Πανεπιστήμιο Κρήτης
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών

Διερεύνηση Εισαγωγής Χρονικής Διάστασης στο Σύστημα Σημασιολογικού Ευρετηρισμού

Ανθή Γιώρτσου

Μεταπτυχιακή Εργασία

Ηράκλειο, Φεβρουάριος 1998

Πανεπιστήμιο Κρήτης
Σχολή Θετικών Επιστημων
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών

Διερεύνηση Εισαγωγής Χρονικής Διάστασης στο Σύστημα Σημασιολογικού Ευρετηρισμού

Εργασία που υποβλήθηκε από την
Ανθή Γιώρτσου
ως μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων
για την απόκτηση
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Συγγραφέας:

Ανθή Γιώρτσου
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών

Εισηγητική Επιτροπή:

Πάνος Κωνσταντόπουλος, Καθηγητής, Επόπτης

Γεώργιος Γεωργακόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής, Μέλος

Απόστολος Τραγανίτης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Μέλος

Δεκτή:

Πάνος Κωνσταντόπουλος, Καθηγητής
Πρόεδρος Επιτροπής Μεταπτυχιακών Σπουδών

Ηράκλειο, Φεβρουάριος 1998

Διερεύνηση Εισαγωγής Χρονικής Διάστασης στο Σύστημα Σημασιολογικού Ευρετηρισμού

Ανθή Γιώρτσου

Μεταπτυχιακή Εργασία

Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Κρήτης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μία βάση δεδομένων διατηρεί δεδομένα σχετικά με την πραγματικότητα την οποία μοντελοποιεί. Σκοπός της είναι η διατήρηση ακριβούς, πλήρους και συνεπούς πληροφορίας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διάφορες εφαρμογές. Οι παραδοσιακές βάσεις δεδομένων συνήθως αποδίδουν ένα στιγμιότυπο της πραγματικότητας με τα πιο πρόσφατα δεδομένα. Καθώς η βάση εξελίσσεται οι προηγούμενες τιμές των δεδομένων αντικαθίστανται από νέες, με αποτέλεσμα οι παλαιότερες να διαγράφονται.

Παρ' όλα αυτά, η ανάγκη διατήρησης της ιστορίας των δεδομένων μιας βάσης γίνεται όλο και πιο μεγάλη, με αποτέλεσμα οι παραδοσιακές βάσεις να είναι ανεπαρκείς για την κάλυψη των αναγκών μιας μεγάλης μερίδας εφαρμογών. Μάλιστα, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον ως προς την μελέτη και επέκταση των υπαρχόντων μοντέλων δεδομένων και την εισαγωγή χρονικής διάστασης σ'αυτά.

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την διερεύνηση εισαγωγής χρονικής διάστασης στο Σύστημα Σημασιολογικού Ευρετηριασμού - SIS. Γίνεται μια μελέτη σχετικά με τις δυνατότητες που υπάρχουν για την εισαγωγή χρονικής διάστασης στο δομικό οντοκεντρικό μοντέλο δεδομένων της SIS-Telos και του τρόπου με τον οποίο θα

μοντελοποιείται η μεταβλητή (χρονική) συμπεριφορά των αντικειμένων.

Η εισαγωγή χρονικής διάστασης σε ένα μοντέλο δεδομένων, είναι δυνατό να οδηγήσει τη βάση δεδομένων σε ασυνεπείς καταστάσεις. Στους στόχους της παρούσας εργασίας περιλαμβάνεται και η μελέτη και διατύπωση περιορισμών που πρέπει να ισχύουν ώστε η εισαγωγή χρονικής διάστασης να μην οδηγεί σε τέτοιου είδους ασυνέπειες.

Εκτός από την δυνατότητα μοντελοποίησης της μεταβλητής συμπεριφοράς των δεδομένων και την διατήρηση της ιστορίας τους, μελετάμε και τις δυνατότητες χειρισμού τέτοιου είδους συμπεριφοράς. Για τον λόγο αυτό ορίζουμε μία χρονική άλγεβρα που περιλαμβάνει τελεστές για την ανάκληση των χρονικά εκτεταμένων αντικειμένων και την εφαρμογή ερωτήσεων που σχετίζονται με την χρονική διάσταση του μοντέλου. Η άλγεβρα αυτή, εκτός από μεμονωμένα αντικείμενα, παρέχει τη δυνατότητα χειρισμού και ολόκληρων μονοπατιών του μοντέλου δεδομένων και την αντιμετώπισή τους ως αυτοτελών οντοτήτων. Έτσι λοιπόν ορίζεται η έννοια της χρονικής διάστασης ενός μονοπατιού ως η τομή των χρονικών διαστάσεων των συνδέσμων που συμμετέχουν στο μονοπάτι αυτό. Ένα μονοπάτι ‘‘υπάρχει’’ χρονικά αν η τομή αυτή είναι μη κενή. Για την εύρεση των μονοπατιών που ‘‘υπάρχουν’’ χρονικά, ορίζουμε έναν αλγόριθμο και μελετάμε την πολυπλοκότητά του.

Η εισαγωγή χρονικής διάστασης μπορεί να μοντελοποιηθεί εύκολα με τις δυνατότητες που παρέχει η Telos. Η υποστήριξη μιας τέτοιας επέκτασης είναι εύκολη χωρίς ιδιαίτερες αλλαγές στη φιλοσοφία του SIS.

Επόπτης : Πάνος Κωνσταντόπουλος
Καθηγητής Επιστήμης Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Κρήτης

Introducing Temporal Dimension in the Semantic Index System

Anthi Yiortsou

Master of Science Thesis

Department of Computer Science
University of Crete

ABSTRACT

A database contains data about the reality that it models. This data must be precise, complete and consistent so that various applications can use it. Traditional databases contain only a snapshot of the modeled reality which includes the more recent data. As the database evolves, new data values replace old ones. However, the increasing need to retain the history of the database contents proves traditional databases inefficient to cover the needs of a significant number of applications. Therefore, there is recently an increasing interest in studying and extending existing data models, with a temporal dimension.

This work is a study on incorporateing a time dimension into the SIS-Telos structural, object-oriented data model in order to model mutable object behavior. This temporal extension can lead the database to inconsistent states. One of the goals of this work is to study and define the necessary constraints that ensure the consistency of the extended temporal data model.

Additionally, we study the potential of managing such a time-varying data behavior. Thus, we define a temporal algebra that includes operators for retrieving temporal extended objects and for expressing queries concerning the temporal dimension of the data model. This algebra manipulates simple data objects as well as paths. Paths are handled as if they were objects

themselves. We define the temporal dimension of a path as the intersection of the temporal dimensions of the links participating in this path. A path ‘‘exists’’ temporally, only if the above intersection is non-empty. To compute temporally existing paths, an algorithm is defined and its complexity is studied.

We demonstrate that the temporal dimension can easily be modeled using the existing knowledge representation mechanisms of SIS-Telos. Such an extension can be supported without any major changes in the philosophy of SIS.

Supervisor : Panos Constantopoylos
Professor of Computer Science
University of Crete

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό αισθάνομαι την ανάγκη να διατυπώσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους με τον ένα ή τον άλλο τρόπο με βοήθησαν να φέρω σε πέρας αυτή την εργασία.

Ευχαριστώ το Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Κρήτης που με έκανε δεκτή στο μεταπτυχιακό του πρόγραμμα δίνοντας μου την ευκαιρία να αναπτύξω τις ερευνητικές μου προσπάθειες, καθώς και το Ινστιτούτο Πληροφορικής του Ι.Τ.Ε. για την οικονομική και υλικοτεχνική υποστήριξη που μου παρείχε, κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον επόπτη μου κ. Πάνο Κωνσταντόπουλο για την πολύ καλή συνεργασία μας και τις πολύτιμες υποδείξεις του στην εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης την Αναστασία Αναλυτή για την καθοδήγηση της σε όλη τη διάρκεια της εργασίας μου και για τις εκτενείς συζητήσεις που είχαμε και που με βοήθησαν στην αντιμετώπιση διαφόρων προβλημάτων της εργασίας μου.

Θέλω να ευχαριστήσω όλα τα μέλη της Ομάδας των Πληροφοριακών Συστημάτων και Τεχνολογίας Λογισμικού του Ινστιτούτου Πληροφορικής για τη συνεργασία και τη βοήθεια που απλόχερα μου πρόσφεραν όποτε και για ό,τι την είχα ανάγκη. Ειδικότερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Μάνο Θεοδωράκη και Δημήτρη Αγγελάκη για τη βοήθειά τους στην προετοιμασία της τελικής παρουσίασης της εργασίας μου.

Για την προετοιμασία της τελικής παρουσίασης και την συμπαράστασή τους στις δύσκολες στιγμές που προηγήθηκαν, θέλω επίσης να ευχαριστήσω την Σούλα Αναστασιάδη και τον Ανδρέα Γιαννόπουλο.

Την Σούλα και τον Ανδρέα αλλά και τους φίλους μου Μαρίνα Μωραΐτη, Άντζυ Χλαπάνη, Μίνω Παναγόπουλο και Βασίλη Σπιταδάκη θέλω να τους ευχαριστήσω γιατί αποτέλεσαν για μένα μια ζεστή ατμόσφαιρα στο Ηράκλειο και μοιράστηκαν μαζί μου τόσο τις καλές όσο και τις άσχημες στιγμές της φοιτητικής μου ζωής.

Περισσότερο απ' όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Ευαγγελία και Γιάννη καθώς και τα αδέρφια μου Νίκο και Μαρία. Η αγάπη και η εμπιστοσύνη τους μου δώσαν την δύναμη να πραγματοποιήσω τους στόχους μου. Σε αυτούς αφιερώνω αυτήν την εργασία.

Περιεχόμενα

Περίληψη **i**

Abstract **iii**

Ευχαριστίες **v**

1 Εισαγωγή **1**

1.1 **Χρονικές βάσεις δεδομένων** 1

1.2 **Αντικείμενο της εργασίας** 2

1.3 **Οργάνωση της εργασίας** 3

2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση **5**

2.1 **Γενικά** 5

2.2 **Χρονικές σχεσιακές βάσεις δεδομένων** 5

2.3 **Χρονικές οντοκεντρικές βάσεις δεδομένων** 9

3 Η γλώσσα παράστασης γνώσης Telos και το Σύστημα Σημασιολογικού Ευρετηριασμού (SIS) **13**

3.1 **Εισαγωγή** 13

3.2 **Μοντέλο παράστασης γνώσης Telos** 14

3.2.1 **Ο χρονικός πρωτογενής τύπος δεδομένων Telos_Time** 19

3.3 **Το Σύστημα Σημασιολογικού Ευρετηριασμού - SIS** 21

4 Χρονική επέκταση **23**

4.1 **Εισαγωγή** 23

4.2 **Που εισάγεται χρονική διάσταση** 24

4.2.1 **Με ποια μορφή εισάγεται** 25

4.3 **Χρονικοί περιορισμοί** . . . 27
4.3.1 **Περιορισμοί σε διμελείς σχέσεις** . . . 28
4.3.2 **Περιορισμοί σε ιεραρχίες** . . . 31
4.3.3 **Περιορισμοί ακεραιότητας** . . . 34

5 Χρονική Άλγεβρα **47**
5.1 **Εισαγωγή** . . . 47
5.1.1 **Ορισμοί** . . . 48
5.2 **Χρονικοί Τελεστές** . . . 50
5.2.1 **Προβολή (project)** . . . 50
5.2.2 **Επιλογή (select)** . . . 51
5.2.3 **Χρονικό κομμάτι (time-slice)** . . . 57
5.2.4 **When** . . . 61
5.2.5 **Συνένωση (join)** . . . 62
5.3 **Περίληψη** . . . 65

6 Υπολογισμός χρονικών διαστημάτων μονοπατιών **67**
6.1 **Εισαγωγή** . . . 67
6.2 **Ορισμός προβλήματος** . . . 67
6.3 **Προβλήματα μονοπατιών σε γράφους** . . . 69
6.3.1 **Αλγεβρικό Υπόβαθρο** . . . 71
6.3.2 **Αλγόριθμος απαλοιφής Gauss-Jordan** . . . 72
6.4 **Αλγόριθμος εύρεσης χρονικών διαστημάτων μονοπατιών** . . . 75
6.4.1 **Δομές αποθήκευσης** . . . 80
6.5 **Ανάλυση πολυπλοκότητας** . . . 82

7 Πρόταση Υλοποίησης **93**
7.1 **Εισαγωγή** . . . 93
7.2 **Προτάσεις υλοποίησης για το σύστημα της SIS-Telos** . . . 93
7.2.1 **Συντακτικός αναλυτής της SIS-Telos** . . . 97
7.2.2 **Κατάλογος συστήματος** . . . 98
7.2.3 **Σύστημα σημασιολογικού ελέγχου** . . . 103
7.3 **Προτάσεις υλοποίησης για το API** . . . 104

8 Επίλογος **107**

8.1 **Συμπεράσματα** 107

8.2 **Βελτιώσεις - Επεκτάσεις** 108

Βιβλιογραφία **110**

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Χρονικές βάσεις δεδομένων

Μία βάση δεδομένων διατηρεί δεδομένα σχετικά με την πραγματικότητα την οποία μοντελοποιεί. Σκοπός της είναι η διατήρηση ακριβούς, πλήρους και συνεπούς πληροφορίας η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διάφορες εφαρμογές. Οι παραδοσιακές βάσεις δεδομένων έχουν σχεδιαστεί να διατηρούν τα πιο πρόσφατα δεδομένα, δηλαδή τα τρέχοντα δεδομένα. Καθώς νέες τιμές δεδομένων γίνονται διαθέσιμες στο σύστημα μέσω ενημερώσεων, οι προηγούμενες τιμές των δεδομένων διαγράφονται από την βάση δεδομένων. Αυτές οι βάσεις δεδομένων αποδίδουν ένα στιγμιότυπο της πραγματικότητας, καθώς τηρούνται μόνο πληροφορίες που είναι έγκυρες κάποια δεδομένη εποχή, ενώ δεν παρέχουν την δυνατότητα χειρισμού ιστορικής πληροφορίας, η οποία αλλάζει με την πάροδο του χρόνου. Παρόλο που οι παραδοσιακές βάσεις δεδομένων εξυπηρετούν άψογα πολλές εφαρμογές, αποδεικνύονται ανεπαρκείς για εφαρμογές στις οποίες είναι απαραίτητα δεδομένα που αφορούν την ιστορική διαδρομή της πραγματικότητας που παριστάνει η βάση δεδομένων.

Εμφανίζεται λοιπόν η ανάγκη μίας βάσεως δεδομένων που να υποστηρίζει πλήρως την αποθήκευση καθώς και την ανάκληση πληροφορίας που μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου. Με την ευρύτερη έννοια λοιπόν, μία βάση δεδομένων που διατηρεί ολόκληρη την ιστορία της εξέλιξης των δεδομένων της βάσης και που παρέχει την δυνατότητα ανάκλησης και χειρισμού των δεδομένων αυτών, ονομάζεται *χρονική βάση δεδομένων*.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον ως προς την μελέτη και επέκταση των υπαρχόντων μοντέλων δεδομένων και την εισαγωγή χρονικής διάστασης σ' αυτά. Η χρονική διάσταση σ' ένα μοντέλο δεδομένων μπορεί να έχει διάφορες έννοιες. Ο *χρόνος ισχύος (valid time)* εκφράζει το χρόνο που ένα γεγονός έχει νόημα (ισχύει) στην πραγματικότητα του μοντέλου. Ο *χρόνος δοσοληψίας (transaction time)*, από την άλλη, αναφέρεται στο χρόνο που μία καινούρια τιμή έγινε γνωστή (εισήχθη) στην βάση δεδομένων. Υπάρχει και μία τρίτη έννοια, ο *χρόνος χρήστη (user-defined time)*, που είναι ένα αφηρημένο χρονικό πεδίο, που το χειρίζεται ο χρήστης και για το οποίο το μοντέλο δεδομένων υποστηρίζει μόνο τις πράξεις εισαγωγής και διαγραφής.

Αυτά τα είδη χρονικής διάστασης συνεπάγονται διαφορετικά είδη χρονικών βάσεων δεδομένων. Μία παραδοσιακή βάση δεδομένων που δεν υποστηρίζει καμία έννοια χρονικής διάστασης, ονομάζεται *στιγμιοτυπική* βάση δεδομένων αφού, όπως αναφέρεται και παραπάνω, περιέχει μόνο ένα στιγμιότυπο του πραγματικού κόσμου. Μία βάση δεδομένων *χρόνου ισχύος* περιέχει ολόκληρη την ιστορία της πραγματικότητας που μοντελοποιείται, όπως αυτή είναι γνωστή μέχρι τώρα. Μία βάση δεδομένων *χρόνου δοσοληψίας* υποστηρίζει χρόνο δοσοληψίας και κατα συνέπεια παρέχει την δυνατότητα επιστροφής της βάσης σε μία προηγούμενη κατάστασή της. Τέλος μία *''διχρονική''* βάση δεδομένων καταγράφει τόσο χρόνο ισχύος όσο και χρόνο δοσοληψίας και συνδυάζει τα χαρακτηριστικά των παραπάνω δύο τύπων. Μία τέτοια βάση, επιτρέπει την επιστροφή σε προηγούμενες καταστάσεις καθώς και την αντικατάσταση των τιμών των δεδομένων με τις αντίστοιχες τιμές της κατάστασης, στην οποία επανέρχεται η βάση.

1.2 Αντικείμενο της εργασίας

Η εργασία αυτή ασχολείται με την διερεύνηση της εισαγωγής χρονικής διάστασης στο Σύστημα Σημασιολογικού Ευρετηριασμού. Με τον όρο διερεύνηση εννοούμε την μελέτη των δυνατοτήτων που υπάρχουν για την εισαγωγή χρονικής διάστασης στο μοντέλο δεδομένων της SIS-Telos, την μελέτη της έννοιας που θα αποδοθεί στην διάσταση αυτή (χρόνος ισχύος, χρόνος δοσοληψίας) καθώς και του τρόπου με τον οποίο θα μοντελοποιείται η μεταβλητή (χρονική) συμπεριφορά των αντικειμένων, δηλαδή αν θα επιτρέπεται η ασύγχρονη μεταβολή των χαρακτηριστικών μίας οντότητας, ή αν θα

διατηρούνται χρονικές εκδόσεις για το σύνολο της οντότητας.

Η εισαγωγή χρονικής διάστασης σ'ένα μοντέλο δεδομένων, είναι δυνατό να οδηγήσει την βάση δεδομένων σε ασυνεπείς καταστάσεις. Έστω, για παράδειγμα, ένα οντοκεντρικό μοντέλο δεδομένων, στο οποίο εισάγεται χρονική διάσταση με την έννοια του χρόνου ισχύος, και ας θεωρήσουμε μία κλάση οντοτήτων και μία περίπτωση της κλάσης αυτής. Αν η κλάση οντοτήτων έχει μικρότερο χρόνο ισχύος από την περίπτωσή της, τότε η βάση δεδομένων βρίσκεται σε ασυνεπή κατάσταση. Στους στόχους της παρούσας εργασίας περιλαμβάνεται και η μελέτη και διατύπωση περιορισμών που πρέπει να ισχύουν ώστε η εισαγωγή χρονικής διάστασης να μην οδηγεί σε τέτοιου είδους ασυνεπείς καταστάσεις.

Εκτός από την δυνατότητα μοντελοποίησης της μεταβλητής συμπεριφοράς των δεδομένων και την διατήρηση της ιστορίας τους, μελετάμε και τις δυνατότητες χειρισμού τέτοιου είδους συμπεριφοράς. Για τον λόγο αυτό ορίζουμε μία χρονική άλγεβρα που περιλαμβάνει τελεστές για την ανάκληση των χρονικά εκτεταμένων αντικειμένων και την εφαρμογή ερωτήσεων που σχετίζονται με την χρονική διάσταση του μοντέλου. Η άλγεβρα αυτή, εκτός από μεμονωμένα αντικείμενα παρέχει τη δυνατότητα χειρισμού και ολόκληρων μονοπατιών του μοντέλου δεδομένων και την αντιμετώπιση των μονοπατιών αυτών ως αυτοτελών οντοτήτων. Έτσι λοιπόν ορίζεται η έννοια της χρονικής διάστασης ενός μονοπατιού ως η τομή των χρονικών διαστάσεων των συνδέσμων που συμμετέχουν στο μονοπάτι αυτό. Ένα μονοπάτι ''υπάρχει'' χρονικά αν η τομή αυτή είναι μη κενή. Για την έυρεση των μονοπατιών που ''υπάρχουν'' χρονικά, ορίζουμε έναν αλγόριθμο και μελετάμε την πολυπλοκότητά του.

1.3 Οργάνωση της εργασίας

Μετά την συνοπτική περιγραφή του περιεχομένου της, η εργασία αυτή οργανώνεται στα υπόλοιπα κεφάλαια ως εξής:

Στο *κεφάλαιο 2* γίνεται μία βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετική με χρονικά μοντέλα και βάσεις δεδομένων καθώς και με χρονικές γλώσσες επερωτήσεων. Αρχικά παρουσιάζονται ορισμένες εργασίες από τον χώρο των σχεσιακών βάσεων δεδομένων ενώ στη συνέχεια παρουσιάζονται εργασίες σχετικές με οντοκεντρικά μοντέλα δεδομένων.

Στο *κεφάλαιο 3* παρουσιάζεται συνοπτικά η γλώσσα παράστασης γνώσης Telos

και η ειδική έκδοσή της SIS-Telos. Επίσης γίνεται αναφορά στο χρονικό πρωτογενή τύπο δεδομένων της SIS-Telos καθώς και στο Σύστημα Σημασιολογικού Ευρετηριασμού (Semantic Index System - SIS).

