρήστης αναζητώντας ψυχαγωγικά προγράμματα υπονοεί ότι αναζητά μία σειρά από κατηγορίες προγραμμάτων τα οποία θεωρούνται ψυχαγωγικά, όπως Talk Shows, τηλεοπτικά παιχνίδια και άλλα. Η σημασιολογική υπαγωγή τέτοιων εννοιών στην έννοια “Entertainment”, ορίζεται στην οντολογία μέσω της

οργάνωσης της ταξονομίας στην οποία ορίζεται ότι:

TalkShows	☐	Entertainment
RealityTV	☐	Entertainment
QuizAndGameshows	☐	Entertainment
VarietyShows	☐	Entertainment

Οι σχέσεις υπαγωγής έχουν σαν αποτέλεσμα να επιστρέφονται περισσότερα αποτελέσματα, αφού εκτός από τα προγράμματα που περιγράφονται άμεσα ως ψυχαγωγικά, επιστρέφονται επίσης προγράμματα που *είναι* ψυχαγωγικά αν και άμεσα περιγράφονται από άλλες κατηγορίες. Ένα τέτοιο αποτέλεσμα ανταποκρίνεται πολύ περισσότερο στις επιθυμίες του χρήστη, απαλλάσσοντάς τον από τον κόπο του να ορίζει ο ίδιος τι θεωρεί ως ψυχαγωγικό πρόγραμμα.

### Σενάριο 3

Ένα ζήτημα που μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα επίπονο για το χρήστη, όταν δε διαθέτει υπηρεσίες σημασιολογικής αναζήτησης, είναι η αναζήτηση για κάποιον από τους συντελεστές παραγωγής ενός προγράμματος. Αν για παράδειγμα αναζητάμε ψηφιακό υλικό στο οποίο συμμετέχει η Victoria Wood, αναζήτηση με βάση το όνομα θα μας επέστρεφε οποιοδήποτε ψηφιακό αντικείμενο περιέχει μία από τις λέξεις “victoria”, “wood”, όχι μόνο στο πεδίο Contributor, αλλά και στην περιγραφή, τον τίτλο, την περίληψη ή οποιοδήποτε άλλο. Αυτό θα αναγκαζε το χρήστη να δαπανήσει αρκετή ώρα ψάχνοντας στα αποτελέσματα της αναζήτησης για τα αντικείμενα που πράγματι επιθυμεί.

Στην οντολογία, τα πρόσωπα που έχουν εργαστεί για την παραγωγή ενός ψηφιακού αντικειμένου έχουν μοντελοποιηθεί ως διακριτές οντότητες, αυστηρά διαχωρισμένες από άλλα αντικείμενα ή περιγραφές ιδιοτήτων. Έτσι, με ένα επερώτημα της μορφής:

$$Q_3 \leftarrow \text{DigitalContent} \sqcap \exists \text{hasContributor.hasFullName.} \text{“Victoria Wood”}$$

επιστρέφονται ακριβώς όσα ψηφιακά αντικείμενα έχουν πράγματι συντελεστή παραγωγής το συγκεκριμένο άτομο, χωρίς να υπάρχει ανάγκη να καταβάλει ο χρήστης περισσότερη προσπάθεια για να τα εντοπίσει.

### Σενάριο 4

Μία από τις αδυναμίες των Περιγραφικών Λογικών, όπως έχει επισημανθεί στην Ενότητα 3.8.5 είναι η περιγραφή ιδιοτήτων που απαιτούν συγκρίσεις δεδομένων, για παράδειγμα, ο εντοπισμός ψηφιακών αντικειμένων που έχουν παραχθεί πριν το 1965. Μία

μερική αντιμετώπιση του προβλήματος, είναι με την κατάταξη των ψηφιακών αντικειμένων με βάση την δεκαετία που έχουν παραχθεί, κατάταξη που φυσικά μπορεί να πραγματοποιηθεί και για μικρότερα χρονικά διαστήματα με τον ίδιο τρόπο. Αν για παράδειγμα, αναζητάμε ψηφιακά αντικείμενα που έχουν παραχθεί από το 1980 ως το 2000 μπορούμε να θέσουμε το επερώτημα:

$$Q_4 \leftarrow \text{TransmittedIn1980s} \sqcup \text{TransmittedIn1990s},$$

το οποίο θα μας επιστρέψει τα ψηφιακά αντικείμενα που έχουν μεταδοθεί σε αυτό το χρονικό διάστημα. Σημειώνεται όμως ότι η ανάκτηση του έτους παραγωγής από την ημερομηνία μετάδοσης και η κατάταξη των αντικειμένων σε κλάσεις έγινε με τη βοήθεια της Java, επομένως η αδυναμία συγκρίσεων στο χρόνο με Περιγραφικές Λογικές παραμένει, δεδομένου ότι απαιτείται η χρήση πολύ εκφραστικών γλωσσών για την αναπαράσταση τέτοιων περιγραφών.