Στο *κεφάλαιο 4* παρουσιάζεται μία μελέτη για την χρονική επέκταση των μοντέλων που μπορούν να οριστούν με την SIS-Telos καθώς και των περιορισμών που συνεπάγεται μία τέτοια επέκταση.

Στο *κεφάλαιο 5* ορίζονται οι χρονικοί τελεστές για τον χειρισμό των χρονικών μοντέλων του SIS, λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο που επεκτείνεται χρονικά το σύστημα αυτό καθώς και τους ήδη υπάρχοντες μηχανισμούς χειρισμού δεδομένων του SIS.

Στο *κεφάλαιο 6* ορίζεται ένας αλγόριθμος για τον υπολογισμό των χρονικών διαστημάτων μονοπατιών, με βάση τις δυνατότητες που παρέχει το api του SIS.

Στο *κεφάλαιο 7* γίνονται προτάσεις για τροποποιήσεις και επεκτάσεις στο Σύστημα Σημασιολογικού Ευρετηριασμού, ώστε να είναι δυνατή η εισαγωγή και υποστήριξη χρονικής διάστασης στα μοντέλα που διαχειρίζεται.

Η εργασία κλείνει με το *κεφάλαιο 8* όπου αναφέρονται ορισμένα συμπεράσματα καθώς και πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις.

Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετική με χρονικά μοντέλα και βάσεις δεδομένων καθώς και με χρονικές γλώσσες επερωτήσεων. Αρχικά παρουσιάζονται ορισμένες εργασίες από τον χώρο των σχεσιακών βάσεων δεδομένων ενώ στη συνέχεια παρουσιάζονται εργασίες σχετικές με οντοκεντρικά μοντέλα δεδομένων.

Πριν προχωρήσουμε στην παρουσίαση των εργασιών αυτών, δίνουμε δύο πολύ βασικούς ορισμούς σχετικούς με την έννοια που μπορεί να έχει η προσθήκη χρονικής διάστασης σε ένα μοντέλο δεδομένων.

- *Χρόνος ισχύος:* είναι ο χρόνος κατά την διάρκεια του οποίου το γεγονός, στο οποίο αυτός αναφέρεται, είναι αληθές στην πραγματικότητα που μοντελοποιούμε.
- *Χρόνος δοσοληψίας:* είναι ο χρόνος που το γεγονός, στο οποίο αυτός αναφέρεται, έγινε γνωστό (αποθηκεύτηκε) στη βάση δεδομένων.

2.2 Χρονικές σχεσιακές βάσεις δεδομένων

Η TQuel που παρουσιάζεται στα [21, 22], είναι μία χρονική γλώσσα επερωτήσεων. Η TQuel αποτελεί μια ελάχιστη επέκταση της Quel [7], που όπως είναι γνωστό αποτελεί τη γλώσσα επερωτήσεων του συστήματος INGRES [8]. Η TQuel υποστηρίζει ένα απλό χρονικό πεδίο που είναι διακριτό, άπειρο και πολλαπλής λεπτομέρειας (υπάρχει τρόπος

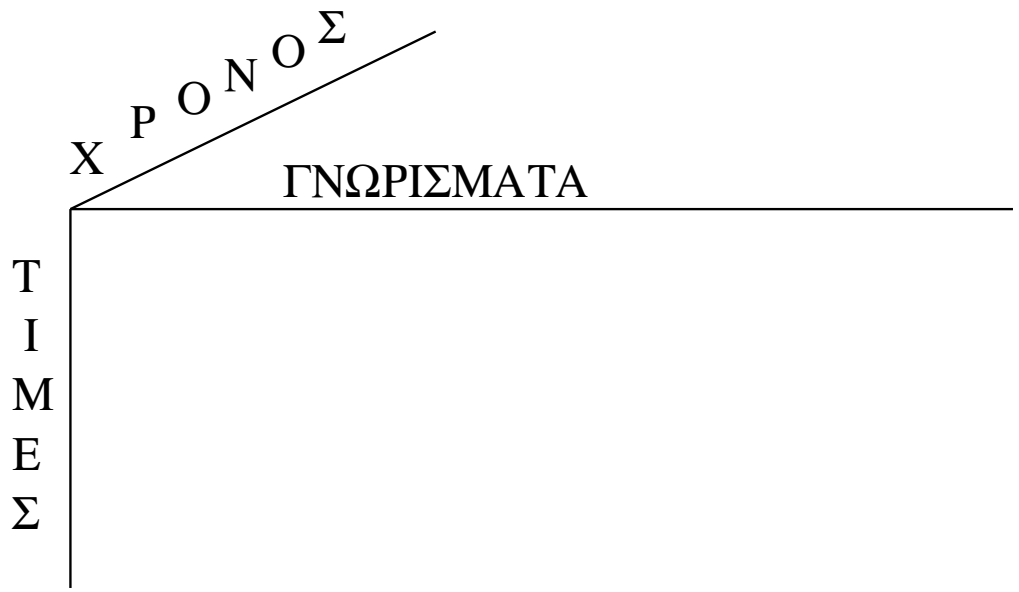
αναφοράς σε χρονικά στοιχεία που έχουν λεπτομέρεια ημέρας, ώρας κ.τ.λ.). Επιπλέον υποστηρίζει δύο χρονικές διαστάσεις: χρόνο ισχύος και χρόνο δοσοληψίας. Σε κάθε πλειάδα και για κάθε χρονική διάσταση αποδίδεται μία χρονική ετικέτα (timestamp) ως αριθμητικό διάστημα <α,β>, όπου α είναι η αρχή και β το τέλος του χρονικού διαστήματος. Η απόδοση του διαστήματος <α,β> στην πλειάδα x, σημαίνει ότι η πληροφορία της πλειάδας ισχύει για κάθε t, $\alpha \leq t \leq \beta$. Αν $\beta = \infty$ τότε <α,β> = $\{t : \alpha \leq t\}$. Τα διαστήματα στην TQuel παριστάνονται με την εισαγωγή δύο επιπλέον γνωρισμάτων σε κάθε σχέση, των γνωρισμάτων *From* και *To*.

Για τον ορισμό της γλώσσας TQuel, επεκτείνονται οι τελεστές της Quel ώστε να λαμβάνεται υπόψη και η χρονική διάσταση των αντικειμένων. Για παράδειγμα, έστω Q και R δύο σχέσεις του ιδίου σχήματος, στις οποίες έχει προστεθεί χρονική διάσταση (με την έννοια του χρόνου ισχύος). Τότε η χρονική ένωση των Q και R, $Q \hat{\bigcup} R$, είναι το σύνολο των πλειάδων που ανήκουν είτε στην Q είτε στην R ή και στις δύο σχέσεις. Η χρονική ετικέτα που αντιστοιχίζεται σε κάθε πλειάδα του παραπάνω συνόλου είναι η ένωση των χρονικών διαστημάτων των πλειάδων που συνενώνονται.

Στον ορισμό της TQuel περιλαμβάνονται επίσης και τελεστές συνάθροισης (aggregates), τελεστές για την μετατροπή μεταξύ μη χρονικών και χρονικών σχέσεων καθώς και δύο τελεστές χρονικού-κομματιού (time-slice). Αποδεικνύεται οτι η άλγεβρα είναι κλειστή, πλήρης και ελάχιστη.

Το ιστορικό σχεσιακό μοντέλο δεδομένων (Historical Relational Data Model) HRDM [4], είναι μία από τις εργασίες που επηρέασε περισσότερο τον τομέα των χρονικών μοντέλων δεδομένων. Για τον ορισμό του HRDM, επεκτάθηκαν οι αποδεκτές δομές του κλασικού σχεσιακού μοντέλου με δύο σημαντικούς τρόπους. Καταρχήν προστέθηκε ένας καινούριος τύπος αντικειμένων στην οντολογία του μοντέλου, το σύνολο T των χρόνων. Το HRDM υποστηρίζει ένα απλό διακριτό και άπειρο χρονικό πεδίο. Ορίστηκαν γνωρίσματα που λαμβάνουν τιμές που είναι συναρτήσεις με πεδίο ορισμού τον χρόνο (T) και σύνολο τιμών κάποιο απλό πεδίο τιμών γνωρισμάτων (D). Επιπλέον ορίστηκαν οι έννοιες του χρονικού διαστήματος ισχύος πλειάδας και του χρονικού διαστήματος ισχύος γνωρίσματος, σε μία σχέση. Έτσι λοιπόν η χρονική διάσταση μιας συγκεκριμένης τιμής ενός γνωρίσματος σε μια πλειάδα, περιορίζεται τόσο από το χρόνο ισχύος της πλειάδας όσο και από το χρόνο ισχύος του γνωρίσματος. Η χρονική διάσταση έχει την έννοια του χρόνου ισχύος.

Στην εργασία αυτή ορίζεται και μία χρονική άλγεβρα. Η άλγεβρα αυτή λαμβάνεται από την σχεσιακή άλγεβρα, αφού οριστούν ξανά όλοι οι σχεσιακοί τελεστές στα πλαίσια του HRDM. Το χρονικό τμήμα ενός ιστορικού μοντέλου δεδομένων μπορεί κατά κάποιο τρόπο να θεωρηθεί σαν μια επέκταση σε τρεις διαστάσεις του διδιάστατου σχεσιακού μοντέλου (σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1: Οι τρεις διαστάσεις ενός ιστορικού μοντέλου δεδομένων

Η κλασική σχεσιακή άλγεβρα παρέχει ένα μοναδιαίο τελεστή για κάθε μία από τις δύο διαστάσεις: *select* για την διάσταση των τιμών και *project* για την διάσταση των χαρακτηριστικών. Η ιστορική άλγεβρα που ορίζεται στα πλαίσια του HRDM, επεκτείνει τον ορισμό των δύο αυτών τελεστών ώστε να ανταποκρίνεται στον ορισμό των ιστορικών σχέσεων και προσθέτει ένα τρίτο τελεστή (*time-slice*), για την διάσταση του χρόνου. Επιπλέον επεκτείνεται ο δυαδικός τελεστής *join* ώστε να μπορεί να εφαρμόζεται σε ιστορικές σχέσεις. Τέλος προστίθεται ο τελεστής *when* για την εξαγωγή καθαρά χρονικής πληροφορίας.

Η επέκταση μοντέλων βάσεων δεδομένων και γλωσσών επερωτήσεων με σκοπό τον χειρισμό της χρονικής διάστασης, έχει συζητηθεί κυρίως στο πλαίσιο των σχεσιακών μοντέλων δεδομένων. Στην εργασία [17], περιγράφεται η χρονική επέκταση ενός εμπλουτισμένου μοντέλου οντοτήτων-συσχετίσεων (enhanced entity-relationship data

model) EER. Εισάγεται η έννοια του χρονικού διαστήματος, που δηλώνεται ως $[t_1, t_2]$. Ένα χρονικό διάστημα είναι ένα σύνολο από διαδοχικές χρονικές στιγμές με t_1 την αρχική και t_2 την τελική χρονική στιγμή. Μία χρονική βάση δεδομένων διατηρεί πληροφορίες για ένα χρονικό διάστημα [0,*now*], όπου το 0 αντιπροσωπεύει την χρονική αρχή του κόσμου που μοντελοποιείται και παριστάνεται μέσω της εφαρμογής. Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών χρονικών στιγμών μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με την λεπτομέρεια της εφαρμογής και να αντιστοιχεί σε μήνες, μέρες, ώρες, λεπτά ή οποιαδήποτε άλλη χρονική υποδιαίρεση. Στην εργασία αυτή ορίζεται επιπλέον το χρονικό στοιχείο (temporal element) ως μία πεπερασμένη ένωση χρονικών διαστημάτων $\{I_1, I_2, ..., I_n\}$, όπου I_i είναι ένα διάστημα που περιέχεται στο πεδίο [0,*now*].

Σ'ένα μοντέλο οντοτήτων-συσχετίσεων, ένας τύπος οντοτήτων είναι ένα σύνολο οντοτήτων ομοειδών, δηλαδή οντοτήτων που έχουν τα ίδια βασικά χαρακτηριστικά. Στο χρονικό EER μοντέλο, σε κάθε οντότητα τύπου E, αντιστοιχίζεται ένα χρονικό στοιχείο , υποσύνολο του πεδίου [0,*now*] που ονομάζεται *lifespan* της οντότητας. Το χρονικό διάστημα ισχύος T(e) μπορεί να είναι ένα συνεχές χρονικό διάστημα ή μπορεί να αποτελείται από έναν αριθμό μη τεμνόμενων χρονικών διαστημάτων. Η χρονική τιμή κάθε γνωρίσματος A_i της οντότητας e, $A_i(e)$, είναι μία μερική συνάρτηση
$A_i(e)$: T(e) $\rightarrow$ dom(A_i).

Ένας τύπος συσχέτισης R, n-οστού βαθμού, αποτελείται από n τύπους οντοτήτων $E_1, E_2, ..., E_n$. Κάθε περίπτωση r, του τύπου συσχέτισης R είναι μία πλειάδα n πεδίων r = <$e_1, e_2, ..., e_n$> όπου $e_i \in E_i$. Στο μοντέλο TEER σε κάθε περίπτωση συσχέτισης r, αποδίδεται ένα χρονικό στοιχείο T(r) που αποτελεί το χρονικό διάστημα ισχύος (*lifespan*) της r. Ο περιορισμός που πρέπει να ισχύει είναι οτι το στοιχείο T(r) πρέπει να είναι υποσύνολο των χρονικών στοιχείων των οντοτήτων $e_1, ..., e_n$ που συμμετέχουν στην r : T(r) $\subseteq (T(e_1) \cap T(e_2) \cap ... \cap T(e_n))$. Ο περιορισμός αυτός πρέπει να ισχύει αφού για να ισχύει η συσχέτιση r σε κάποιο χρονικό σημείο t, όλες οι οντότητες που συμμετέχουν στην συσχέτιση αυτή, πρέπει επίσης να ισχύουν στο ίδιο χρονικό σημείο t.

Στην εργασία αυτή εκτός από την χρονική επέκταση του μοντέλου οντοτήτων-συσχετίσεων, επεκτείνεται χρονικά και η γλώσσα επερωτήσεων GORDAS. Η GORDAS [6] είναι μία τυπική διαδικαστική γλώσσα υψηλού επιπέδου για τον χειρισμό του μοντέλου EER και των επεκτάσεων του. Για την επέκταση της γλώσσας αυτής εισάγονται έννοιες όπως :

- *Χρονικές λογικές εκφράσεις:* Υπό συνθήκη εκφράσεις πάνω σε γνωρίσματα και συσχετίσεις. Όταν εφαρμοστούν σε μία οντότητα e, επιστρέφουν αντιστοιχίσεις μεταξύ χρονικών διαστημάτων και στοιχείων του συνόλου {True, False, Unknown}.

- *Χρονική συνθήκη επιλογής:* Σύγκριση δύο χρονικών στοιχείων και επιλογή των οντοτήτων που ικανοποιούν την χρονική συνθήκη επιλογής.

- *Χρονική συνθήκη προβολής:* Εφαρμόζεται σε μία χρονική οντότητα και περιορίζει όλες τις χρονικές τιμές (γνωρίσματα και συσχετίσεις) της οντότητας σε μία καθορισμένη χρονική περίοδο.

Πρέπει να τονίσουμε ότι στην εργασία αυτή η χρονική προβολή ορίζεται διαφορετικά από την σχεσιακή προβολή. Η χρονική προβολή εφαρμόζεται σε μία οντότητα και την περιορίζει σε μία καθορισμένη χρονική περίοδο. Αντίθετα η σχεσιακή προβολή χρησιμοποιείται για τον περιορισμό μιας οντότητας ως προς ένα συγκεκριμένο σύνολο γνωρισμάτων. Οι χρονικές λογικές εκφράσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο στις εκφράσεις για χρονική επιλογή όσο και για χρονική προβολή.

2.3 Χρονικές οντοκεντρικές βάσεις δεδομένων

Στον τομέα των οντοκεντρικών μοντέλων δεδομένων, η έρευνα σχετικά με την χρονική επέκτασή τους βρίσκεται σε πρώιμα στάδια. Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζουμε εργασίες, που αφορούν στην επέκταση και χειρισμό δύο ήδη υπαρχόντων οντοκεντρικών μοντέλων.

Στην εργασία [25] περιγράφεται ένα πλούσιο χρονικό μοντέλο και μία πλούσια γλώσσα επερωτήσεων για τον χειρισμό του μοντέλου αυτού. Το μοντέλο ονομάζεται OODAPLEX και είναι ένα οντοκεντρικό μοντέλο που βασίζεται στο μοντέλο DAPLEX [20, 13]. Το OODAPLEX χρησιμοποιεί την έννοια της οντότητας για την μοντελοποίηση των αντικειμένων του πραγματικού κόσμου καθώς και την έννοια της συνάρτησης για την μοντελοποίηση των ιδιοτήτων και των σχέσεων μεταξύ των οντοτήτων. Επίσης παρέχονται και άλλα οντοκεντρικά χαρακτηριστικά όπως η δυνατότητα ορισμού από τον χρήστη αφηρημένων δομών δεδομένων, μηχανισμοί ταξινόμησης, γενίκευσης-εξειδίκευσης, κληρονομικότητα κ.τ.λ. Έτσι το μοντέλο παρέχει τη δυνατότητα μοντελοποίησης και χειρισμού πολύπλοκων αντικειμένων που ίσως απαιτούνται από

τις διάφορες εφαρμογές.

Για την μοντελοποίηση χρονικής πληροφορίας χρησιμοποιείται το πλούσιο σύστημα δεδομένων που παρέχει το OODAPLEX. Τα χρονικά σημεία αντιμετωπίζονται ως αφηρημένες οντότητες ενώ ορίζεται μία ιεραρχία χρονικών τύπων για την υποστήριξη διαφόρων εννοιών χρόνου (συμπεριλαμβανομένων και των εκδόσεων (versions)). Το σύστημα τύπων του OODAPLEX υποστηρίζει διάφορους τύπους που δέχονται παραμέτρους, όπως σύνολα, πολυσύνολα, πλειάδες και συναρτήσεις. Αυτοί οι τύποι είναι απαραίτητοι για την μοντελοποίηση χρονικής πληροφορίας τόσο υπό μορφή χρονικών διαστημάτων όσο και υπό μορφή χρονικών ιδιοτήτων και χρονικών συσχετίσεων. Για παράδειγμα, οι χρονικά μεταβαλόμενες ιδιότητες ενός αντικειμένου μοντελοποιούνται μέσω συναρτήσεων που συσχετίζουν χρονικά αντικείμενα στο αρχικό αντικείμενο. Για την εισαγωγή επιπλέον χρονικής σημασιολογίας στο σύστημα ορίζονται διάφορες χρονικές συναρτήσεις και χρονικοί περιορισμοί. Αυτοί οι περιορισμοί καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο εφαρμόζονται οι μηχανισμοί ταξινόμησης, εξειδίκευσης και κληρονομικότητας στα χρονικά αντικείμενα. Αυτή η χρονική επέκταση γίνεται εφικτή χωρίς καμία αλλαγή στο βασικό μοντέλο OODAPLEX.

Λόγω της ομοιομορφίας στη μοντελοποίηση των ιδιοτήτων και της συμπεριφοράς των αντικειμένων (συμπεριλαμβανομένων και των χρονικά μεταβαλλόμενων όψεων τους) μέσω συναρτήσεων, δεν υπάρχει ανάγκη για ορισμό ειδικών εργαλείων (τελεστών) στην γλώσσα επερωτήσεων. Κατά συνέπεια η ανάκληση και ο χειρισμός τόσο χρονικής όσο και μη χρονικής πληροφορίας, εκφράζεται ομοιόμορφα. Στην πραγματικότητα, δίνεται η δυνατότητα συνδυασμού τελεστών χειρισμού πολύπλοκων αντικειμένων, τελεστών συνάθροισης (aggregates) καθώς και χρονικών ερωτήσεων για την έκφραση ερωτήσεων που δεν είναι δυνατό να εκφραστούν από γλώσσες που προκύπτουν από την χρονική επέκταση σχεσιακών γλωσσών.

Ένα άλλο χρονικό οντοκεντρικό μοντέλο (temporal object-oriented data model - TOODM) καθώς και μία χρονική οντοκεντρική άλγεβρα (temporal object-oriented algebra - TOOA) , παρουσιάζονται στην εργασία [18]. Στο μοντέλο δεδομένων TOODM, μία κλάση αντιμετωπίζεται ως η επέκταση (extension) του τύπου ενός αντικειμένου-περίπτωσης. Ένας τύπος αποτελεί το καλούπι που δεσμεύει την δομή (γνωρίσματα) την συμπεριφορά (μηνύματα/μέθοδοι) και τους περιορισμούς ενός αντικειμένου. Κάθε αντικείμενο έχει ένα μοναδικό καθολικό αναγνωριστικό που παράγεται από το σύστημα

και που είναι ανεξάρτητο της κατάστασης του αντικειμένου. Η κατάσταση ενός αντικειμένου περιγράφεται από τις τιμές των γνωρισμάτων του. Το μοντέλο TOODM υποστηρίζει ταξινόμηση, γενίκευση-εξειδίκευση καθώς και κληρονομικότητα. Στο μοντέλο δεδομένων αυτό, ορίζονται διάφοροι τύποι συλλογής αντικειμένων όπως τύπος συνόλου (set), πλειάδας (tuple), ακολουθίας (sequence) και λίστας (list).