### 6.3 Συμπεράσματα

Η αναπαράσταση ενός πεδίου αναφοράς μέσω οντολογιών προσφέρει μία σειρά από πλεονεκτήματα. Η αναπαράσταση της γνώσης με τρόπο κατανοητό από τον άνθρωπο και από τον υπολογιστή δίνει τη δυνατότητα συγκέντρωσης πληροφοριών από διαφορετικές πηγές, αλλά και επαναχρησιμοποίησης των οντολογιών για παρεμφερείς εφαρμογές. Ακόμα, δίνει τη δυνατότητα η πληροφορία να προσαρμόζεται αρκετά εύκολα σε περίπτωση που η γνώση για το πεδίο αναφοράς γίνεται πληρέστερη.

Η οντολογία που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτής αποτελεί μία προσπάθεια να αναπαρασταθούν με καλά ορισμένο και σαφή τρόπο πολιτιστικά μεταδεδомένα, τα οποία περιγράφουν πολυμεσική πληροφορία στον Παγκόσμιο Ιστό. Αν και τα δεδομένα παρουσιάζουν ανομοιομορφίες ως προς την περιγραφή τους λόγω του ότι συγκεντρώνονται από διαφορετικές πηγές, είναι δυνατό να μοντελοποιηθούν σε μία ενιαία αναπαράσταση, η οποία τα ομαδοποιεί με βάση τις κοινές τους ιδιότητες.

Όπως προκύπτει και από τη διαδικασία ανάπτυξης και ελέγχου του συστήματος που υλοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας, η χρήση οντολογιών σε εφαρμογές Σηματολογικού Ιστού, συμβάλλει στην αντιμετώπιση προβλημάτων που προκύπτουν από το μεγάλο όγκο πληροφοριών που συγκεντρώνεται στον Παγκόσμιο Ιστό. Συγκεκριμένα, η σημασιολογική απεικόνιση της πληροφορίας έχει σημαντική επίδραση στη σωστή ανάκτηση πληροφορίας, εξασφαλίζοντας ότι θα εντοπιστεί το σύνολο των δεδομένων που πληρούν τα κριτήρια αναζήτησης και ταυτόχρονα αποφεύγοντας την ανάκτηση ανεπιθύμητων πληροφοριών. Σημαντικό βήμα για την επίτευξη αυτού του σκοπού αποτελεί και η ανάπτυξη προτύπων για την περιγραφή ενός πεδίου αναφοράς, έτσι ώστε δεδομένα απο

διαφορετικές πηγές με παρόμοιο περιεχόμενο να μπορούν να συσχετίζονται μεταξύ τους με βάση το περιεχόμενό τους.





# Βιβλιογραφία

- [1] Carlos Areces, Patrick Blackburn, and Maarten Marx. A road-map on complexity for hybrid logics. In *Computer Science Logic, number 1683 in LNCS*, pages 307–321. Springer, 1999.
- [2] Alessandro Artale, Enrico Franconi, Nicola Guarino, and Luca Pazzi. Part-whole relations in object-centered systems: An overview. *Data Knowl. Eng.*, 20(3):347–383, 1996.
- [3] F. Baader, S. Brandt, and C. Lutz. Pushing the el envelope. LTCS-Report LTCS-05-01, Chair for Automata Theory, Institute for Theoretical Computer Science, Dresden University of Technology, Germany, 2005. See <http://lat.inf.tu-dresden.de/research/reports.html>.
- [4] Franz Baader, Martin Buchheit, and Bernhard Hollunder. Cardinality restrictions on concepts. *Artif. Intell.*, 88(1-2):195–213, 1996.
- [5] 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, 2003.
- [6] Franz Baader and Philipp Hanschke. A scheme for integrating concrete domains into concept languages. In *IJCAI*, pages 452–457, 1991.
- [7] Franz Baader and Bernhard Hollunder. A terminological knowledge representation system with complete inference algorithms. In *In Proceedings of the First International Workshop on Processing Declarative Knowledge*, pages 67–86. Springer-Verlag, 1991.
- [8] Tim Berners-Lee, James Hendler, and Ora Lassila. The Semantic Web. *Scientific American*, 284(5):34–43, 2001.
- [9] Alex Borgida and Grant Weddell. Adding uniqueness constraints to description logics, 1997.