Για την μοντελοποίηση της ιστορίας των τιμών των γνωρισμάτων των αντικειμένων καθώς και της ιστορίας του συνόλου των ιδιοτήτων των τύπων αντικειμένων χρησιμοποιείται ένας ειδικός τύπος συλλογής που ονομάζεται χρονική ακολουθία (time-sequence) (TS[O_i]). Μία χρονική ακολουθία λαμβάνει ως παράμετρο ένα τύπο O_i. Κάθε αντικείμενο χρονικής ακολουθίας αποτελείται από μία ιστορία και μία ιστορία διόρθωσης που μπορεί να συγχωνευτεί με την αρχική ιστορία. Κάθε μία από τις ιστορίες περιλάμβάνει μία ακολουθία από ζεύγη (A : TL). Το ‘‘A’’ αντιπροσωπεύει μία πλειάδα τιμών γνωρισμάτων ενώ το TL αντιπροσωπεύει μία πλειάδα χρονικών τιμών. Τόσο ο χρόνος ισχύος όσο και ο χρόνος δοσοληψίας αποτελούν υποχρεωτικά στοιχεία της παραπάνω χρονικής πλειάδας. Ο χρόνος μπορεί να είναι απόλυτος (ημερολογιακός), σχετικός (πριν/μετά από κάποιο γεγονός) ή ένας απλός ακέραιος αριθμός.

Για τον χειρισμό των τύπων και των οντοτήτων του μοντέλου, ορίζεται μία οντοκεντρική χρονική άλγεβρα. Η άλγεβρα αυτή, είναι ένα υπερσύνολο της σχεσιακής άλγεβρας, αφού παρέχει υποστήριξη για τον χειρισμό χρονικών αντικειμένων, χρονικών τύπων και ιεραρχιών χρονικών τύπων σε συνδυασμό με την υποστήριξη των πέντε βασικών τελεστών της σχεσιακής άλγεβρας. Οι τελεστές της άλγεβρας εφαρμόζονται σε κάποια συλλογή ή κάποιες συλλογές αντικειμένων και επιστρέφουν συλλογές αντικειμένων. Η TOOA αποτελεί το πρώτο βήμα για την παροχή μιας τυπικής θεμελίωσης για την επεξεργασία και βελτιστοποίηση ερωτήσεων πάνω σε χρονικά οντοκεντρικά μοντέλα δεδομένων.

Υπάρχουν μερικά ακόμη χρονικά μοντέλα καθώς και χρονικές γλώσσες επερωτήσεων. Το πρόσφατο βιβλίο [1], παρουσιάζει τουλάχιστον δώδεκα διαφορετικά χρονικά μοντέλα δεδομένων που αποτελούν επεκτάσεις του σχεσιακού μοντέλου. Γενικά ένα χρονικό μοντέλο λαμβάνεται, σύμφωνα και με τα παραπάνω, επιλέγοντας ένα συγκεκριμένο χρονικό πεδίο, υιοθετώντας ένα τρόπο εισάγωγης της χρονικής διάστασης στο μοντέλο (π.χ. μέσω συναρτήσεων) και ορίζοντας επιπλέον τελεστές σε μία γλώσσα επερωτήσεων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το συγκεκριμένο μοντέλο.

Κεφάλαιο 3

Η γλώσσα παράστασης γνώσης Telos και το Σύστημα Σημασιολογικού Ευρετηριασμού (SIS)

3.1 Εισαγωγή

Η Telos είναι μια γλώσσα παράστασης γνώσης. Προτάθηκε αρχικά από τον Μυλόπουλο και τους συνεργάτες του [16, 14]. Μια εκδοχή του δομικού μέρους της γλώσσας, η SIS-Telos, αναπτύχθηκε από το Τομέα Πληροφοριακών Συστημάτων και Τεχνολογίας Λογισμικού του Ινστιτούτου Πληροφορικής του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας (ΙΤΕ). Η υλοποίηση αυτή περιγράφεται αναλυτικά στο [15].

Οι μηχανισμοί που χρησιμοποιεί η γλώσσα είναι ανάλογοι με αυτούς των σημασιολογικών δικτύων. Οι στοιχειώδεις δομές της είναι οι οντότητες και οι σχέσεις μεταξύ των οντοτήτων, που μπορούν να συνδυαστούν για να παραστήσουν πολυπλοκότερες δομές.

Οι βασικοί μηχανισμοί της Telos είναι οι σχέσεις ταξινόμησης (classification), γενίκευσης (generalization) και απόδοσης γνωρίσματος (attribution). Οι ιεραρχίες ταξινόμησης και γενίκευσης μπορούν να είναι απεριόριστες και πολλαπλές.

Στο υπόλοιπο του κεφαλαίου, στην ενότητα 3.2, περιγράφονται συνοπτικά οι εκφραστικοί μηχανισμοί που παρέχονται από τη γλώσσα Telos ενώ στην ενότητα 3.3 παρουσιάζεται το Σύστημα Σημασιολογικού Ευρετηριασμού ((*Semantic Index System* -

SIS), που έχει αναπτυχθεί από την Τομέα Πληροφοριακών Συστημάτων και Τεχνολογίας Λογισμικού του Ινστιτούτου Πληροφορικής του ΙΤΕ.

3.2 Μοντέλο παράστασης γνώσης Telos

Κάθε αντικείμενο ή έννοια του πραγματικού κόσμου αποτελεί στη βάση γνώσης ένα ξεχωριστό αντικείμενο (*Object*). Όλα τα αντικείμενα που μπορούν να υπάρξουν σε μία βάση δεδομένων ταξινομούνται στην κλάση συστήματος *Object*, έχουν ένα μοναδικό, εσωτερικό και παραγόμενο από το σύστημα αναγνωριστικό όνομα (SYSID), ενώ μπορούν να διαθέτουν και λογικό όνομα, δοσμένο από το χρήστη (μηχανισμός ονοματοδοσίας). Τα λογικά ονόματα παρέχουν επιπλέον πληροφορίες για τα αντικείμενα, κάνοντας έτσι τα περιεχόμενα μιας βάσης πιο κατανοητά στο χρήστη. Επίσης αποτελούν ένα άμεσο και κατανοητό τρόπο αναφοράς των αντικειμένων της βάσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι στους *συνδέσμους ταξινόμησης* και *γενίκευσης* δεν αποδίδεται αναγνωριστικό όνομα (άρα δεν μπορούν να θεωρηθούν και να χρησιμοποιηθούν ως αντικείμενα).

Η κλάση *Object* εξειδικεύεται σε τέσσερις υποκλάσεις : *Individual, Attribute, Class* και *Token.* Κάθε αντικείμενο ταξινομείται κάτω από τουλάχιστον μία από τις παραπάνω κλάσεις (που αποτελούν τις κλάσεις συστήματος). Στην κλάση *Individual* ταξινομούνται οι οντότητες, οι κλάσεις οντοτήτων, οι κλάσεις κλάσεων οντοτήτων κ.ο.κ. Η κλάση αυτή χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των διακριτών αντικειμένων του πραγματικού κόσμου. Η κλάση *Attribute* χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των γνωρισμάτων και των σχέσεων μεταξύ αντικειμένων του πραγματικού κόσμου. Στην κλάση αυτή ταξινομούνται τα γνωρίσματα, οι κλάσεις γνωρισμάτων (που διαφορετικά ονομάζονται και *κατηγορίες* γνωρισμάτων) κ.ο.κ. Οι οντότητες και τα γνωρίσματα θεωρούνται ισότιμα αντικείμενα και τυγχάνουν ομοιόμορφης μεταχείρισης (στο υπόλοιπο της εργασίας θα αναφέρονται γενικά με τον όρο *αντικείμενα*). Η κλάση *Class* χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση όλων των κλάσεων οντοτήτων και κλάσεων γνωρισμάτων καθώς και κλάσεων από κλάσεις. Οι ατομικές οντότητες και τα ατομικά γνωρίσματα που αποτελούν συνήθως τον πληθυσμό μιας βάσης δεδομένων, ταξινομούνται στην κλάση συστήματος *Token.*

Για τις τιμές ακεραίων, πραγματικών αριθμών, ορμαθών χαρακτήρων και χρόνων χρησιμοποιούνται ατίστοιχα οι κλάσεις συστήματος *Telos_Integer, Telos_Real, Te-*

los_String και *Telos_Time*. Οι κλάσεις αυτές, αποτελούν πρωτογενείς τύπους δεδομένων και δεν έχουν γνωρίσματα. Οι τιμές των πρωτογενών τύπων δεδομένων δεν μπορούν να δημιουργηθούν ή να διαγραφούν. Μπορεί μόνο να γίνει αναφορά σ'αυτές. Ιδιαίτερα για τον χρονικό πρωτογενή τύπο δεδομένων, υπάρχει πλήρης περιγραφή στην υποενότητα 3.2.1.

Η SIS-Telos χρησιμοποιεί βασικούς μηχανισμούς δόμησης που χρησιμοποιούνται σε βάσεις παράστασης γνώσης και σημασιολογικά μοντέλα δεδομένων, παρέχοντας τη δυνατότητα περιγραφής της πληροφορίας στο επίπεδο ακρίβειας που απαιτείται. Οι μηχανισμοί αυτοί, που αναφέρονται και στην προηγούμενη παράγραφο, περιγράφονται ακολούθως:

- **Ταξινόμηση**

  Στα οντοκεντρικά μοντέλα παράστασης δεδομένων, οι κλάσεις οντοτήτων χρησιμοποιούνται για την ομαδοποίηση όλων των οντοτήτων με κοινά χαρακτηριστικά. Με το μηχανισμό ταξινόμησης, ένα ατομικό αντικείμενο περιγράφεται ως μέλος (περίπτωση) μιας κλάσης, της οποίας κληρονομεί τα γνωρίσματα. Μιά κλάση είναι κι αυτή με τη σειρά της ένα αντικείμενο, άρα μπορεί να είναι περίπτωση μιας άλλης κλάσης. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μία μη φραγμένη ιεραρχία από κλάσεις. Το πρώτο επίπεδο της ιεραρχίας αυτής αποτελούν τα *ατομικά αντικείμενα* (*Token*), το επόμενο επίπεδο οι *απλές κλάσεις* (*S_Class*) που αποτελούνται από ατομικά αντικείμενα, το επόμενο επίπεδο οι *μετακλάσεις* (*M1_Class*) που αποτελούνται από απλές κλάσεις, το επόμενο οι *μετα-μετακλάσεις* κ.ο.κ.

  Τα αντικείμενα που ορίζονται από κάποιο χρήστη ανήκουν σε ένα από τα επίπεδα ταξινόμησης που υπάρχουν στην Telos. Επιπλέον ένα αντικείμενο μπορεί να ανήκει σε περισσότερες από μία κλάσεις που έχουν οριστεί από το χρήστη (πολλαπλή ταξινόμηση).

- **Γενίκευση-εξειδίκευση**

  Η σχέση *γενίκευσης (εξειδίκευσης)* είναι η σχέση συνόλου προς το υπερσύνολο (υποσύνολο) του. Μία οντότητα Α λέμε οτι είναι *γενίκευση (εξειδίκευση)* της οντότητας Β αν υπάρχει ένας σύνδεσμος γενίκευσης (εξειδίκευσης) από την Β στη Α. Εναλλακτικά λέμε οτι η οντότητα Β είναι *εξειδίκευση (γενίκευση)* της Α. Η

Β λέγεται *υποκλάση (υπερκλάση)* της Α, ενώ η Α λέγεται *υπερκλάση (υποκλάση)* της Β. Η σχέση γενίκευσης είναι η γνωστή σχέση *isA*. Μια κλάση μπορεί να έχει περισσότερες από μία υπερκλάσεις (πολλαπλή εξειδίκευση). Μια κλάση κληρονομεί όλα τα γνωρίσματα των υπερκλάσεων της (αυστηρή κληρονόμηση). Η σχέση γενίκευσης (εξειδίκευσης) μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε κλάσεις οντοτήτων που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο ταξινόμησης (π.χ. *S_Class*).

- **Απόδοση γνωρίσματος**

  Με το μηχανισμό αυτό αποδίδονται γνωρίσματα στα αντικείμενα. Τα γνωρίσματα στην Telos θεωρούνται διμελείς σχέσεις, αφού ορίζονται μεταξύ δύο αντικειμένων και έχουν ένα σύνολο αφετηρίας (το αντικείμενο στο οποίο αποδίδονται) και ένα σύνολο αφίξεως (την οντότητα στην οποία καταλήγουν). Ένα αντικείμενο κληρονομεί τα γνωρίσματα των κλάσεων στις οποίες ανήκει. Στα γνωρίσματα αυτά μπορούν να δοθούν παραπάνω από μία τιμές ή να μη δοθεί καμία τιμή. Πρέπει να σημειωθεί η δυνατότητα απόδοσης γνωρίσματος σε γνώρισμα, που προκύπτει από την ομοιόμορφη μεταχείριση οντοτήτων και γνωρισμάτων. Κάθε γνώρισμα μπορεί να έχει ως αφετηρία ένα οποιοδήποτε αντικείμενο (οντότητα ή γνώρισμα) ενώ (στην παρούσα έκδοση της SIS-Telos) καταλήγει μόνο σε οντότητες ή πρωτογενείς τύπους. Στο επίπεδο Token, τα γνωρίσματα είναι απλώς ζεύγη, ενώ στα επίπεδα S_Class, M1_Class, κ.τ.λ. εκφράζουν ομαδοποιήσεις γνωρισμάτων σε κλάσεις γνωρισμάτων, μετακλάσεις γνωρισμάτων, κ.ο.κ. Τέλος μπορούν να συμμετάσχουν σε ιεραρχίες γενίκευσης-εξειδίκευσης κατηγοριών γνωρισμάτων.

Στην υλοποίηση της SIS-Telos, οι σύνδεσμοι (ταξινόμησης, γενίκευσης, γνωρισμάτων) αποθηκεύονται ως σύνδεσμοι διπλής κατεύθυνσης, προσφέροντας καλές επιδόσεις στις διασχίσεις και ερωτήσεις, αυξάνοντας όμως το μέγεθος της βάσης.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα του συντακτικού της γλώσσας εισαγωγής δεδομένων της SIS-Telos (Telos data entry language):

TELL Individual *Άνθρωπος* **in S_Class** with
  attribute
    όνομα : String;
    χρόνος_γέννησης : Time

end

TELL Individual *Εργαζόμενος* **in S_Class** isA *Άνθρωπος* with

attribute

μισθός : Integer

end

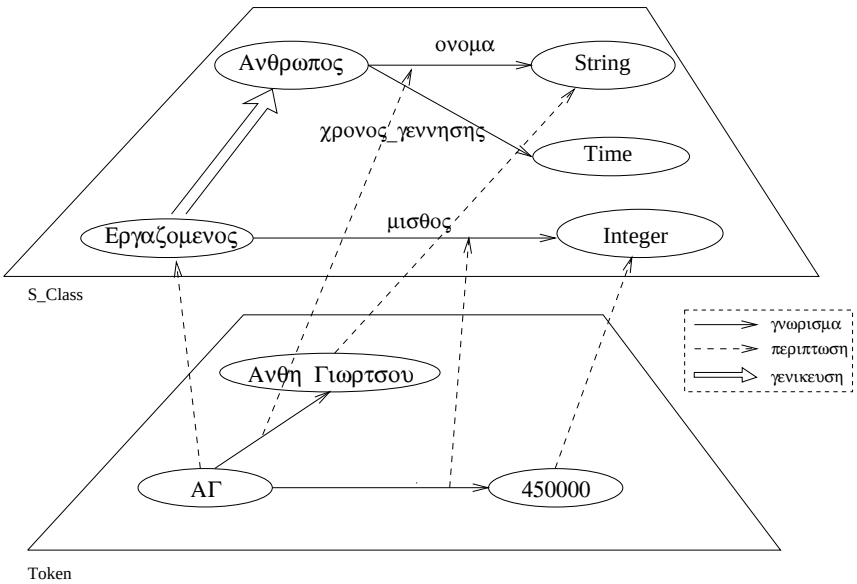
TELL Individual *ΑΓ* **in Token** , *Εργαζόμενος*

with *όνομα :* ‘‘Ανθή Γιώρτσου’’

with *μισθός :* 450000

end

Οι προτάσεις SIS-Telos στο παραπάνω παράδειγμα, δημιουργούν τη βάση που απεικονίζεται στο σχήμα 3.1.

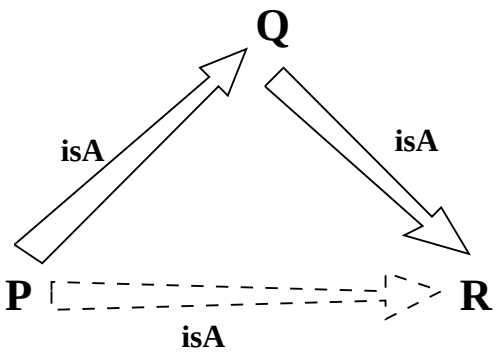


Σχήμα 3.1: Ένα παράδειγμα μιας βάσης SIS-Telos

Γενικοί κανόνες που σχετίζονται με το μηχανισμό γενίκευσης.

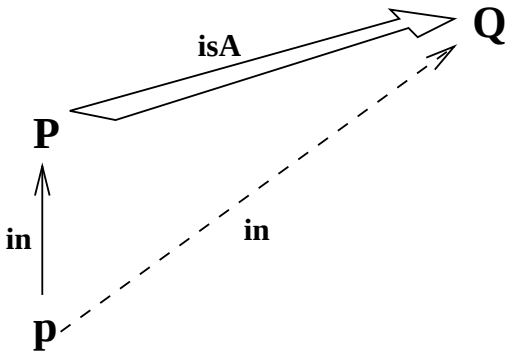
Όπως αναφέρεται παραπάνω, δύο κλάσεις που σχετίζονται μεταξύ τους με σχέση γενίκευσης πρέπει να ανήκουν στο ίδιο επίπεδο ταξινόμησης. Επίσης οι σχέσεις αυτές πρέπει να δηλώνονται μη κυκλικά. Η σχέση *isA* είναι μεταβατική. Στην παράγραφο αυτή θα οριστούν κανόνες που προκύπτουν από την μεταβατικότητα αυτή καθώς και από τον συνδυασμό των διαφόρων μηχανισμών που παρέχει η Telos, με τον μηχανισμό γενίκευσης.

Κανόνας 3.1 *Αν η κλάση P είναι γενίκευση της κλάσης Q και η Q γενίκευση της κλάσης R τότε και η P είναι γενίκευση της R (σχήμα 3.2).*



Σχήμα 3.2:

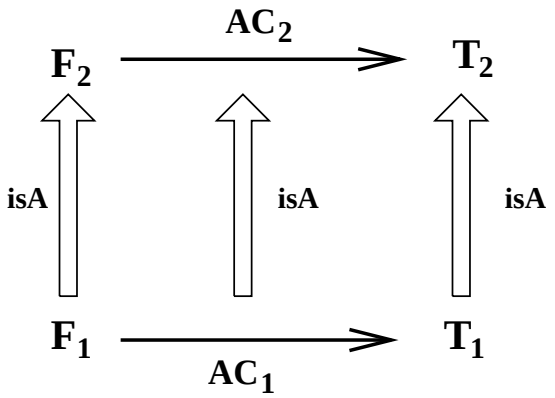
Κανόνας 3.2 *Αν η κλάση P είναι γενίκευση της κλάσης Q και p μία περίπτωση του P τότε το p είναι περίπτωση και του Q (σχήμα 3.3).*



Σχήμα 3.3:

Πρέπει να σημειωθεί οτι γενικά το αντίστροφο δεν ισχύει. Δηλαδή αν η κλάση P είναι εξειδίκευση της κλάσης Q και η p περίπτωση της κλάσης P, αυτό δεν σημάινει ότι και η p είναι περίπτωση της Q.

Κανόνας 3.3 *Έστω AC_1 και AC_2 κατηγορίες γνωρισμάτων. Αν AC_1 isA AC_2, τότε τα σύνολα αφετηρίας και αφίξεως της AC_1 είναι υποκλάσεις των αντίστοιχων συνόλων της AC_2 (σχήμα 3.4).*



Σχήμα 3.4:

Σ'αυτή την περίπτωση η κατηγορία AC_1 ''αντικαθιστά'' την κατηγορία AC_2 για το σύνολο αφετηρίας της AC_1 και τις εξειδικεύσεις του. Αυτό σημαίνει οτι δεν υπάρχει περίπτωση του συνόλου αφετηρίας της AC_1 που να έχει γνώρισμα, άμεση περίπτωση της κατηγορίας AC_2 (κληρονομεί το γνώρισμα AC_1 και όχι το AC_2).

Οι παραπάνω κανόνες θα μας βοηθήσουν στη συνέχεια της εργασίας, στον ορισμό περιορισμών ώστε η εισαγωγή χρονικής διάστασης να μην επηρεάζει τη συνέπεια του μοντέλου.

3.2.1 Ο χρονικός πρωτογενής τύπος δεδομένων Telos_Time

Στην διπλωματική εργασία με τίτλο "Εισαγωγή της έννοιας του χρόνου ως πρωτογενούς στοιχείου στη γλώσσα Telos" (βλ. [10]), μελετήθηκε το πρόβλημα ερμηνείας, καταγραφής και χειρισμού της χρονικής πληροφορίας, όπως αυτό παρουσιάζεται από την προοπτική των πληροφοριακών συστημάτων. Ο χρόνος αντιμετωπίστηκε σαν κάτι το πρωτογενές, που αντιπροσωπεύει την εξέλιξη ενός γεγονότος. Μ' αυτή τη θεώρηση,

ο χρόνος αποκτά αρχή, τέλος και διάρκεια και κατά συνέπεια κωδικοποιείται με την μορφή αριθμητικού διαστήματος.

Για την κωδικοποίηση λοιπόν και την αποθήκευση της χρονικής πληροφορίας δημιουργήθηκε μία κλάση που ονομάστηκε **TIME**. Η κλάση αυτή έχει δύο πεδία που αντιπροσωπεύουν το αριθμητικό διάστημα, μέσω του οποίου παριστάνεται η πληροφορία. Τα πεδία αυτά είναι οι ακέραιοι **lower** και **upper** και αντιπροσωπεύουν τα άκρα του διαστήματος (το αριστερό και το δεξί αντίστοιχα). Για τον ορισμό μιάς χρονικής τιμής, υπάρχει ένα σύνολο εκφράσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Οι εκφράσεις αυτές ακολουθούν το πρότυπο δήλωσης χρόνου του *Art and Architecture Thesaurus [24].* Πολύ σημαντικό είναι το γεγονός οτι διαφορετικοί τρόποι δήλωσης του χρόνου, κωδικοποιούνται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο (π.χ. 19ος αιώνας και 1821 Μάρτιος 25 κωδικοποιούνται με τον ίδιο τρόπο). Τα άκρα του αριθμητικού διαστήματος που κωδικοποιεί την δοσμένη πληροφορία αποθηκεύονται στους ακεραίους lower και upper με λεπτομέρεια ημέρας. Κάθε ακέραιος περιέχει ολόκληρη την ημερομηνία (χρόνος μήνας μέρα) του αντίστοιχου άκρου του διαστήματος. Η ομοιόμορφη αυτή κωδικοποίηση δίνει την δυνατότητα αποδοτικής ανάκλησης και επεξεργασίας της χρονικής πληροφορίας (αποδοτική εφαρμογή ερωτήσεων).

Εκτός από τις συνηθισμένες χρονικές τιμές, επιτρέπεται η δήλωση ημι-άπειρων χρονικών διαστημάτων, στα οποία μόνο το ένα άκρο εκφράζει συγκεκριμένη ημερομηνία (για παράδειγμα, 1986/10/25..+). Επίσης υπάρχει το άπειρο χρονικό διάστημα **AllTime**, καθώς και το ειδικό διάστημα **Now**, που αναφέρεται στον τρέχοντα χρόνο συστήματος.

Παράλληλα με τον μηχανισμό κωδικοποίησης της εισαγόμενης χρονικής πληροφορίας, έχει αναπτυχθεί μηχανισμός παρουσίασης της αποθηκευμένης χρονικής πληροφορίας. Ο μηχανισμός αυτός δημιουργεί την αρχική έκφραση, με την οποία ο χρήστη είχε εισάγει την πληροφορία χρόνου, λαμβάνοντας υπόψη την κωδικοποίηση που υπάρχει αποθηκευμένη στο σύστημα.

Τέλος, για τον χειρισμό της χρονικής πληροφορίας και την διεξαγωγή πράξεων δημιουργήθηκε μια σειρά από βασικές-πρωτογενείς ερωτήσεις οι οποίες βασίστηκαν στους τελεστές σύγκρισης που αναφέρονται σε μια σειρά εργασιών του Allen (βλ. [2, 3]). Η σημασία των τελεστών αυτών φαίνεται παραστατικά στο σχήμα 3.5.

3.3 Το Σύστημα Σημασιολογικού Ευρετηριασμού - SIS

Το Σύστημα Σημασιολογικού Ευρετηριασμού (*Semantic Index System - SIS*) [5] είναι ένα *σύστημα διαχείρισης γνώσης* το οποίο ακολουθεί το μοντέλο δεδομένων της γλώσσας SIS-Telos. Το SIS αποτελείται από ένα σύνολο εφαρμογών και διεπαφών οι οποίες επικοινωνούν με κάθε βάση δεδομένων μέσω του μηχανισμού αποθήκευσης και διαχείρισης οντοτήτων [11]. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι:

- Ο *συντακτικός αναλυτής* της SIS-Telos είναι η εφαρμογή που χρησιμοποιείται για την κατασκευή μιας βάσης από μια σειρά SIS-Telos προτάσεων.
- Το *σύστημα σημασιολογικού ελέγχου (Semantic Checker).* Μια διεπαφή που χρησιμοποιείται για την ενημέρωση και τον έλεγχο της σημασιολογικής ακεραιότητας μιας βάσης.
- Τα *δελτία εισαγωγής δεδομένων (Data Entry Forms- EF).* Μια εφαρμογή για τη διάλογική ενημέρωση βάσεων.
- Η *διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών (Application Programming Interface - API).* Μια διεπαφή που παρέχει την δυνατότητα σε προγράμματα C και C++ να υποβάλλουν ερωτήσεις σε μια βάση.
- Ο *answerer.* Μια διαλογική εφαρμογή για την επερώτηση SIS-Telos βάσεων.
- Η *διεπαφή γραφικής ανάλυσης (Graphical Analysis INterface - GAIN).* Ένα πλήρως προσαρμοζόμενο εργαλείο για την εξερεύνηση SIS-Telos βάσεων, με προχωρημένες δυνατότητες παράστασης γράφων. Συνήθως προσαρμόζεται ώστε να εκτελεί προκαθορισμένες ερωτήσεις χρηστών ή να συνδιάζεται με τα EF. Είναι η πιο υψηλού επιπέδου εφαρμογή του SIS.

ΤΕΛΕΣΤΗΣ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΣΥΜΒΟΛΟ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΟΥ ΤΕΛΕΣΤΗ	ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ
X before Y	**<**	**>**	**XXX YYY**
X equal Y	**=**	**=**	**XXX YYY**
X meets Y	**m**	**mi**	**XXXYYY**
X overlaps Y	**o**	**oi**	**XXXX YYYY**
X during Y	**d**	**di**	**XXX YYYYYYYY**
X starts Y	**s**	**si**	**XXXX YYYYYYY**
X finishes Y	**f**	**fi**	**XXXX YYYYYYY**

Σχήμα 3.5: Χρονικοί τελεστές.

Κεφάλαιο 4

Χρονική επέκταση

4.1 Εισαγωγή

Σε μία άχρονη βάση δεδομένων τα χαρακτηριστικά ενός αντικειμένου είναι αμετάβλητα για όσο χρόνο παραμένουν στη βάση. Ένα χαρακτηριστικό ή ένα αντικείμενο μπορεί να έχει μία μόνο τιμή που αντιστοιχεί στην χρονική περίοδο στην οποία αναφέρεται το στιγμιότυπο της βάσης. Αντίθετα σε μία χρονική βάση δεδομένων οι ιδιότητες των αντικειμένων καθώς και οι σχέσεις μεταξύ τους μπορούν να μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου. Ένα χαρακτηριστικό μπορεί να έχει διαφορετικές τιμές ταυτόχρονα αποθηκευμένες στη βάση, οι οποίες να αναφέρονται σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα.

Σε μία μη χρονική βάση δεδομένων λοιπόν, για έναν εργαζόμενο θα υπάρχει η πληροφορία μόνο για τον τρέχοντα μισθό του ή μόνο για το μισθό που ο υπάλληλος αυτός έπαιρνε κατά την χρονική περίοδο στην οποία αναφέρονται οι πληροφορίες της βάσης. Σε μία χρονική βάση δεδομένων όμως, όπου παρέχεται η δυνατότητα μοντελοποίησης και καταγραφής χρονικά μεταβλητών χαρακτηριστικών και σχέσεων, μπορούμε να ανακαλέσουμε πληροφορίες για ολόκληρη την ιστορία του μισθού.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται μία μελέτη για την χρονική επέκταση των μοντέλων που μπορούν να οριστούν με την SIS-Telos καθώς και των περιορισμών που συνεπάγεται μία τέτοια επέκταση.

4.2 Που εισάγεται χρονική διάσταση

Τέτοια μεταβλητή συμπεριφορά λοιπόν μπορεί να μοντελοποιηθεί με την εισαγωγή χρονικής διάστασης στα μοντέλα με τα οποία παριστάνουμε την γνώση. Γενικά στην βιβλιογραφία παρουσιάζονται δύο προσεγγίσεις μοντελοποίησης χρονικών δεδομένων. Η εισαγωγή χρονικής διάστασης σε επίπεδο γνωρισμάτων και η εισαγωγή χρονικής διάστασης σε επίπεδο οντοτήτων. Στην παρούσα εργασία θεωρούμε οτι τα διαφορετικά χαρακτηριστικά ενός αντικειμένου μπορούν να μεταβάλονται σε διαφορετικές στιγμές μέσα στο χρόνο, ασύγχρονα, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την εισαγωγή χρονικής διάστασης σε επίπεδο γνωρίσματος. Παρόλα αυτά όμως και η εισαγωγή χρονικής διάστασης σε επίπεδο οντοτήτων παρέχει την δυνατότητα διατήρησης εκδόσεων για ολόκληρη την οντότητα. Γι'αυτό ακριβώς το λόγο η χρονική διάσταση αποδίδεται τόσο στις οντότητες όσο και στα γνωρίσματα τους.

Τα οντοκεντρικά μοντέλα παράστασης δεδομένων, δίνουν τη δυνατότητα μοντελοποίησης των διαφορετικών ιδιοτήτων που μπορεί να έχει μία οντότητα μέσω και των μηχανισμών ταξινόμησης και γενίκευσης-εξειδίκευσης. Για παράδειγμα, ένα άτομο μπορεί να έχει τόσο την ιδιότητα του τεχνικού (ως κύριο επάγγελμα) όσο και την ιδιότητα του κηπουρού (ως δευτερεύουσα ενασχόληση). Η χρονική επέκταση των σχέσεων ταξινόμησης και γενίκευσης-εξειδίκευσης, παρέχει την δυνατότητα καταγραφής αλλαγών στις ιδιότητες των αντικειμένων, όπως για παράδειγμα την προαγωγή του παραπάνω υπαλλήλου από την ιδιότητα του τεχνικού στην ιδιότητα του διευθυντή.

Συνοψίζοντας λοιπόν, χρονική διάσταση εισάγεται τόσο σε επίπεδο οντοτήτων όσο και σε επίπεδο γνωρισμάτων. Επιπλέον καταγράφουμε τις χρονικές μεταβολές στις σχέσεις ταξινόμησης καθώς και στις σχέσεις γενίκευσης-εξειδίκευσης. Τέλος διακρίνουμε μεταξύ **χρονικών** ή **μεταβλητών** και **αμετάβλητων** αντικειμένων. Τα **χρονικά** ή **μεταβλητά** αντικείμενα είναι εκείνα που μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου. Οι αλλαγές αυτές καταγράφονται, ενώ οι παλιότερες τιμές διατηρούνται επίσης στη βάση. **Αμετάβλητα** αντικείμενα ονομάζονται τα αντικείμενα που ανήκουν σε κάποιο πρωτογενή τύπο δεδομένων, όπως για παράδειγμα ένα αλφαριθμητικό ή ένας ακέραιος καθώς και οι κλάσεις συστήματος. Τα αμετάβλητα αντικείμενα μπορούν να θεωρηθούν οτι έχουν άπειρη χρονική ισχύ.

4.2.1 Με ποια μορφή εισάγεται

Για την ερμηνεία, καταγραφή και χειρισμό της χρονικής πληροφορίας αναπτύχθηκε στην SIS-Telos ένας πρωτογενής τύπος δεδομένων, το χρονικό πρωτογενές στοιχείο. Ο τύπος αυτός αντιμετωπίζει τον χρόνο σαν κάτι που έχει αρχή, διάρκεια και τέλος. Ο τύπος δεδομένων που υλοποιήθηκε για την κωδικοποίησή του, έχει την μορφή αριθμητικού διαστήματος, όπως περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 3 και στο [10].

Η εισαγωγή χρονικής διάστασης στα μοντέλα που μπορούν να οριστούν με την SIS-Telos μπορεί να πραγματοποιηθεί με χρήση του μηχανισμού απόδοσης γνωρίσματος που η SIS-Telos υποστηρίζει. Η εισαγωγή χρονικής διάστασης σε επίπεδο οντότητας μοντελοποιείται με την απόδοση ενός χρονικού γνωρίσματος σε κάθε οντότητα που ορίζουμε. Για παράδειγμα, έστω ο ορισμός μίας κλάσης οντοτήτων με το όνομα ”Εργαζόμενος”. Για να μπορούμε να κρατάμε εκδόσεις των οντοτήτων αυτής της κλάσης, ορίζουμε το χρονικό χαρακτηριστικό *χρόνος* :

TELL Individual *Εργαζόμενος* **in S_Class** with
attribute
χρόνος : Time
end

Η ίδια ακριβώς προσέγγιση μπορεί να ακολουθηθεί για την χρονική επέκταση του μοντέλου και σε επίπεδο γνωρισμάτων. Όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 3, η SIS-Telos παρέχει την δυνατότητα απόδοσης γνωρίσματος σε γνώρισμα. Έτσι λοιπόν σε κάθε γνώρισμα που ορίζουμε αποδίδουμε ένα επιπλέον χρονικό γνώρισμα. Στο παράδειγμα λοιπόν που παρουσιάζουμε:

RETELL Individual *Εργαζόμενος* **in S_Class** with
attribute
όνομα : String;
μισθός : Integer;
δουλεύει_στο : *Τμήμα*
end

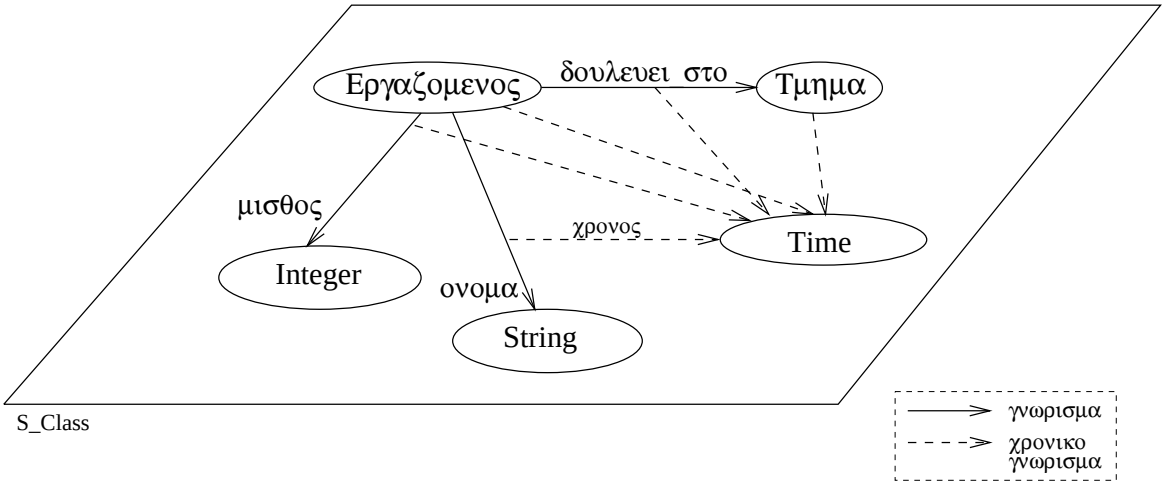
RETELL Attribute *όνομα*
from : *Εργαζόμενος*
to : String
in S_Class with attribute
χρόνος : Time
end

RETELL Attribute *μισθός*
from : *Εργαζόμενος*
to : Integer
in S_Class with attribute
χρόνος : Time
end

RETELL Attribute *δουλεύει_στο*
from : *Εργαζόμενος*
to : *Τμήμα*
in S_Class with attribute
χρόνος : Time
end

Η χρονική επέκταση του παραπάνω μοντέλου φαίνεται στο σχήμα 4.1.

Τα χρονικά δεδομένα δημιουργούνται, μεταβάλλονται και διαγράφονται σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Οι Snodgrass και Ahn στην εργασία τους [23] δείχνουν οτι η χρονική διάσταση που εισάγεται σε ένα μοντέλο δεδομένων μπορεί να έχει μία από δύο έννοιες (ή και τις δύο). Μπορεί να έχει την έννοια **χρόνου ισχύος (valid time)**, να καταγράφει δηλαδή την χρονική περίοδο που το αντικείμενο ισχύει στην πραγματικότητα που μοντελοποιούμε. Η άλλη έννοια που μπορεί να αποδοθεί στην καταγραφόμενη χρονική πληροφορία είναι ο χρόνος που το αντικείμενο αποθηκεύτηκε στη βάση, ο χρόνος δηλαδή που το αντικείμενο έγινε "γνωστό" στο σύστημα. Ο χρόνος αυτός ονομάζεται **χρόνος δοσοληψίας (transaction time)**. Σε ένα χρονικό μοντέλο



Σχήμα 4.1: Χρονική επέκταση σημασιολογικού μοντέλου

δεδομένων ο χρόνος που καταγράφεται μπορεί να έχει μία από τις δύο, ή και τις δύο παραπάνω έννοιες. Η επιλογή εξαρτάται από το είδος των εφαρμογών για τις οποίες προορίζεται το μοντέλο. Για παράδειγμα σε ένα μοντέλο που έχει αναπτυχθεί για τραπεζικές ή χρηματιστηριακές εφαρμογές είναι προφανές πως ο χρόνος δοσοληψίας παίζει σημαντικό ρόλο. Αντίθετα σε ένα μοντέλο που περιγράφει τα εξαρτήματα ενός μηχανήματος, η καταγραφή του χρόνου δοσοληψίας δεν είναι απαραίτητη ενώ ο χρόνος ισχύος παίζει σημαντικό ρόλο, δεδομένου ότι είναι δυνατό η τεχνολογία του μηχανήματος να εξελίσσεται και κατά συνέπεια να εξελίσεται και το μοντέλο. Η χρονική επέκταση του μοντέλου με την έννοια του χρόνου ισχύος δίνει την δυνατότητα διατήρησης εκδόσεων της τεχνολογίας του μηχανήματος που μοντελοποιείται. Στην παρούσα εργασία, η χρονική διάσταση του μοντέλου έχει την έννοια του χρόνου ισχύος.

4.3 Χρονικοί περιορισμοί

Για να είναι εφικτή και παράλληλα αποδοτική η καταγραφή των χρονικών μεταβολών και ιδιοτήτων των αντικειμένων, απαραίτητη είναι η επιβολή περιορισμών χρονικής φύσεως. Το χρονικό γνώρισμα που αποδίδουμε στα αντικείμενα του μοντέλου είναι συνάρτηση με πεδίο ορισμού το σύνολο των αντικειμένων τα οποία επεκτείνουμε χρονικά (οντότητες, γνωρίσματα, σχέσεις) και πεδίο τιμών το σύνολο T των επιτρεπτών χρονικών

διαστημάτων. Από εδώ και στο εξής λοιπόν, για λόγους σαφήνειας, η χρονική διάσταση των αντικειμένων θα εκφράζεται μέσω μιας συνάρτησης που την ονομάζουμε *lifespan*. Η συνάρτηση αυτή παίρνει όρισμα ένα οποιδήποτε χρονικό αντικείμενο και επιστρέφει το χρονικό διάστημα ισχύος του. Για παράδειγμα η παρακάτω εφαρμογή της συνάρτησης *lifespan*:

lifespan(Εργαζόμενος)

επιστρέφει το χρονικό διάστημα ισχύος της κλάσης "Εργαζόμενος", δηλαδή το χρονικό διάστημα από την δημιουργία έως την διαγραφή της κλάσης αυτής. Εκτός από τον συνολικό χρόνο ισχύος ενός αντικειμένου, είναι δυνατό να υπάρχουν και άλλοι χρόνοι ισχύος που αποδίδονται στο αντικείμενο και αναφέρονται στο χρονικό διάστημα που αυτό είχε κάποια συγκεκριμένη ιδιότητα. Αυτό προκύπτει από τους μηχανισμούς γενίκευσης-εξειδίκευσης και ταξινόμησης οι οποίοι παρέχουν την δυνατότητα συμμετοχής ενός αντικειμένου σε πολλές κλάσεις ώστε να μοντελοποιούνται οι διαφορετικές του ιδιότητες. Ειδικότερα σε ένα χρονικό μοντέλο οι διαφορετικές αυτές ιδιότητες ενός αντικειμένου, μπορούν να μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου. Πρέπει λοιπόν να συμπεριλάβουμε στο πεδίο ορισμού της συνάρτησης *lifespan* και τις σχέσεις ταξινόμησης και εξειδίκευσης. Δηλώνουμε λοιπόν:

lifespan(My_Person **in** Εργαζόμενος)

και λαμβάνουμε το χρονικό διάστημα (ή τα χρονικά διαστήματα) κατά την διάρκεια του οποίου το αντικείμενο My_Person ήταν περίπτωση της κλάσης "Εργαζόμενος" (ουσιαστικά δηλαδή το χρονικό διάστημα ισχύος του συνδέσμου ταξινόμησης του αντικειμένου My_Person στην κλάση "Εργαζόμενος").

Η συνάρτηση *lifespan*, όπως αναφέρεται παραπάνω, παριστάνει τη χρονική διάσταση των αντικειμένων του μοντέλου. Είναι ένα μέσο για να μπορέσουμε να ορίσουμε με μεγαλύτερη σαφήνεια τους περιορισμούς που πρέπει να ισχύουν μετά την χρονική επέκταση του μοντέλου.

4.3.1 Περιορισμοί σε διμελείς σχέσεις

Σε οντοκεντρικά και σημασιολογικά μοντέλα δεδομένων οι οντότητες καθώς και οι κλάσεις οντοτήτων συνδέονται μεταξύ τους με διάφορα είδη σχέσεων. Οι σχέσεις αυτές είναι διμελείς και υπάρχει αντιστοιχία με τις σχέσεις μεταξύ συνόλων. Ας θεωρήσουμε μία διμελή σχέση R μεταξύ μιας κλάσης A και μιας κλάσης B. Τα σύνολα αφετηρίας

και αφίξεως της R είναι όλες οι οντότητες τύπου A και B αντίστοιχα. Αν υποθέσουμε οτι τόσο οι κλάσεις A και B όσο και η σχέση R έχουν επεκταθεί χρονικά, είναι προφανές ότι η σχέση R δεν μπορεί να ισχύει σε κάποιο χρονικό διάστημα T αν οι κλάσεις (σύνολα) τις οποίες συσχετίζει δεν ισχύουν στο ίδιο χρονικό διάστημα.