- [10] Alexander Borgida. Extensible knowledge representation: the case of description reasoners. *J. Artif. Intell. Res. (JAIR)*, 10:399–434, 1999.
- [11] Ronald J. Brachman, Alexander Borgida, Deborah L. McGuinness, Peter F. Patel-Schneider, and Lori Alperin Resnick. The classic knowledge representation system or, kl-one: The next generation. In *Preprints of the Workshop on Formal Aspects of Semantic Networks, Two Harbors*, pages 1036–1043. MorganKaufman, 1989.
- [12] Ronald J. Brachman and Hector J. Levesque. The tractability of subsumption in frame-based description languages. In *AAAI*, pages 34–37, 1984.
- [13] Ronald J. Brachman, Hector J. Levesque, and Richard Fikes. Krypton: Integrating terminology and assertion. In *AAAI*, pages 31–35, 1983.
- [14] Paolo Bresciani, Enrico Franconi, and Sergio Tessaris. Implementing and testing expressive description logics: a preliminary report. In *Knowledge Retrieval, Use and Storage for Efficiency: Proceedings of the First International KRUSE Symposium*, pages 131–139, 1995.
- [15] Jeen Broekstra, Arjohn Kampman, and Frank van Harmelen. Sesame: A generic architecture for storing and querying RDF and RDF Schema. In *ISWC 2002: Proceedings of the First International Semantic Web Conference, Sardinia, Italy*, pages 54–68, 2002.
- [16] M. Buchheit, F. M. Donini, W. Nutt, and A. Schaerf. A refined architecture for terminological systems: Terminology = schema + views, 1998.
- [17] Diego Calvanese, Giuseppe De Giacomo, and Maurizio Lenzerini. Reasoning in expressive description logics with fixpoints based on automata on infinite trees. In *IJCAI'99: Proceedings of the 16th international joint conference on Artificial intelligence*, pages 84–89, San Francisco, CA, USA, 1999. Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- [18] Diego Calvanese, Giuseppe De Giacomo, M. Lenzerini, and Maurizio Lenzerini. On the decidability of query containment under constraints. In *In Proc. of the 17th ACM SIGACT SIGMOD SIGART Symp. on Principles of Database Systems (PODS'98)*, pages 149–158, 1998.
- [19] Diego Calvanese, Maurizio Lenzerini, Daniele Nardi, and Riccardo Rosati. Description logic framework for information integration. pages 2–13. Morgan Kaufmann, 1998.

- [20] Laurent Denoue, Laurence Vignollet, and Université De Savoie. An annotation tool for web browsers and its applications to information retrieval, 2000.
- [21] Francesco M. Donini, Maurizio Lenzerini, Daniele Nardi, Bernhard Hollunder, Werner Nutt, and Alberto Marchetti Spaccamela. The complexity of existential quantification in concept languages. *Artif. Intell.*, 53(2-3):309–327, 1992.
- [22] Francesco M. Donini, Maurizio Lenzerini, Daniele Nardi, and Werner Nutt. The complexity of concept languages. In *Information and Computation*, pages 151–162. Morgan Kaufmann, 1991.
- [23] Francesco M. Donini, Maurizio Lenzerini, Daniele Nardi, and Werner Nutt. Tractable concept languages. In *IJCAI'91: Proceedings of the 12th international joint conference on Artificial intelligence*, pages 458–463, San Francisco, CA, USA, 1991. Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- [24] Francesco M. Donini, Maurizio Lenzerini, Daniele Nardi, and Andrea Schaerf. Deduction in concept languages: From subsumption to instance checking. *J. Log. Comput.*, 4(4):423–452, 1994.
- [25] Giuseppe De Giacomo. Decidability of class-based knowledge representation formalisms, 1995.
- [26] Media Data Group. Ebu technical review – april 2002 1 / 11 richard hopper.
- [27] Nicola Guarino and Christopher Welty. Evaluating ontological decisions with ontoclean. *Commun. ACM*, 45(2):61–65, 2002.
- [28] Volker Haarslev, Ralf Möller, Test S Con, S Con, C Time, C Time, Kris Y, and Kris Y. Race system description, 1999.
- [29] Erik Hatcher and Otis Gospodnetic. *Lucene in Action (In Action series)*. Manning Publications Co., Greenwich, CT, USA, 2004.
- [30] Ian Horrocks and Ulrike Sattler. Ontology reasoning in the  $\mathcal{SHOQ}(\mathcal{D})$  description logic. In *Proc. of the 17th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence (IJCAI 2001)*, pages 199–204. Morgan Kaufmann, Los Altos, 2001.
- [31] Ian Horrocks, Ulrike Sattler, and Stephan Tobies. Practical reasoning for expressive description logics. In *LPAR '99: Proceedings of the 6th International Conference on Logic Programming and Automated Reasoning*, pages 161–180, London, UK, 1999. Springer-Verlag.