Ορίζουμε δύο καινούριες συναρτήσεις τις *from* και *to*. Οι συναρτήσεις αυτές δέχονται ως παράμετρο μία οποιαδήποτε διμελή σχέση ορισμένη σε ένα σημασιολογικό μοντέλο. Η συνάρτηση *from* επιστρέφει το αντικείμενο (κλάση ή οντότητα) αφετηρίας, ενώ η συνάρτηση *to* επιστρέφει το αντικείμενο (κλάση ή οντότητα) αφίξεως. Δηλαδή στο παράδειγμα της σχέσης R :

from(R) = A

to(R) = B

Ορίζουμε ένα πολύ βασικό αξίωμα σε ότι αφορά το χρονικό διάστημα που αποδίδεται σε μία διμελή σχέση :

Αξίωμα 4.1 Χρονική ορθότητα διμελών σχέσεων
Για να είναι **χρονικά** *ορθός ο ορισμός μιας σχέσης R μεταξύ δύο αντικειμένων A και B πρέπει να ισχύουν οι ακόλουθοι περιορισμοί:*

(C_1) lifespan*(R)* $\subseteq$ lifespan*(from(R))*

(C_2) lifespan*(R)* $\subseteq$ lifespan*(to(R))*

□

Σε ένα σημασιολογικό μοντέλο δεδομένων, μεταξύ αντικειμένων καθώς και μεταξύ κλάσεων αντικειμένων ορίζονται τα ακολουθα είδη διμελών σχέσεων:

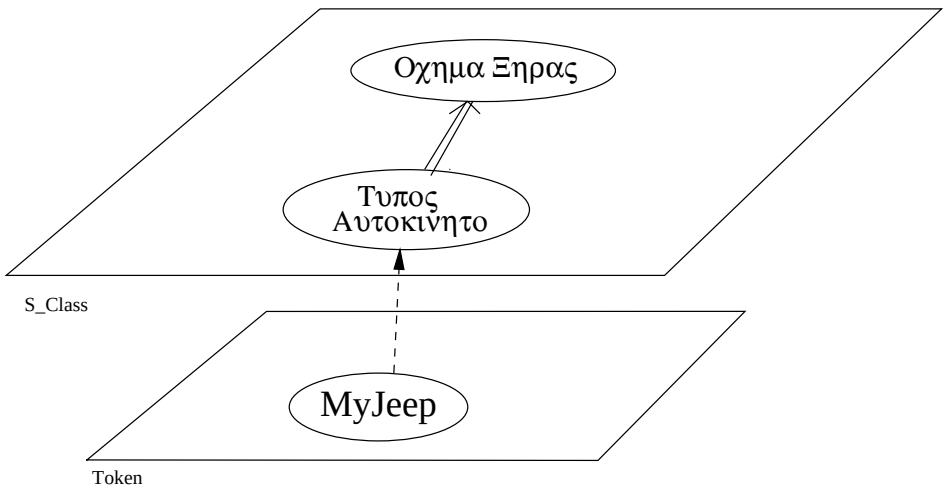
- **Γνωρίσματα:** Ένα αντικείμενο μπορεί να συνδέεται με ένα άλλο μέσω μίας *σχέσης*, που αποτελεί ένα *γνώρισμα* αυτού του αντικειμένου.
- **Κλάσεις αντικειμένων:** Αντικείμενα με κοινά χαρακτηριστικά μπορούν να ομαδοποιηθούν/ταξινομηθούν σε μία κλάση αντικειμένων η οποία με τη σειρά της αποτελεί ένα αντικείμενο. Η ταξινόμηση αυτή αποτελεί διμελή σχέση μεταξύ του αντικειμένου και της κλάσης στην οποία αυτό ανήκει.

- **Γενικεύσεις-Εξειδικεύσεις Κλάσεων αντικειμένων:** Μια κλάση αντικειμένων μπορεί να περιγραφεί ως εξειδίκευση μιας άλλης, της οποίας είναι υποσύνολο και κληρονομεί κάποια χαρακτηριστικά. Η σχέση που συνδέει τα αντικείμενα αυτά ονομάζεται *σχέση γενίκευσης-εξειδίκευσης.*

Ας εξετάσουμε πως εφαρμόζεται το Αξίωμα 4.1 για τη σχέση εξειδίκευσης. Στο σχήμα 4.2, η κλάση "Τύπος Αυτοκίνητο" είναι εξειδίκευση της κλάσης "Όχημα Ξηράς". Μία τέτοια συσχέτιση προφανώς δεν μπορεί να υπάρξει χρονικά αν και οι δύο κλάσεις οντοτήτων ("Τύπος Αυτοκίνητο" και "Όχημα Ξηράς") δεν ισχύουν στο χρονικό διάστημα στο οποίο ορίζεται η μεταξύ τους σχέση. Στο παράδειγμα λοιπόν αυτό, το Αξίωμα 4.1 εφαρμόζεται για την σχέση (Τύπος-Αυτοκίνητο isA Όχημα-Ξηράς) ως εξής :

lifespan(Τύπος-Αυτοκίνητο isA Όχημα-Ξηράς) $\subseteq$ *lifespan*(Τύπος-Αυτοκίνητο)

lifespan(Τύπος-Αυτοκίνητο isA Όχημα-Ξηράς) $\subseteq$ *lifespan*(Όχημα-Ξηράς)



Σχήμα 4.2: Χρονικοί περιορισμοί σε σχέσεις ταξινόμησης και γενίκευσης

Οι σχέσεις ταξινόμησης και γενίκευσης περιορίζονται χρονικά από τους χρόνους ισχύος των αντικειμένων που συσχετίζουν

Στην περίπτωση που η διμελής σχέση μεταξύ δύο αντικειμένων είναι η σχέση γενίκευσης οι περιορισμοί του Αξιώματος 4.1 είναι αρκετοί για τον σωστό ορισμό

του χρονικού διαστήματος της σχέσης αυτής. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση που της σχέσης ταξινόμησης. Στην περίπτωση της σχέσης γνωρίσματος όμως, οι περιορισμοί (C_1) και (C_2) μπορεί να αποδειχθούν ανεπαρκείς και να μην εξασφαλίζουν πλήρως την χρονική ορθότητα της συσχέτισης αυτής. Αυτό συμβαίνει όταν το γνώρισμα του αντικειμένου κληρονομείται από την κλάση στην οποία ανήκει το αντικείμενο αυτό. Στην περίπτωση αυτή, το χρονικό διάστημα ισχύος του γνωρίσματος περιορίζεται και από το χρονικό διάστημα της κλάσης γνωρισμάτων στην οποία ανήκει. Επίσης στην περίπτωση αυτή, πρέπει να εξασφαλιστεί και η ορθότητα της τιμής του γνωρίσματος, με αποτέλεσμα ο χρόνος ισχύος του να περιορίζεται ακόμη περισσότερο.

Εκτός λοιπόν από τους περιορισμούς του Αξιώματος 4.1, υπάρχουν χρονικοί περιορισμοί που προκύπτουν από την συμμετοχή ενός αντικειμένου σε ιεραρχίες σχέσεων ταξινόμησης και γενίκευσης. Οι περιορισμοί αυτοί περιγράφονται στην ενότητα που ακολουθεί.

4.3.2 Περιορισμοί σε ιεραρχίες

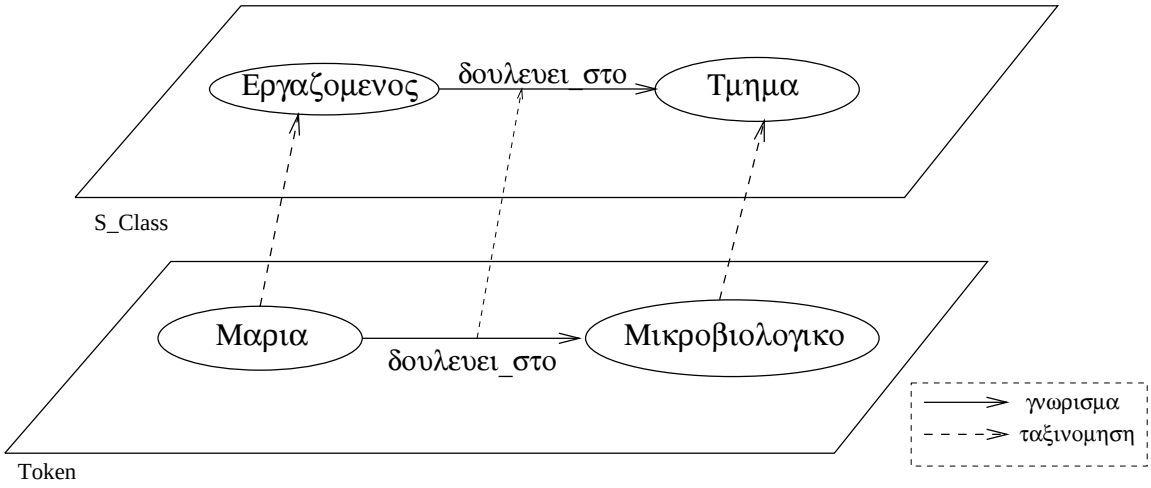
Στο σχήμα 4.3, το γνώρισμα "Μαρία.δουλεύει_στο" κληρονομείται από την κλάση "Εργαζόμενος". Ο χρόνος ισχύος του λοιπόν, περιορίζεται από το χρόνο ισχύος της κλάσης γνωρισμάτων "Εργαζόμενος.δουλεύει_στο". Επιπλέον για να έχει νόημα το γνώρισμα "Μαρία.δουλεύει_στο", πρέπει σ' όλη τη διάρκεια του χρόνου ισχύος του, το αντικείμενο άφιξης του να είναι περίπτωση της κλάσης "Τμήμα". Συνεπώς το χρονικό διάστημα ισχύος του γνωρίσματος "Μαρία.δουλεύει_στο" περιορίζεται και από το χρόνο ισχύος της σχέσης ταξινόμησης της οντότητας "Μικροβιολογικό" στην κλάση "Τμήμα".

Έστω R μία κλάση γνωρισμάτων και r γνώρισμα, περίπτωση της κλάσης R. Ορίζουμε δύο επιπλέον χρονικούς περιορισμούς που πρέπει να ισχύουν ταυτόχρονα με τους περιορισμούς που θέτει το Αξίωμα 4.1 :

(C_3) *lifespan*(r) $\subseteq$ *lifespan*(R)

(C_4) *lifespan*(r) $\subseteq$ *lifespan*(*to*(r) in *to*(R))

Οι παραπάνω περιορισμοί πρέπει να ισχύουν και στην περίπτωση που το r είναι εξειδίκευση του R. Στην περίπτωση αυτή, ο (C_3) παραμένει όπως έχει ενώ ο (C_4) γίνεται:



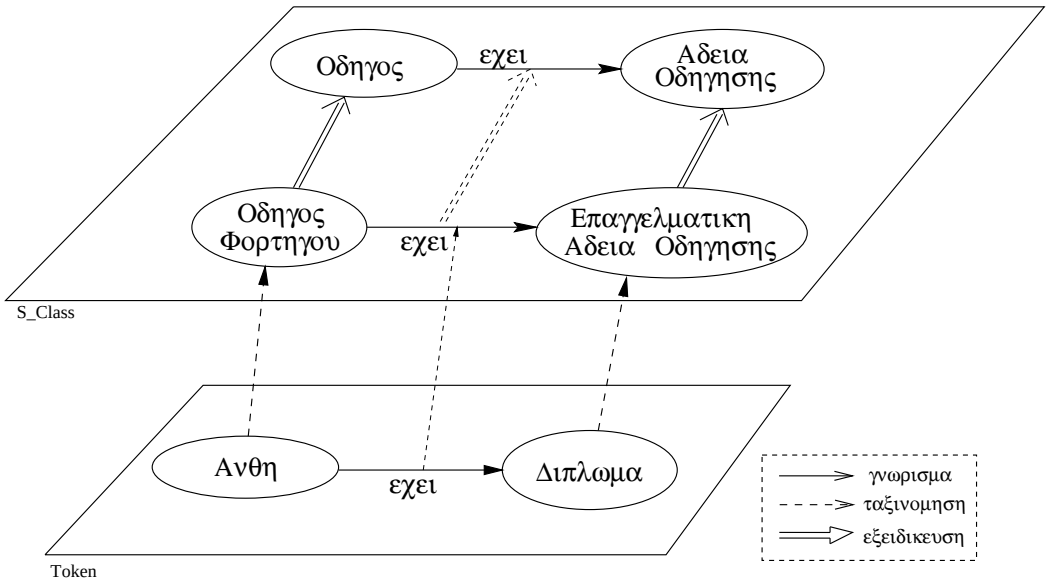
Σχήμα 4.3: Χρονικοί περιορισμοί σε ιεραρχίες

Το χρονικό διάστημα ισχύος του γνωρίσματος "Μαρία.δουλεύει_στο" περιορίζεται από το περιορίζεται από το χρονικό διάστημα ισχύος της κλάσης γνωρισμάτων "Εργαζόμενος.δουλεύει_στο" καθώς και από το χρονικό διάστημα ισχύος της σχέσης ταξινόμησης (Μικροβιολογικό in Τμήμα).

(C_5) *lifespan*(r) $\subseteq$ *lifespan*(to(r) isA to(R))

Συνδιάζοντας τους χρονικούς περιορισμούς που ορίστηκαν παραπάνω, προκύπτουν διάφοροι περιορισμοί που πρέπει να ισχύουν ώστε να διατηρούνται οι ιδιότητες του δομικού μοντέλου της Telos. Έστω, για παράδειγμα, το σχήμα 4.4. Σύμφωνα με τον κανόνα 3.3 του κεφαλαίου 3, η οντότητα "Ανθή" κληρονομεί το γνώρισμα "έχει" από την κλάση "Οδηγός Φορτηγού" και όχι από την κλάση "Οδηγός". Κατά συνέπεια, η οντότητα "Δίπλωμα" πρέπει να είναι περίπτωση της κλάσης "Επαγγελματική Άδεια Οδήγησης" τουλάχιστον όσο χρόνο ισχύει η συσχέτισή της με την οντότητα "Ανθή". Εφαρμόζοντας τους χρονικούς περιορισμούς (C_1)-(C_5) σε κάθε αντικείμενο του μοντέλου του σχήματος 4.4 καταλήγουμε στους εξής περιορισμούς :

1. *lifespan*(Οδηγός.έχει) $\subseteq$ *lifespan*(Οδηγός)
2. *lifespan*(Οδηγός.έχει) $\subseteq$ *lifespan*(Άδεια Οδήγησης)
3. *lifespan*(Οδηγός Φορτηγού isA Οδηγός) $\subseteq$ *lifespan*(Οδηγός)
4. *lifespan*(Οδηγός Φορτηγού isA Οδηγός) $\subseteq$ *lifespan*(Οδηγός Φορτηγού)



Σχήμα 4.4: Παράδειγμα εφαρμογής χρονικών περιορισμών

5. *lifespan*(Επαγγελματική Άδεια Οδήγησης isA Άδεια Οδήγησης) ⊆ *lifespan*(Άδεια Οδήγησης)

6. *lifespan*(Επαγγελματική Άδεια Οδήγησης isA Άδεια Οδήγησης) ⊆ *lifespan*(Επαγγελματική Άδεια Οδήγησης)

7. *lifespan*(Οδηγός-Φορτηγού.έχει) ⊆ *lifespan*(Οδηγός Φορτηγού)

8. *lifespan*(Οδηγός-Φορτηγού.έχει) ⊆ *lifespan*(Επαγγελματική Άδεια Οδήγησης)

9. *lifespan*(Οδηγός-Φορτηγού.έχει) ⊆ *lifespan*(Οδηγός.έχει)

10. *lifespan*(Οδηγός-Φορτηγού.έχει) ⊆ *lifespan*(Επαγγελματική Άδεια Οδήγησης isA Άδεια Οδήγησης)

11. *lifespan*(Ανθή in Οδηγός Φορτηγού) ⊆ *lifespan*(Οδηγός Φορτηγού)

12. *lifespan*(Ανθή in Οδηγός Φορτηγού) ⊆ *lifespan*(Ανθή)

13. *lifespan*(Δίπλωμα in Επαγγελματική Άδεια Οδήγησης) ⊆ *lifespan*(Επαγγελματική Άδεια Οδήγησης)

14. *lifespan*(Δίπλωμα in Επαγγελματική Άδεια Οδήγησης) ⊆ *lifespan*(Δίπλωμα)

15. *lifespan*(Ανθή.έχει) ⊆ *lifespan*(Ανθή)

16. *lifespan*(Ανθή.έχει) ⊆ *lifespan*(Οδηγός Φορτηγού)

17. *lifespan*(Ανθή.έχει) ⊆ *lifespan*(Ανθή in Οδηγός Φορτηγού)

18. *lifespan*(Ανθή.έχει) ⊆ *lifespan*(Δίπλωμα in Επαγγελματική Άδεια Οδήγησης)

4.3.3 Περιορισμοί ακεραιότητας

Όταν στις διμελείς σχέσεις μεταξύ αντικειμένων τίθενται περιορισμοί, προκύπτουν διάφορα είδη σχέσεων. Περιορισμοί που έχουν να κάνουν με το πλήθος των διασυνδεομένων οντοτήτων καθώς και περιορισμοί στις εξαρτήσεις των συσχετιζόμενων οντοτήτων μεταξύ τους ονομάζονται *περιορισμοί ακεραιότητας.*

Οι περιορισμοί που εξασφαλίζουν την ακεραιότητα διαφόρων ειδών σχέσεων γνωρισμάτων, έχουν μελετηθεί από τον Μ. Θεοδωράκη στο [12]. Παρακάτω θα επεκταθούν οι περιορισμοί αυτοί ώστε να εξασφαλίζουν και χρονικά την ακεραιότητα των σχέσεων γνωρισμάτων.

Είδη σχέσεων

Ας θεωρήσουμε μία σχέση R από μία κλάση A σε μία κλάση B και την αντίστροφή της R^{-1} από την B στην A.

Περιορίζοντας τον αριθμό των οντοτήτων τύπου Β με τις οποίες μπορεί να συσχετίζεται μια οντότητα τύπου Α (μέσω συσχετίσεων τύπου R) προκύπτουν τα παρακάτω είδη σχέσεων:

- **Μονοσήμαντη (partial function).**
  Μια οντότητα τύπου A συνδέεται με το πολύ μια οντότητα τύπου B.

  Έστω α μία οντότητα τύπου A και r_i ζεύγη (συσχετίσεις) τύπου R μέσω των οποίων η α συσχετιζόταν, κατά τη διάρκεια της ιστορίας της, με οντότητες τύπου B. Για να διατηρείται χρονικά ο περιορισμός ακεραιότητας που έχει τεθεί στην R πρέπει να ισχύει για τα ζεύγη r_i :

  (1) $\bigcap_{i=1}^{m} \mathit{lifespan}(r_i) = \emptyset$

Ο παραπάνω χρονικός περιορισμός εκφράζει ακριβώς τον περιορισμό ότι σε κάθε χρονική στιγμή, η οντότητα α συσχετιζόταν με το πολύ μία οντότητα τύπου *B* (δεν υπάρχουν συσχετίσεις τύπου *R* που να ίσχυαν ταυτόχρονα).

- **Η R^{-1} είναι μονοσήμαντη (injection)**.
  Μια οντότητα τύπου *B* συνδέεται με το πολύ μία οντότητα τύπου *A*.

  Έστω β μία οντότητα τύπου *B* και r_j συσχετίσεις τύπου *R* μέσω των οποίων, οντότητες τύπου *A* συσχετιζόταν με την β, κατά την διάρκεια της ιστορίας της. Για να είναι η R^{-1} μονοσήμαντη πρέπει να ισχύει, ανάλογα με τα παραπάνω, ο χρονικός περιορισμός:

  (2) $\bigcap_{j=1}^{n} lifespan(r_j) = \emptyset$

- **Αμφιμονοσήμαντη (one-to-one).**
  Μία οντότητα τύπου *A* συνδέεται με το πολύ μια οντότητα τύπου *B* και το αντίστροφο. Αυτό σημαίνει ότι οι σχέσεις *R* και R^{-1} είναι μονοσήμαντες.

  Αν θεωρήσουμε τις οντότητες α και β και τα ζεύγη r_i και r_j που αναφέρθηκαν παραπάνω, τότε για να είναι η σχέση *R* αμφιμονοσήμαντη πρέπει να ισχύουν ταυτόχρονα οι χρονικοί περιορισμοί (1) και (2):

  $$(3) \quad \begin{cases} (\alpha) & \bigcap_{i=1}^{m} lifespan(r_i) = \emptyset \\ (\beta) & \bigcap_{j=1}^{n} lifespan(r_j) = \emptyset \end{cases}$$

Θέτοντας περιορισμούς στις εξαρτήσεις των συσχετιζόμενων οντοτήτων μεταξύ τους, προκύπτουν τα παρακάτω είδη σχέσεων:

- **Ολική σχέση (total).**
  Κάθε οντότητα τύπου *A* συνδέεται με τουλάχιστον μία οντότητα τύπου *B*.

  Έστω α μία οντότητα τύπου *A* και r_i ζεύγη τύπου *R* μέσω των οποίων η α συσχετιζόταν, κατά τη διάρκεια της ιστορίας της, με οντότητες τύπου *B*. Για να είναι η *R* ολική σχέση θα πρέπει να ισχύει (για κάθε οντότητα τύπου *A*) ο χρονικός περιορισμός :

  (4) $\bigcup_{i=1}^{m} lifespan(r_i) = lifespan(\alpha)$

Ο παραπάνω χρονικός περιορισμός εκφράζει την απαίτηση η οντότητα α να συσχετίζεται, σε κάθε στιγμή του χρονικού διαστήματος ισχύος της, με οντότητες τύπου *B*.

- **Σχέση επί (surjection).**
  Κάθε οντότητα τύπου *B* συνδέεται με τουλάχιστον μία οντότητα τύπου *A*.

  Έστω β μία οντότητα τύπου *B* και r_j συσχετίσεις τύπου *R* μέσω των οποίων, οντότητες τύπου *A* συσχετιζόταν με την β, κατά την διάρκεια της ιστορίας της. Για να είναι η *R* σχέση επί, θα πρέπει να ισχύει, ανάλογα με τα παραπάνω, ο χρονικός περιορισμός:

  (5) $\bigcup_{j=1}^{n} lifespan(r_j) = lifespan(\beta)$

- **Σχέση ολική και επί (total & surjection).**
  Κάθε οντότητα τύπου *A* συνδέεται με τουλάχιστον μία οντότητα τύπου *B* και το αντίστροφο.

  Αν θεωρήσουμε τις οντότητες α και β και τις συσχετίσεις r_i και r_j που αναφέρθηκαν παραπάνω, τότε για να είναι η σχέση *R* ολική και επί, πρέπει να ισχύουν οι ταυτόχρονα οι χρονικοί περιορισμοί (4) και (5):

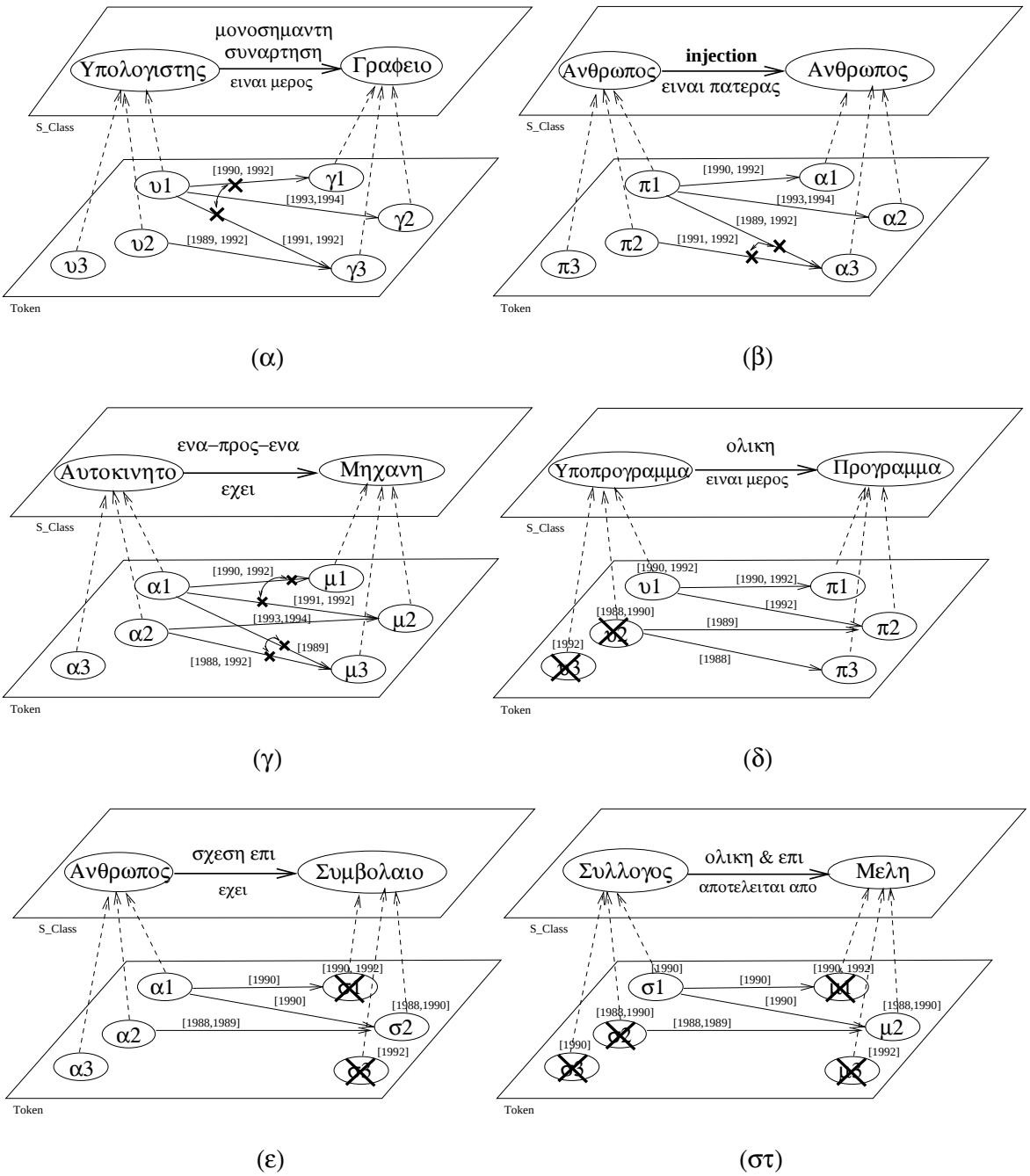
$$(6) \quad \begin{cases} (\alpha) & \bigcup_{i=1}^{m} lifespan(r_i) = lifespan(\alpha) \\ (\beta) & \bigcup_{j=1}^{n} lifespan(r_j) = lifespan(\beta) \end{cases}$$

Στο σχήμα 4.5 φαίνονται μερικά παραδείγματα χρονικών περιορισμών που εξασφαλίζουν τους περιορισμούς ακεραιότητας που τέθηκαν στις παραπάνω σχέσεις. Όποιο αντικείμενο είναι σημειωμένο με σταυρό σημαίνει οτι δεν ικανοποιεί κάποιους από τους χρονικούς περιορισμούς ακεραιότητας.

Ας θεωρήσουμε την σχέση "*είναι μέρος*" του σχήματος 4.5(α), η οποία συνδέει τις οντότητες "*Υπολογιστής*" και "*Γραφείο*". Η σχέση αυτή είναι μονοσήμαντη γιατί κάθε υπολογιστής μπορεί να βρίσκεται σε ένα μόνο γραφείο ενώ ένα γραφείο μπορεί να έχει πολλούς υπολογιστές. Στο σχήμα 4.5(α) ο υπολογιστής "*υ1*", συνδέεται κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος [1990, 1992] με το γραφείο "*γ1*", ενώ κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος [1991, 1992] συνδέεται και με το γραφείο "*γ3*". Η δεύτερη

συσχέτιση δεν ικανοποιεί τις χρονικές ιδιότητες που πρέπει να ισχύουν ώστε μία σχέση να είναι μονοσήμαντη με αποτέλεσμα να δημιουργείται ασυνέπεια στα δεδομένα.

Στο σχήμα 4.5(ε), η σχέση *"έχει"* που συνδέει τις οντότητες *"Ανθρωπος"* και *"Συμβόλαιο"*, είναι σχέση επί. Κάθε συμβόλαιο πρέπει να ανήκει σε τουλάχιστον έναν άνθρωπο ενώ ένας άνθρωπος μπορεί να έχει όσα συμβόλαια θέλει (ακόμη και κανένα). Στο σχήμα 4.5(ε), το συμβόλαιο "*σ1*" έχει χρόνο ισχύος [1990, 1992], αλλά ανήκει στον άνθρωπο "*α1*" μόνο κατά το χρονικό διάστημα [1990]. Στο υπόλοιπο του χρόνου ισχύος του, το συμβόλαιο αυτό δεν συσχετίζεται με κανέναν άνθρωπο (μέσω κάποιας σχέσης "*έχει*"). Το ίδιο ισχύει και για το συμβόλαιο "*σ3*" το οποίο σε κανένα σημείο του χρόνου ισχύος του δεν ανήκει σε κανένα άνθρωπο. Οι οντότητες "*σ1*" και "*σ3*" προκαλούν χρονική ασυνέπεια στη σχέση *"έχει"*.



Σχήμα 4.5: Χρονικοί περιορισμοί σε περιορισμούς ακεραιότητας

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται παραδείγματα χρονικών περιορισμών σε διάφορα είδη σχέσεων. Οι ετικέτες πάνω από τις οντότητες και τα γνωρίσματα παριστάνουν τον χρόνο ισχύος του αντικειμένου. Όπου δεν υπάρχουν σημαίνει ότι δεν συμμετέχουν στους χρονικούς περιορισμούς. Όπου υπάρχει σταυρός σημαίνει οτι το αντικείμενο αυτό δεν είναι χρονικά συνεπές. Στο (α) απεικονίζεται ένα παράδειγμα μονοσήμαντης συνάρτησης. Τα ζεύγη *(υ1,γ1)* και *(υ1,γ3)* δεν ικανοποιούν τον περιορισμό (1) και σημειώνονται ως χρονικά ασυνεπή. Στο (β) απεικονίζεται μία σχέση *injection*. Τα ζεύγη *(π1,α3)* και *(π2,α3)* παραβιάζουν το χρονικό περιορισμό (2). Στο (γ) παρουσιάζεται μία αμφιμονοσήμαντη σχέση. Τα ζεύγη *(α1,μ1)* και *(α1,μ2)* δεν ικανοποιούν τον περιορισμό (3.α) ενώ τα ζεύγη *(α1,μ3)* και *(α2,μ3)* δεν ικανοποιούν τον περιορισμό (3.β). Στο (δ) απεικονίζεται μία ολική σχέση. Τα υποπρογράμματα *"υ2"* και *"υ3"* είναι χρονικά ασυνεπή ως προς τον περιορισμό (4). Στο (ε) απεικονίζεται ένα παράδειγμα σχέσης επί. Τα συμβόλαια *"σ1"* και *"σ3"* παραβιάζουν το χρονικό περιορισμό (5). Στο (στ) απεικονίζεται μία σχέση ολική & επί. Οι σύλλογοι *"σ2"* και *"σ3"* παραβιάζουν το χρονικό περιορισμό (6.α) ενώ τα μέλη *"μ1"* και *"μ2"* τον περιορισμό (6.β).

Συναρτήσεις

Συνδυάζοντας τα παραπάνω είδη σχέσεων παράγονται νέα είδη σχέσεων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι συναρτήσεις. Στην παράγραφο αυτή θα μελετήσουμε τους χρονικούς περιορισμούς που πρέπει να ισχύουν ώστε μία σχέση να εξακολουθεί να είναι συνάρτηση ακόμη και μετά την χρονική επέκταση του σημασιολογικού μοντέλου.

Ορισμός *Μια σχέση R από μία κλάση A σε μία κλάση B λέγεται* **συνάρτηση** *(function) αν και μόνο αν είναι μονοσήμαντη και ολική, δηλαδή αν και μόνο αν κάθε οντότητα τύπου A συνδέεται με* **ακριβώς μία** *οντότητα τύπου B.* [1]

Ο παραπάνω ορισμός εκφράζεται, για χρονικά μοντέλα δεδομένων, μέσω των περιορισμών (1) και (4) που εξασφαλίζουν ότι μια συνάρτηση είναι μονοσήμαντη και ολική, δηλαδή συνάρτηση:

$$(7) \quad \begin{cases} (\alpha) & \bigcap_{i=1}^{n} lifespan(r_i) = \emptyset \\ (\beta) & \bigcup_{i=1}^{n} lifespan(r_i) = lifespan(\alpha) \end{cases}$$

όπου α είναι μία οντότητα τύπου *A* και r_i είναι ζεύγη τύπου *R* μέσω των οποίων η α συσχετιζόταν με οντότητες τύπου *B*, κατά την διάρκεια της ιστορίας της. Για να είναι η σχέση *R* συνάρτηση πρέπει το σύστημα περιορισμών (7) να ισχύει για κάθε οντότητα τύπου *A*. Διακρίνουμε τα ακόλουθα τρία είδη συναρτήσεων:

- **Αμφιμονοσήμαντη ή 1-1 (injective function)**
  Κάθε οντότητα τύπου *A* συνδέεται με **ακριβώς μία** οντότητα τύπου *B* και κάθε οντότητα τύπου *B* συνδέεται με **το πολύ μία** οντότητα τύπου *A*.

  Εκτός από το σύστημα περιορισμών (7) που πρέπει να ισχύει για τις οντότητες τύπου *A*, περιορίζονται χρονικά και οι οντότητες τύπου *B*. Έστω λοιπόν μία οντότητα β τύπου *B* και r_j συσχετίσεις τύπου *R* μέσω των οποίων οντότητες τύπου *A* συσχετιζόταν με την οντότητα β, κατά τη διάρκεια του χρόνου ισχύος της. Για να είναι η σχέση *R* αμφιμονοσήμαντη συνάρτηση πρέπει η R^{-1} να είναι μονοσήμαντη, δηλαδή για κάθε οντότητα τύπου *B* πρέπει να ισχύει ο χρονικός περιορισμός (2):

  $$\bigcap_{j=1}^{n} lifespan(r_j) = \emptyset$$

[1] Αν η R είναι επί σχέση και η R^{-1} είναι μονοσήμαντη, τότε η αντίστροφη σχέση R^{-1} είναι συνάρτηση.

- **Επί (surjective function)**

  Κάθε οντότητα τύπου A συνδέεται με **ακριβώς μία** οντότητα τύπου B και κάθε οντότητα τύπου B συνδέεται με **τουλάχιστον μία** οντότητα τύπου A.

  Θεωρώντας την οντότητα β και τις σχέσεις r_j που αναφέρθηκαν παραπάνω πρέπει να ισχύει ο χρονικός περιορισμός που εξασφαλίζει η R είναι **επί** (περιορισμός (5)):

  $$\bigcup_{j=1}^{n} lifespan(r_j) = lifespan(\beta)$$

  Ο περιορισμός αυτός πρέπει να ισχύει για κάθε οντότητα τύπου B, ώστε η σχέση R να είναι συνάρτηση επί.

- **Αμφιμονοσήμαντη και επί** ή **1-1 και επί (bijective function)**

  Κάθε οντότητα τύπου A συνδέεται με **ακριβώς μία** οντότητα τύπου B και το αντίστροφο.

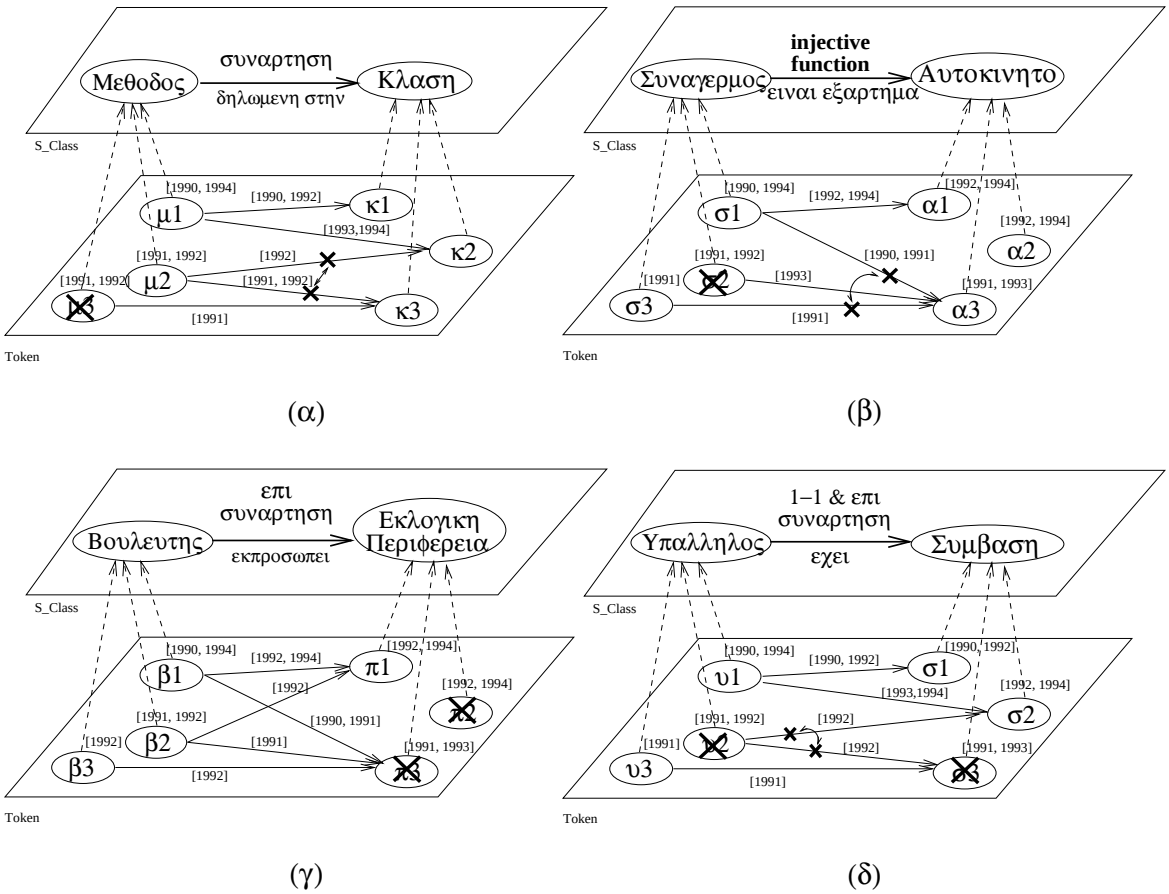
  Για να είναι η σχέση R αμφιμονοσήμαντη και επί, πρέπει για κάθε οντότητα τύπου A να ισχύει το σύστημα περιορισμών (7)και για κάθε οντότητα τύπου B οι περιορισμοί (2) και (5).

Στο σχήμα 4.6 φαίνονται μερικά παραδείγματα χρονικών περιορισμών που εξασφαλίζουν τις ιδιότητες των παραπάνω ειδών συναρτήσεων.

Ας θεωρήσουμε τη σχέση *"δηλωμένη στη"* που συσχετίζει την οντότητα *"Μέθοδος"* με την οντότητα "*Κλάση*" (σχήμα 4.6(α)). Η σχέση αυτή είναι συνάρτηση, αφού κάθε μέθοδος πρέπει να είναι δηλωμένη σε μία και μόνο κλάση, ενώ μια κλάση μπορεί να περιέχει οποιοδήποτε αριθμό μεθόδων. Στο σχήμα 4.6(α), η μέθοδος "*μ2*" είναι δηλωμένη σε δύο κλάσεις (στις "*κ2*" και *"κ3"*) κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος [1992]. Τα ζεύγη *(μ2,κ2)* και *(μ2,κ3)* λοιπόν δεν ικανοποιούν τον περιορισμό (7.α). Στο ίδιο σχήμα η μέθοδος "*μ3*" έχει χρόνο ισχύος το διάστημα [1991,1992]. Η μέθοδος αυτή είναι δηλωμένη στην κλάση *"κ3"* κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος [1991] ενώ για το υπόλοιπο του χρόνου ισχύος της δεν είναι δηλωμένη πουθενά. Οι μέθοδοι "*μ2*" και "*μ3*", όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.6(α), προκαλούν χρονική ασυνέπεια στη σχέση *"δηλωμένη στη"* αφού δεν ικανοποιούν τον περιορισμό (7.α).

Ένα άλλο παράδειγμα συναρτήσεως, είναι σχέση εκπροσώπευσης που συνδέει τις οντότητες *"Βουλευτής"* και *"Εκλογική Περιφέρεια"*. Η σχέση αυτή είναι συνάρτηση επί και πρέπει να ικανοποιεί τους χρονικούς περιορισμούς (5) και (7). Στο σχήμα 4.6(γ)

κανένας βουλευτής δεν εκπροσωπεί την εκλογική περιφέρεια ”*π3*” για το χρονικό διάστημα [1993] (δε ικανοποιείται ο περιορισμός (5)). Το ίδιο συμβαίνει και με την περιφέρεια ”*π2*” η οποία δεν εκπροσωπείται από κανένα βουλευτή σε κανένα σημείο του χρόνου ισχύος της. Οι οντότητες ”*π2*” και ”*π3*” είναι χρονικά ασυνεπείς ως προς τη σχέση εκπροσώπευσης.



Σχήμα 4.6: Χρονικοί περιορισμοί σε είδη συναρτήσεων

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται παραδείγματα χρονικών περιορισμών σε διάφορα είδη συναρτήσεων. Οι ετικέτες πάνω από τις οντότητες και τα γνωρίσματα παριστάνουν τον χρόνο ισχύος του αντικειμένου. Όπου δεν υπάρχουν σημαίνει ότι δεν συμμετέχουν στους χρονικούς περιορισμούς. Όπου υπάρχει σταυρός σημαίνει οτι το αντίστοιχο αντικείμενο δεν είναι χρονικά συνεπές. Στο (α) απεικονίζεται ένα παράδειγμα συνάρτησης. Τα ζεύγη *(μ2,κ2)* και *(μ2,κ3)* δεν ικανοποιούν τον περιορισμό (7.α) ενώ η μέθοδος *"μ3"* δεν ικανοποιεί τον περιορισμό (7.β). Στο (β) απεικονίζεται μία αμφιμονοσήμαντη συνάρτηση. Τα ζεύγη *(σ1,α3)* και *(σ3,α3)* παραβιάζουν το χρονικό περιορισμό (2) και σημειώνονται ως χρονικά ασυνεπή. Ο χρόνος ισχύος του συναγερμού *"σ2"* δεν ικανοποιεί τον περιορισμό (7.β). Στο (γ) παρουσιάζεται μία επί συνάρτηση. Οι οντότητες "*π2*" και "*π3*" δεν ικανοποιούν τον περιορισμό (5). Στο (δ) απεικονίζεται μία αμφιμονοσήμαντη και επί συνάρτηση. Η σύμβαση *"σ3"* δεν ικανοποιεί τον περιορισμό (5). Ο υπάλληλος *"υ2"* δεν ικανοποιεί τον περιορισμό (7.β) ενώ τα ζεύγη *(υ2,σ2)* και *(υ2,σ3)* παραβιάζουν το χρονικό περιορισμό (7.α)

Χρονικά αμετάβλητες συναρτήσεις

Υπάρχουν διάφορες συναρτήσεις οι οποίες παραμένουν σταθερές με την πάροδο του χρόνου. Για παράδειγμα στο σχήμα 4.7(α), η σχέση *"γεννήθηκε"* που συνδέει τις οντότητες "*Άνθρωπος*" και "*Τοποθεσία*", είναι συνάρτηση (κάθε άνθρωπος γεννήθηκε σε μία μόνο τοποθεσία) και παράλληλα η "τιμή" αυτής της συνάρτησης δεν μεταβάλεται με την πάροδο του χρόνου. Για συναρτήσεις αυτής της μορφής (χρονικά αμετάβλητες) είναι απαραίτητο να οριστούν, εκτός από τους περιορισμούς που εξασφαλίζουν τις χρονικές ιδιότητες της συνάρτησης και περιορισμοί που διατηρούν την μοναδικότητα της συσχέτισης. Στην παράγραφο αυτή ορίζονται οι επιπλέον χρονικοί περιορισμοί που χαρακτηρίζουν τις χρονικά αμετάβλητες συναρτήσεις.