- [32] Ian R. Horrocks. Using an expressive description logic: Fact or fiction? In *In Proc. of KR-98*, pages 636–647. Morgan Kaufmann, 1998.
- [33] Ullrich Hustadt. Reducing shiq – description logic to disjunctive datalog programs. pages 152–162. AAAI Press, 2004.
- [34] Ullrich Hustadt and Renate A. Schmidt. Using resolution for testing modal satisfiability and building models. *J. Autom. Reason.*, 28(2):205–232, 2002.
- [35] H.J. Levesque and R.J. Brachman. Expressiveness and tractability in knowledge representation and reasoning. *Computational intelligence*, 3(2):78–93, 1987.
- [36] Robert M. MacGregor. Inside the loom description classifier. *SIGART Bull.*, 2(3):88–92, 1991.
- [37] Eric Mays, Robert Dionne, and Robert A. Weida. K-rep system overview. *SIGART Bulletin*, 2(3):93–97, 1991.
- [38] Marvin Minsky. A framework for representing knowledge. Technical report, Cambridge, MA, USA, 1974.
- [39] Boris Motik. On the properties of metamodeling in owl. In *International Semantic Web Conference*, pages 548–562, 2005.
- [40] Bernhard Nebel. Terminological reasoning is inherently intractable. *ARTIFICIAL INTELLIGENCE*, 43:235–249, 1990.
- [41] Bernhard Nebel. Terminological reasoning is inherently intractable. *Artificial Intelligence*, 43:235–249, 1990.
- [42] Peter G. Neumann. What’s in a name? *Commun. ACM*, 35(1):186, 1992.
- [43] Peter F. Patel-Schneider. System description: Dlp. In *CADE*, pages 297–301, 2000.
- [44] Christof Peltason. The back system—an overview. *SIGART Bull.*, 2(3):114–119, 1991.
- [45] Alain Pirotte, Esteban Zimányi, David Massart, and Tatiana Yakusheva. Materialization: A powerful and ubiquitous abstraction pattern. In *VLDB ’94: Proceedings of the 20th International Conference on Very Large Data Bases*, pages 630–641, San Francisco, CA, USA, 1994. Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- [46] M. R. Quillian. Word concepts: a theory and simulation of some basic semantic capabilities. *Behavioral Science*, 12(5):410–430, September 1967.

- [47] Ulrike Sattler and Ulrike Sattler. A concept language extended with different kinds of transitive roles. pages 333–345. Springer-Verlag, 1996.
- [48] Andrea Schaerf. Reasoning with individuals in concept languages. *Data Knowl. Eng.*, 13(2):141–176, 1994.
- [49] Klaus Schild. A correspondence theory for terminological logics: Preliminary report. In *In Proc. of IJCAI-91*, pages 466–471, 1991.
- [50] Manfred Schmidt-Schaubß. Subsumption in kl-one is undecidable. In *Proceedings of the first international conference on Principles of knowledge representation and reasoning*, pages 421–431, San Francisco, CA, USA, 1989. Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- [51] Manfred Schmidt-Schaubß and Gert Smolka. Attributive concept descriptions with complements. *Artif. Intell.*, 48(1):1–26, 1991.
- [52] James G. Schmolze, Bolt Beranek, and Newman Inc. An overview of the kl-one knowledge representation system. *Cognitive Science*, 9:171–216, 1985.
- [53] L. J. Stockmeyer and A. R. Meyer. Word problems requiring exponential time (preliminary report). In *STOC '73: Proceedings of the fifth annual ACM symposium on Theory of computing*, pages 1–9, New York, NY, USA, 1973. ACM.
- [54] Stephan Tobies, Von Der Fakultät Für Mathematik, Informatik Und Naturwissenschaften Der, Rheinisch westfälischen Technischen, Hochschule Aachen, Diplom informatiker Stephan Tobies, Franz Baader, Universitätsprofessor Dr, Universitätsprofessor Dr, Erich Gradel, and Tag Der Mündlichen Prüfung. Complexity results and practical algorithms for logics in knowledge representation, 2001.
- [55] Moshe Y. Vardi and Pierre Wolper. Automata theoretic techniques for modal logics of programs: (extended abstract). In *STOC '84: Proceedings of the sixteenth annual ACM symposium on Theory of computing*, pages 446–456, New York, NY, USA, 1984. ACM.