Ορισμός *Μια σχέση R από μία κλάση A σε μία κλάση B λέγεται* **χρονικά αμετάβλητη συνάρτηση** *(temporally immutable function) αν και μόνο αν κάθε οντότητα τύπου A συνδέεται με* **ακριβώς μία, μοναδική** *οντότητα τύπου B, σ'όλη τη διάρκεια του χρόνου ισχύος της.*

Ο παραπάνω ορισμός εκφράζεται μέσω των εξής περιορισμών:

(8) $\exists i, 1 \leq i \leq n$: *lifespan*(r_i) = *lifespan*(α)

(9) $\bigcap_{i=1}^{n}$ *lifespan*$(r_i) = \emptyset$, όπου *from*(r_i) = α, $\forall i$

όπου α είναι μία οντότητα τύπου *A* και r είναι σχέση τύπου *R* μέσω της οποίας η α συσχετιζόταν με οντότητα τύπου *B*, κατά την διάρκεια της ιστορίας της. Ο περιορισμός (8) εκφράζει την απαίτηση η οντότητα α να συσχετίζεται με την ίδια οντότητα τύπου *B* σ'όλη την διάρκεια του χρόνου ισχύος της. Ο περιορισμός (9) εξασφαλίζει την μοναδικότητα της συσχέτισης αυτής (ακριβώς μία), αφού αν ισχύει ο (8), δεν μπορούν να υπάρξουν άλλες συσχετίσεις τύπου *R* που να ικανοποιούν και τον περιορισμό (9). Για να είναι η σχέση *R* χρονικά αμετάβλητη συνάρτηση πρέπει οι περιορισμοί (8) και (9) να ισχύουν για κάθε οντότητα τύπου *A*.

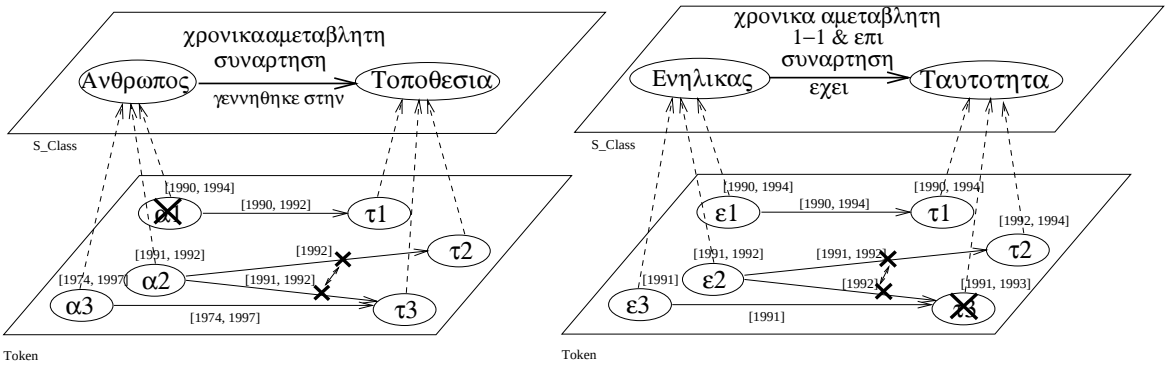
Επιπλέον χρονικοί περιορισμοί πρέπει να οριστούν και στην περίπτωση που η χρονικά αμετάβλητη συνάρτηση είναι αμφιμονοσήμαντη και επί. Στην περίπτωση αυτή, οι περιορισμοί (8) και (9) πρέπει να οριστούν και για τις οντότητες τύπου *B*. Έτσι λοιπόν για να είναι μία αμφιμονοσήμαντη και επί συνάρτηση, χρονικά αμετάβλητη, πρέπει να ικανοποιούνται και οι παρακάτω χρονικοί περιορισμοί:

(10) $\exists j, 1 \leq j \leq m$: *lifespan*(r_j) = *lifespan*(β)

(11) $\bigcap_{j=1}^{m}$ *lifespan*(r_j) = $\emptyset$, όπου *to*(r_j) = β, ∀ j

όπου β είναι μια οντότητα τύπου *B* και r είναι σχέση τύπου *R* μέσω της οποίας οντότητα τύπου *A* συσχετιζόταν με την οντότητα β, κατά τη διάρκεια του χρόνου ισχύος της. Ανάλογα με τα παραπάνω, ο περιορισμός (10) εκφράζει την απαίτηση η οντότητα β να συσχετίζεται με την ίδια οντότητα τύπου *A* σ'όλη την διάρκεια του χρόνου ισχύος της, ενώ ο περιορισμός (11) εξασφαλίζει την μοναδικότητα της συσχέτισης αυτής (ακριβώς μία).

Στο σχήμα 4.7(α), η οντότητα *"α1"* δεν ικανοποιεί την περιορισμό (8), γι'αυτό και διαγράφεται από το σχήμα. Στο σχήμα 4.7(β), η σχέση *"έχει"* που συσχετίζει τις οντότητες *"Ενήλικας"* και *"Ταυτότητα"* είναι αμφιμονοσήμαντη και επί, χρονικά αμετάβλητη, συνάρτηση. Κάθε ενήλικας έχει μία και μοναδική ταυτότητα και κάθε ταυτότητα ανήκει σ'ένα και μόνο ενήλικα. Στο σχήμα 4.7(β) η ταυτότητα *"τ3"* ανήκει σε δύο άτομα (σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα) και κατά συνέπεια δεν είναι συνεπής με τους περιορισμούς που ορίστηκαν παραπάνω.



(α) (β)

Σχήμα 4.7: Χρονικοί περιορισμοί σε χρονικά αμετάβλητες συναρτήσεις

Στο (α) απεικονίζεται ένα παράδειγμα χρονικά αμετάβητης συνάρτησης. Η οντότητα *"α1"* σημειώνεται ως χρονικά ασυνεπής αφού ο χρόνος ισχύος της δεν ικανοποιεί τον περιορισμό (8). Το ίδιο ισχύει και για τα ζεύγη *(α2,τ2)* και *(α2,τ3)* τα οποία δεν ικανοποιούν τον περιορισμό (9). Στο (β) απεικονίζεται μία χρονικά αμετάβητη αμφιμονοσήμαντη και επί συνάρτηση. Τα ζεύγη *(ε2,τ2)* και *(ε2,τ3)* δεν ικανοποιούν τον περιορισμό (9) και για το λόγο αυτό σημειώνονται ως ασυνεπή. Επίσης στο ίδιο σχήμα η ταυτότητα *"τ3"* ανήκει σε δύο άτομα και σημειώνεται επίσης ως χρονικά ασυνεπής.

Κεφάλαιο 5

Χρονική Άλγεβρα

5.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο επεκτείνονται τα μοντέλα που μπορούν να οριστούν με την SIS-Telos ώστε να μπορούν να περιλάβουν και χρονική διάσταση στη γνώση που παριστάνουν. Η επέκταση γίνεται με προσθήκη χρονικού γνωρίσματος σε όλα τα αντικείμενα που υπάρχουν στο μοντέλο, δηλαδή στις οντότητες και στα γνωρίσματα καθώς και στις κλάσεις τους. Επιπλέον χρονική διάσταση προστίθεται και στις σχέσεις ταξινόμησης (instance of) και γενίκευσης/εξειδίκευσης (isA). Η χρονική πληροφορία παριστάνεται με τη βοήθεια του χρονικού πρωτογενούς τύπου δεδομενων που παρέχει η SIS-Telos και έχει την έννοια του χρόνου ισχύος.

Με την εισαγωγή χρονικής διάστασης αυξάνει η εκφραστικότητα αλλά και η πολυπλοκότητα του μοντέλου αφού σ'όλα τα αντικείμενα ενσωματώνεται μια επιπλέον διάσταση, η χρονική. Η αύξηση της δύναμης και της πολυπλοκότητας οδηγεί στη ανάγκη εξασφάλισης σωστού και αποδοτικού χειρισμού ερωτήσεων που αφορούν στην επιπλέον πληροφορία που μεταφέρει το μοντέλο δεδομένων.

Ο ορισμός μιας άλγεβρας αποτελεί βασικό στοιχείο σωστού χειρισμού των αντικειμένων που υπάρχουν σε μία βάση δεδομένων. Στη βιβλιογραφία περιγράφεται ένα σύνολο από τελεστές που ορίζουν μία χρονική άλγεβρα. Στο κεφάλαιο αυτό θα ορίσουμε τους χρονικούς αυτούς τελεστές για τον χειρισμό των χρονικών μοντέλων της SIS-Telos, λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο που επεκτείνεται χρονικά το σύστημα αυτό καθώς και τους ήδη υπάρχοντες μηχανισμούς χειρισμού δεδομένων.

5.1.1 Ορισμοί

Οι τελεστές που θα οριστούν παρακάτω, είναι δυνατό να εφαρμοστούν πάνω σε κάποιο ή κάποια από τα παρακάτω αντικείμενα:

- **Οντότητες :** Στην περίπτωση αυτή, αναφέρουμε μόνο το όνομα της οντότητας ή της κλάσης οντότητας πάνω στην οποία θα εφαρμοστεί ο τελεστής
  (π.χ. **δ**(*Εργαζόμενος*), όπου **δ** τυχαίος τελεστής)

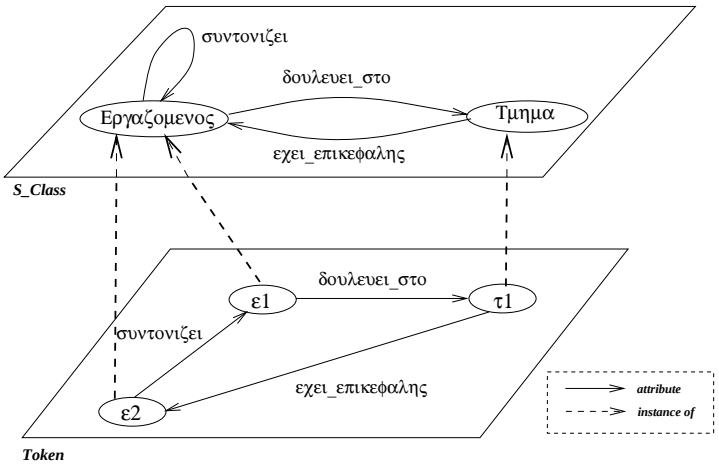
- **Γνωρίσματα :** Στην περίπτωση που ο τελεστής εφαρμόζεται σε κάποιο ή κάποια γνωρίσματα, είναι απαραίτητη η δήλωση της κατηγορίας των γνωρισμάτων αυτών. Όπως περιγράφεται και στο κεφάλαιο 3 , τα γνωρίσματα ταξινομούνται σε κλάσεις γνωρισμάτων που ονομάζονται και κατηγορίες γνωρισμάτων (*categories*). Μία κατηγορία γνωρίσματος χαρακτηρίζεται από το όνομα της κλάσης αφετηρίας καθώς και το όνομα του συνδέσμου. Έτσι για παράδειγμα, για να εφαρμόσουμε ένα τελεστή (έστω **σ**) στο γνώρισμα *μισθός* της κλάσης *Εργαζόμενος* του σχήματος 5.2, γράφουμε :
  σ(*Εργαζόμενος.μισθός*).

- **Μονοπάτια :** Μία κλάση μονοπατιών είναι μία ακολουθία συνδέσμων κατηγοριών γνωρισμάτων. Στην ακολουθία αυτή το αντικείμενο αφίξεως (*to*) του πρώτου συνδέσμου είναι κοινό με το αντικείμενο αφετηρίας (*from*) του δευτέρου, το αντικείμενο αφίξεως του δευτέρου είναι κοινό με το αντικείμενο αφετηρίας του τρίτου κ.ο.κ. Πιο τυπικά :

  Ορισμός 5.1 Κλάση μονοπατιών*:*
  Μια κλάση μονοπατιών είναι μία πεπερασμένη ακολουθία από κατηγορίες γνωρισμάτων. Οι κατηγορίες αυτές συνδέουν κόμβους με κάποια συγκεκριμένη σειρά και ορίζουν μ'αυτό τον τρόπο μια μη διακοπτόμενη αλυσίδα κόμβων. Κάθε κλάση μονοπατιών έχει μια αρχή ένα τέλος καθώς και ένα πεπερασμένο μήκος που ισούται με το άθροισμα των φορών που κάθε κατηγορία γνωρισμάτων συμμετέχει στον ορισμό της κλάσης.

  Ένα απλοϊκό παράδειγμα είναι η κλάση μονοπατιών *(Εργαζόμενος.δουλεύει_στο, Τμήμα.έχει_επικεφαλής)* του σχήματος 5.1. Στο παράδειγμα αυτό, οι κατηγορίες

γνωρισμάτων που συνθέτουν την κλάση είναι οι ‘‘Εργαζόμενος.δουλεύει_στο’’ και ‘‘Τμήμα.έχει_επικεφαλής’’. Το μήκος της κλάσης αυτής είναι 2, ενώ αρχή και τέλος έχει τον κόμβο (κλάση) ‘‘Εργαζόμενος’’.



Σχήμα 5.1: Παράδειγμα κλάσης μονοπατιών

Με βάση τον ορισμό της κλάσης μονοπατιών, ορίζουμε και την έννοια του μονοπατιού που ανήκει σε μία κλάση μονοπατιών. Έτσι λοιπόν:

Ορισμός 5.2 *Ένα μονοπάτι, περίπτωση μιας κλάσης μονοπατιών, είναι μια ακολουθία γνωρισμάτων. Η ακολουθία αυτή έχει μήκος ίσο με το μήκος της κλάσης στην οποία ανήκει ενώ συνδέει κόμβους με την ίδια σειρά με την οποία οι κλάσεις, στις οποίες ανήκουν οι κόμβοι αυτοί, συνδέονται στην αντίστοιχη κλάση μονοπατιών. Αυτό σημαίνει οτι κάθε ένα από τα γνωρίσματα, που συμμετέχουν στο μονοπάτι αυτό, ανήκει στην αντίστοιχη κατηγορία γνωρισμάτων της κλάσης μονοπατιών.*

Στο παράδειγμα του σχήματος 5.1, η κλάση μονοπατιών *(Εργαζόμενος.συντονίζει, Εργαζόμενος.δουλεύει_στο, Τμήμα.έχει_επικεφαλής)* είναι διαφορετική από την κλάση *(Εργαζόμενος.δουλεύει_στο, Τμήμα.έχει_επικεφαλής, Εργαζόμενος.συντονίζει).* Το ίδιο ισχύει και με τα μονοπάτια που ανήκουν στις παραπάνω κλάσεις. Έτσι το μονοπάτι $(\varepsilon_2 \rightarrow \varepsilon_1 \rightarrow \tau_1 \rightarrow \varepsilon_2)$ είναι διαφορετικό από το $(\varepsilon_1 \rightarrow \tau_1 \rightarrow \varepsilon_2 \rightarrow \varepsilon_1)$ παρόλο που μεταφέρουν την ίδια πληροφορία.

Το χρονικό διάστημα ισχύος ενός μονοπατιού (ή χρόνος ισχύος), ορίζεται ως η τομή των χρονικών διαστημάτων των γνωρισμάτων που μετέχουν στο μονοπάτι αυτό. Ένα μονοπάτι λέμε οτι ''υπάρχει'' χρονικά (έχει ισχύ), αν το χρονικό διάστημα ισχύος του είναι διάφορο του κενού. Ανάλογα, ένα μονοπάτι ''υπάρχει'' σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα όταν η τομή του χρόνου ισχύος του μονοπατιού με το χρονικό αυτό διάστημα, είναι μη κενή.

- **Σύνολα :** Είναι δυνατό κάποιοι από τους τελεστές να δέχονται ως όρισμα ένα σύνολο αντικειμένων. Σ'αυτή τη περίπτωση δεν χρειάζεται να ανακαλέσουμε τα αντικείμενα που είναι περιπτώσεις της κλάσης-ορίσματος (όπως θα συνέβαινε με τις παραπάνω περιπτώσεις) αλλά εφαρμόζουμε τον τελεστή στα αντικείμενα που υπάρχουν ήδη στο σύνολο που έχει δοθεί στον τελεστή.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα αναφερόμαστε στα παραπάνω με τον όρο *αντικείμενο-παράμετρος* ενώ κατά τον ορισμό του κάθε χρονικού τελεστή θα προσδιορίζουμε το είδος ή τα είδη των παραμέτρων που αυτός δέχεται.

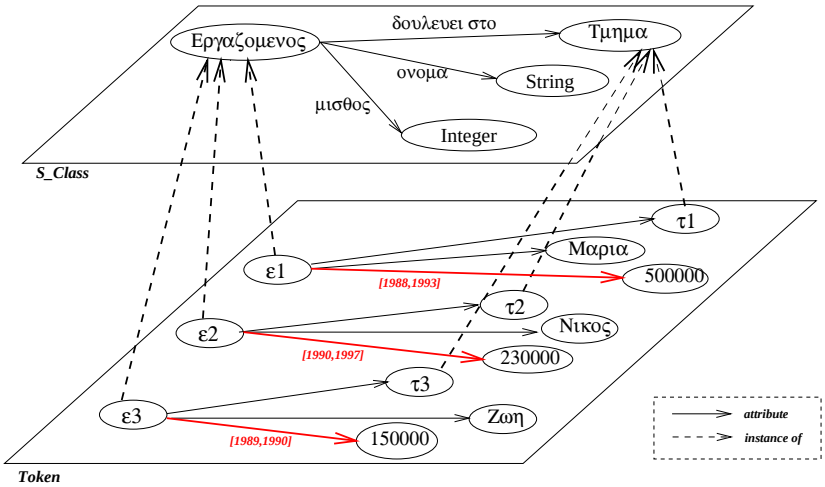
5.2 Χρονικοί Τελεστές

5.2.1 Προβολή (project)

Ο τελεστής *προβολής (project)* όπως ορίζεται στη σχεσιακή άλγεβρα, περιορίζει ένα αντικείμενο ως προς την διάσταση των γνωρισμάτων. Αυτό σημαίνει ότι από ένα αντικείμενο επιλέγουμε να δούμε τις πληροφορίες μόνο κάποιων συγκεκριμένων γνωρισμάτων του. Σ'ένα χρονικά εκτεταμένο σχήμα, εκτός από τα επιθυμητά γνωρίσματα, ο τελεστής *προβολής (project)* επιστρέφει και τα χρονικά διαστήματα ισχύος των γνωρισμάτων αυτών. Στην χρονική άλγεβρα που παρουσιάζεται στην εργασία αυτή, ο τελεστής προβολής εφαρμόζεται πάνω σε οντότητες. Έστω λοιπόν μία κλάση οντοτήτων Κ και Γ ένα σύνολο από κατηγορίες γνωρισμάτων της κλάσης Κ. Η προβολή της Κ ως προς το σύνολο γνωρισμάτων Γ, ορίζεται ως εξής:

$$\Pi_{\Gamma}(K) = \{\gamma,\ell \mid \gamma \text{ in } \Gamma \wedge \ell = \text{lifespan}(\gamma) \}$$

Παράδειγμα 5.1 *Εφαρμόζοντας την πράξη της προβολής στην κλάση ''Εργαζόμενος'' του σχήματος 5.2, για την κατηγορία γνωρισμάτων ''μισθός'', λαμβάνουμε τους*



Σχήμα 5.2: Εφαρμογή τελεστή προβολής

Η προβολή του γνωρίσματος ‘‘μισθός’’ της κλάσης ‘‘Εργαζόμενος’’ επιστρέφει τα γνωρίσματα-περιπτώσεις της κατηγορίας γνωρισμάτων ‘‘Εργαζόμενος.μισθός’’ καθώς και τους αντίστοιχους χρόνους ισχύος.

συνδέσμους ‘‘ε1 μισθός 500000’’, ‘‘ε2 μισθός 230000’’ και ‘‘ε3 μισθός 150000’’ μαζί με τους αντίστοιχους χρόνους ισχύος.

□

5.2.1.1 Διαδικασία εφαρμογής

Ο τελεστής προβολής είναι πολύ εύκολο να υλοποιηθεί με χρήση των συναρτήσεων που ήδη υπάρχουν στο **api** του **SIS** (κεφάλαιο 3). Με βάση το αντικείμενο-παράμετρο ζητάμε την ανάκληση των γνωρισμάτων που ανήκουν στις κατηγορίες γνωρισμάτων του συνόλου Γ και για κάθε ένα από τα γνωρίσματα του συνόλου απαντήσεων, λαμβάνουμε την τιμή του χρονικού του γνωρίσματος.