# Παράρτημα Α

## Το σχήμα μεταδεδομένων του Video Active σε XML

```
<xs:schema elementFormDefault="qualified" attributeFormDefault="unqualified">
  <xs:element name="VA" type="VAType"/>
  <xs:element name="comment" type="xs:string"/>
  <xs:complexType name="VAType">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="materialType" type="xs:string"/>
      <xs:element name="title" type="xs:string"/>
      <xs:element name="episodeTitle" type="xs:string"/>
      <xs:element name="alternativeTitle" type="xs:string"/>
      <xs:element name="englishProgramTitle" type="xs:string"/>
      <xs:element name="englishEpisodeTitle" type="xs:string"/>
      <xs:element name="subject" type="xs:string" />
      <xs:element name="abstract" type="xs:string"/>
      <xs:element name="englishAbstract" type="xs:string"/>
      <xs:element name="description" type="xs:string"/>
      <xs:element name="keywords" type="keywordType"
      <xs:element name="creator" type="xs:string"/>
      <xs:element name="publisher" type="xs:string"/>
      <xs:element name="owner" type="xs:string"/>
      <xs:element name="rights" type="xs:string"/>
      <xs:element name="ipr" type="xs:string" default="no"/>
      <xs:element name="coverageSpatial" type="keywordType"
      <xs:element name="relation" type="xs:string"/>
      <xs:element name="source" type="xs:string"/>
      <xs:element name="identifier" type="xs:string"/>
    
```



```

<xs:element name="yearCreated" type="xs:int" default="0"/>
<xs:element name="dateTransmited" type="xs:date" default="1900-01-01"/>
<xs:element name="assetType" type="xs:string"/>
<xs:element name="assetTime" type="timeParamType"/>
<xs:element name="language" type="xs:string" />
<xs:element name="subtitleLanguage" type="xs:string"
<xs:element name="contributor" type="contributorType"
<xs:element name="productionPlatform" type="xs:string"/>
<xs:element name="assetColour" type="xs:string"/>
<xs:element name="productionSpace" type="xs:string"/>
<xs:element name="significance" type="significanceParamType"/>
<xs:element name="dimension" type="xs:string"/>
<xs:element name="info" type="xs:string"/>
<xs:element name="classification" type="classificationParamType"/>
<xs:element name="topic" type="xs:string" maxOccurs="3"/>
<xs:element name="dateSubmitted" type="xs:date"/>
<xs:element name="modified" type="xs:date"/>
<xs:element name="completeContent" type="xs:int"/>
<xs:element name="metadata" type="metadataType"/>
</xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="keywordType">
  <xs:simpleContent>
    <xs:extension base="xs:string">
      <xs:attribute name="thesaurusID" type="xs:int"/>
      <xs:attribute name="lang"/>
    </xs:extension>
  </xs:simpleContent>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="timeParamType">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="fullLength">
      <xs:complexType>
        <xs:attribute name="fullLength" type="xs:string"/>
      </xs:complexType>
    </xs:element>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>

```

```
<xs:complexType name="contributorType">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="role" type="xs:string"/>
    <xs:element name="fullname" type="xs:string" />
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="significanceParamType">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="main" type="xs:string"/>
    <xs:element name="subCategory" type="xs:string" maxOccurs="3"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="classificationParamType">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="genre" type="xs:string"/>
    <xs:element name="subGenre" type="xs:string"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="metadataType">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="jobid" type="xs:int"/>
    <xs:element name="mediafile" type="xs:string"/>
    <xs:element name="mediasize" type="xs:int"/>
    <xs:element name="lastmodified" type="xs:string"/>
    <xs:element name="format" type="xs:string"/>
    <xs:element name="bitrate" type="xs:int"/>
    <xs:element name="video_codec" type="xs:string"/>
    <xs:element name="video_bitrate" type="xs:int"/>
    <xs:element name="video_width" type="xs:int"/>
    <xs:element name="video_height" type="xs:int"/>
    <xs:element name="video_fps" type="xs:float"/>
    <xs:element name="video_aspect" type="xs:float"/>
    <xs:element name="audio_codec" type="xs:string"/>
    <xs:element name="audio_format" type="xs:string"/>
    <xs:element name="audio_bitrate" type="xs:int"/>
    <xs:element name="audio_rate" type="xs:int"/>
    <xs:element name="audio_channels" type="xs:int"/>
    <xs:element name="duration" type="xs:int"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
```

```
        <xs:element name="snapshot" type="xs:string" minOccurs="0"/>
    </xs:sequence>
</xs:complexType>
</xs:schema>
```