5.2.2 Επιλογή (select)

Ο τελεστής *επιλογής (select)* όπως ορίζεται στη σχεσιακή άλγεβρα, περιορίζει ένα αντικείμενο ως προς την διάσταση των τιμών. Αυτό σημαίνει ότι από ένα αντικείμενο επιλέγουμε να δούμε μόνο τις περιπτώσεις εκείνες που οι τιμές κάποιων καθορισμένων γνωρισμάτων ικανοποιούν την συνθήκη επιλογής. Για παράδειγμα από την κλάση *Εργαζόμενος*, επιλέγουμε τους εργαζόμενους εκείνους που *δουλεύουν στο Τμήμα*

"Μισθοδοσίας". Σε ένα χρονικά εκτεταμένο σχήμα όπου οι τιμές των αντικειμένων μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου, είναι απαραίτητος ο καθορισμός του χρονικού διαστήματος κατά το οποίο τα αντικείμενα προς επιλογή πρέπει να ικανοποιούν τη συνθήκη επιλογής. Έτσι λοιπόν στο παραπάνω παράδειγμα πρέπει να δηλωθεί ρητώς ότι οι ζητούμενοι εργαζόμενοι είναι αυτοί που *δουλεύουν στο Τμήμα "Μισθοδοσίας"*, **τώρα**.

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται δύο είδη τελεστών επιλογής. Ο πρώτος είναι ο τελεστής *select-if* ο οποίος επιλέγει αντικείμενα που ικανοποιούν κάποιο συνδιασμό χρονικής και μη χρονικής συνθήκης. Ο δεύτερος τελεστής είναι ο τελεστής *select-when*. Εδώ δεν ορίζεται χρονική συνθήκη. Η επιλογή βασίζεται σε μη χρονικές συνθήκες. Για κάθε αντικείμενο που ικανοποιεί την συνθήκη αυτή επιστρέφεται μόνο το τμήμα εκείνο της ιστορίας του κατά το οποίο η συνθήκη επιλογής είναι αληθής.

Παρακάτω ορίζονται οι τελεστές *select-if* και *select-when* για την χρονική άλγεβρα που μελετάμε:

- **select-if**

  Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η συνθήκη επιλογής γι'αυτόν τον τελεστή βασίζεται τόσο σε χρονικά όσο και σε μη χρονικά κριτήρια. Η συνθήκη επιλογής αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

  -- *Μη χρονική συνθήκη:* Είναι ένα συνηθισμένο κατηγόρημα επιλογής, μία λογική συνθήκη η οποία ορίζεται πάνω σε κάποιο γνώρισμα του αντικειμένου-παραμέτρου. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η μη χρονική συνθήκη περιορίζει τα υποψήφια αντικείμενα ως προς την διάσταση των τιμών. Αποτελείται από έναν από τους συνήθεις λογικούς τελεστές (έστω $\otimes$) και μία τιμή σύγκρισης (*ntp*).

  -- *Χρονική συνθήκη:* Αποτελείται από ένα χρονικό διάστημα L και έναν από τους τελεστές χρονικής σύγκρισης που περιγράφονται στο κεφάλαιο 3 (έστω $\odot$) Το διάστημα L αποτελεί το στοιχείο σύγκρισης βάσει του οποίου θα γίνει η τελική επιλογή των υποψήφιων αντικειμένων. Το χρονικό διάστημα ισχύος του γνωρίσματος πάνω στο οποίο εφαρμόζονται οι συνθήκες επιλογής, πρέπει να ικανοποιεί την σχέση $\odot$ ως προς το χρονικό διάστημα L.

  -- *Ποσοδείκτης Q:* Είναι ένας από τους ποσοδείκτες $\forall$ ή $\exists$. Ο καθολικός ποσοδείκτης ($\forall$), επιβάλει την απαίτηση οι συνθήκες επιλογής να

ικανοποιούνται σ'όλη τη διάρκεια του χρόνου ισχύος του υποψήφιου αντικειμένου. Με άλλα λόγια ο ποσοδείκτης αυτός, επιβάλει την απαίτηση το χρονικό διάστημα ισχύος του γνωρίσματος πάνω στο οποίο εφαρμόζονται οι συνθήκες, να είναι ίσο με το χρονικό διάστημα ισχύος του αντικειμένου προς επιλογή. Αντίθετα ο υπαρξιακός ποσοδείκτης (∃) επιτρέπει η συνθήκες επιλογής (χρονική και μη χρονική) να ικανοποιούνται σε μέρος μόνο του χρονικού διαστήματος ισχύος του υποψήφιου αντικειμένου.

Ο τελεστής *select-if* συμβολίζεται *σ-if* και εφαρμόζεται τόσο σε οντότητες όσο και σε μονοπάτια.

$$\sigma - if_{(A \otimes ntp, Q, \odot, L)}(\mathrm{K}) = \{\kappa \text{ instance of } K \mid Q(t \in lifespan(k)),$$
$$(lifespan(\alpha) \odot L) \wedge (to(\alpha) \otimes ntp) \}$$

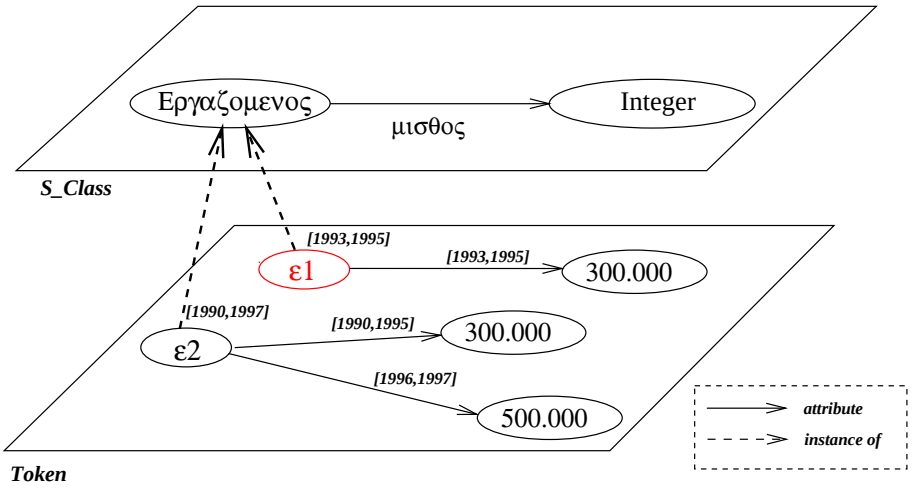
Στον ορισμό αυτό, το α αναφέρεται στο γνώρισμα (ή τα γνωρίσματα, αν υπάρχουν περισσότερα του ενός) του αντικειμένου κ που ανήκει στην κατηγορία γνωρισμάτων Α. Στον παραπάνω ορισμό ο τελεστής $\odot$ μπορεί να παραληφθεί. Σ'αυτή την περίπτωση θεωρούμε ότι ο τελεστής χρονικής σύγκρισης είναι η τομή ($\cap$). Επιπλέον, θεωρούμε ότι ο περιορισμός που επιβάλλει ο ποσοδείκτης *Q* πρέπει να ισχύει στο κοινό χρονικό διάστημα του υποψήφιου αντικειμένου και του χρονικού διαστήματος σύγκρισης *L* ($lifespan(\kappa) \cap L$).

Παράδειγμα 5.2 *Έστω οτι στο σχήμα 5.3 εφαρμόζουμε επιλογή πάνω στην κλάση οντοτήτων ''Εργαζόμενος''. Ζητάμε τους υπαλλήλους που μετά το 1990 έπαιρναν μισθό ίσο με 300.000 δρχ. Ο τελεστής δηλώνεται ως εξής :*

$\sigma - if_{((\text{Εργαζόμενος.μισθός})=300.000, Q, after, [1990])}(\ Εργαζόμενος)$

Στο παράδειγμα αυτό αν ο ποσοδείκτης Q είναι το ∃, τότε επιλέγονται και οι δύο οντότητες (ε1 *και* ε2*), αφού και για τις δύο αυτές οντότητες ικανοποιείται η συνθήκη (μισθός = 300.000) σε κάποιο μέρος του χρόνου ισχύος τους. Αντίθετα αν ο ποσοδείκτης Q είναι το ∀ τότε επιλέγεται μόνο η οντότητα* ε1 *αφού μόνο για την* ε1 *ικανοποιούνται οι συνθήκες επιλογής καθ'όλη τη διάρκεια του χρόνου ισχύος της.*

□



Σχήμα 5.3: Τελεστής επιλογής *σ-if*

Η πράξη $\sigma - if_{((\text{Εργαζόμενος.μισθός}) = 300.000, \forall, after\ ,[1990])}$(Εργαζόμενος) επιλέγει την οντότητα *ε1*

- **select-when**

  Με τον τελεστή αυτό δεν χρειάζεται να ορίσουμε το χρονικό διάστημα κατά το οποίο επιθυμούμε να ικανοποιείται η μη χρονική συνθήκη επιλογής. Αυτό που επιστρέφει, είναι το τμήμα εκείνο της ιστορίας των αντικειμένων προς επιλογή κατά το οποίο ικανοποιείται η συνθήκη επιλογής. Εφαρμόζεται πάνω σε οντότητες και μονοπάτια. Για τον τελεστή *select-when* χρησιμοποιείται ο συμβολισμός *σ-when.*

$$\sigma - when_{(A \otimes ntp)}(\mathrm{K}) = \{\varkappa \ instance\ of\ K \mid to(\alpha) \otimes ntp\}$$

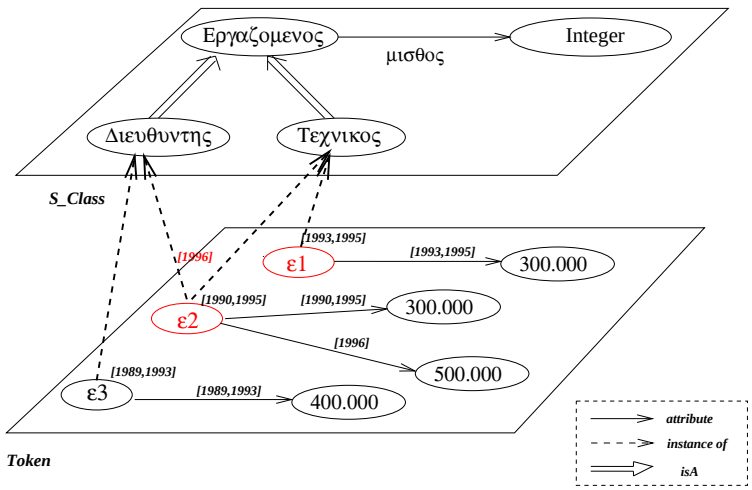
  Στον παραπάνω ορισμό, α είναι το γνώρισμα του αντικειμένου κ που ανήκει στην κατηγορία γνωρισμάτων Α, ενώ το σύμβολο $\otimes$ εκφράζει την μη χρονική συνθήκη σύγκρισης.

  Ο τελεστής *σ-when* ουσιαστικά είναι μία υποπερίπτωση του τελεστή *σ-if*, όπου $L = AllTimes$ και $Q = \exists$. Δηλαδή :

$$\sigma - when_{(A \otimes ntp)}(\mathrm{K}) \equiv \sigma - if_{(A \otimes ntp, \exists, AllTimes)}(\mathrm{K})$$

  Στον παραπάνω ορισμό, επιλέγουμε τα αντικείμενα εκείνα, που το γνώρισμά τους Α ικανοποιεί την μη χρονική συνθήκη, κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος

που προκύπτει από την τομή του χρόνου ισχύος του α και του διαστήματος *AllTimes* (δηλαδή κατά τη διάρκεια του χρόνου ισχύος του α). Αυτό είναι ισοδύναμο με την ανάκληση όλων εκείνων των αντικειμένων που απλά ικανοποιούν την μη χρονική συνθήκη ανεξάρτητα χρονικού διαστήματος.



Σχήμα 5.4: Τελεστής επιλογής σ-when

Η πράξη $\sigma - when_{((\text{Εργαζόμενος.μισθός})>350.000)}$(Εργαζόμενος) επιλέγει τις οντότητες *ε2* και *ε3*. Η οντότητα *ε2* επιστρέφεται με χρονικό διάστημα ισχύος [1996], αφού σ'αυτό το κομμάτι της ιστορίας της ικανοποιεί την συνθήκη επιλογής.

Παράδειγμα 5.3 *Έστω οτι στο σχήμα 5.4 εφαρμόζουμε τον τελεστή* $\sigma - when$ *πάνω στην κλάση οντοτήτων ''Εργαζόμενος''. Ζητάμε τους υπαλλήλους με μισθό μεγαλύτερο από 350.000 δρχ. Ο τελεστής δηλώνεται ως εξής :*

$$\sigma - when_{((\text{Εργαζόμενος.μισθός})>350.000)}(\ \textit{Εργαζόμενος})$$

Αυτό που επιστρέφεται είναι οι οντότητες ε2 *και* ε3 *Η οντότητα* ε3 *ικανοποιεί την συνθήκη επιλογής σ'όλο το χρονικό διάστημα ισχύος της [1989,1993]. Παρατηρούμε οτι στην οντότητα* ε2 *αντιστοιχίζονται δύο χρονικά διαστήματα ισχύος. Το πρώτο αναφέρεται στην ύπαρξη της οντότητας σαν περίπτωση της κλάσης ''Τεχνικός'' ενώ το δεύτερο αναφέρεται στη συμμετοχή της στην κλάση ''Διευθυντής''. Αυτό που επιστρέφεται από την σ-when είναι η οντότητα* ε2 *με χρονικό διάστημα*

ισχύος [1996], αφού σ'αυτό το κομμάτι της ιστορίας της ικανοποιεί την συνθήκη επιλογής.

□

5.2.2.1 Διαδικασία εφαρμογής

Αναφέρθηκε παραπάνω οτι οι τελεστές επιλογής εφαρμόζονται σε οντότητες και μονοπάτια. Στην περίπτωση που τα αντικείμενα προς επιλογή είναι οι περιπτώσεις μίας κλάσης οντοτήτων, ο υπολογισμός είναι πολύ απλός καθώς η ανάκληση των αντικειμένων προς σύγκριση είναι άμεση. Αρχικά για κάθε εξεταζόμενη οντότητα ανακαλούμε το γνώρισμα εκείνο το οποίο θα πρέπει να ικανοποιεί την μη χρονική συνθήκη επιλογής. Στην συνέχεια (στην περίπτωση του τελεστή *σ-if*) αν η σύγκριση είναι αληθής, ελέγχουμε αν το χρονικό διάστημα ισχύος του γνωρίσματος ικανοποιεί τη χρονική συνθήκη. Τέλος, αν και αυτή η σύγκριση είναι αληθής, ελέγχουμε για ικανοποίηση του ποσοδείκτη *Q* ανάμεσα στο γνώρισμα και την υποψήφια οντότητα. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί οτι αν ο ποσοδείκτης είναι το ∃, τότε δεν χρειάζεται να γίνει καμία σύγκριση αφού εξ ορισμού το χρονικό διάστημα ισχύος κάθε γνωρίσματος είναι υποσύνολο του χρονικού διαστήματος ισχύος τόσο της οντότητας-αφετηρίας όσο και της οντότητας-άφιξης (κεφάλαιο 4, αξίωμα 4.1) και συνεπώς ικανοποιεί τις συνθήκες, τούλάχιστον σε ένα μέρος του χρόνου ισχύος του επιλεγόμενου αντικειμένου.

Η εφαρμογή του τελεστή επιλογής είναι πιο πολύπλοκη στην περίπτωση που τα εξεταζόμενα αντικείμενα είναι μονοπάτια. Η πολυπλοκότητα οφείλεται στο γεγονός ότι τα μονοπάτια δεν υπάρχουν σαν αυτόνομα και ανεξάρτητα αντικείμενα και κατά συνέπεια τόσο η ανάκληση όσο και η εφαρμογή πράξεων πάνω σ'αυτά δεν είναι άμεση. Τα μονοπάτια που ανήκουν σε μια κατηγορία μονοπατιών, υπάρχουν με τη μορφή συνόλου συνδέσμων. Η ανάκληση ενός συγκεκριμένου μονοπατιού από το σύνολο αυτό των συνδέσμων γίνεται κατά βήμα, με πλοήγηση. Με βάση έναν αρχικό κόμβο, ανακαλούμε τον σύνδεσμο που ανήκει στην πρώτη κατηγορία γνωρισμάτων του μονοπατιού και στη συνέχεια βρίσκουμε τον κόμβο άφιξης αυτού του συνδέσμου. Με βάση αυτό τον κόμβο ανακαλούμε από το σύνολο των συνδέσμων το σύνδεσμο που ανήκει στην δεύτερη κατηγορία γνωρισμάτων του μονοπατιού κ.ο.κ. Η πολυπλοκότητα της ανάκλησης, αυξάνει ακόμη περισσότερο στην περίπτωση του χρονικού μοντέλου. Στην περίπτωση αυτή για να υπάρχει ένα μονοπάτι δεν αρκεί μόνο η απαίτηση ο κόμβος

αφίξεως του πρώτου συνδέσμου να είναι ίδιος με τον κόμβο αφετηρίας του δεύτερου συνδέσμου, ο κόμβος αφίξεως του δεύτερου να είναι ίδιος με τον κόμβο αφετηρίας του τρίτου κ.τ.λ. Επιπλέον πρέπει το χρονικό διάστημα ισχύος του πρώτου συνδέσμου να έχει μη κενή τομή με το χρονικό διάστημα ισχύος του δεύτερου και η τομή αυτή να έχει μη κενή τομή με το χρονικό διάστημα ισχύος του τρίτου συνδέσμου μέχρι τελικά να υπολογιστεί το χρονικό διάστημα ισχύος ολόκληρου του μονοπατιού.

Στην περίπτωση λοιπόν που τα επιλεγόμενα αντικείμενα είναι μονοπάτια η διαδικασία του τελεστή επιλογής έχει ως εξής. Αρχικά επιλέγονται όλοι οι σύνδεσμοι, περιπτώσεις των κατηγοριών γνωρισμάτων που ορίζουν την κλάση μονοπατιών και που ικανοποιούν τη χρονική συνθήκη. Στη συνέχεια εφαρμόζεται η μη χρονική συνθήκη επιλογής στα κατάλληλα γνωρίσματα. Τέλος ακολουθεί η εύρεση των χρόνων ισχύος των μονοπατιών που έχουν απομείνει (μετά την εφαρμογή των συνθηκών επιλογής) και επιλέγονται τα μονοπάτια με μη κενό χρόνο ισχύος. Η διαδικασία εύρεσης των χρόνων ισχύος μονοπατιών θα περιγραφεί στο επόμενο κεφάλαιο. Στο ίδιο κεφάλαιο θα αναλυθεί και η πολυπλοκότητα της διαδικασίας αυτής.

5.2.3 Χρονικό κομμάτι (time-slice)

Ο τελεστής *time-slice* περιορίζει ένα αντικείμενο κατά την χρονική του διάσταση. Είναι το ανάλογο του τελεστή προβολής ως προς τη χρονική διάσταση. Οπως αναφέρθηκε παραπάνω, με τον τελεστή προβολής ζητάμε την ανάκληση κάποιων συγκεκριμένων γνωρισμάτων της οντότητας-παραμέτρου. Στην περίπτωση του τελεστή *time-slice*, επιθυμούμε την ανάκληση πληροφορίας σχετικής με ένα κομμάτι μόνο της ιστορίας του αντικειμένου-παραμέτρου.

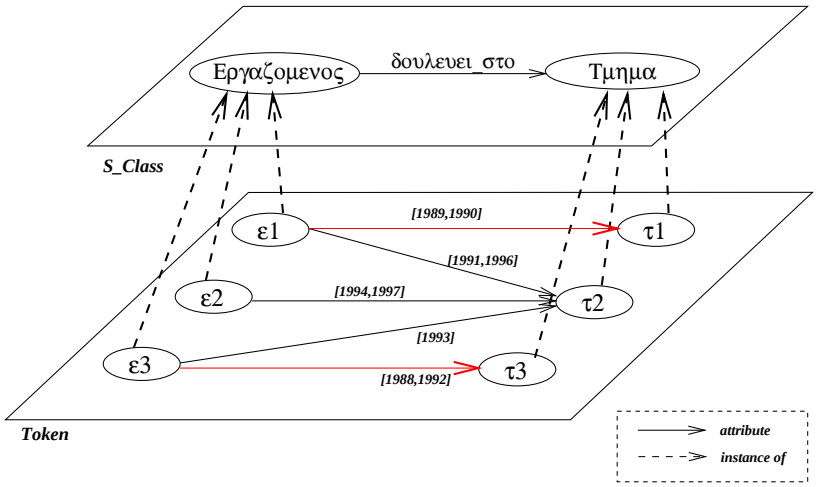
Στη βιβλιογραφία αναφέρονται δύο είδη τελεστών *time-slice*. Ο στατικός και ο δυναμικός. Στον στατικό τελεστή, το χρονικό διάστημα με βάση το οποίο επιθυμούμε να περιορίσουμε χρονικά το αντικείμενο-παράμετρο, ορίζεται άμεσα ως παράμετρος του τελεστή. Αντίθετα στην περίπτωση του δυναμικού *time-slice*, αυτό το χρονικό διάστημα ορίζεται έμμεσα μέσω κάποιου χρονικού γνωρίσματος.

Ορίζουμε τον τελεστή *time-slice* έτσι ώστε να εφαρμόζεται πάνω σε οντότητες, γνωρίσματα καθώς και πάνω σε μονοπάτια. Έστω λοιπόν μία κλάση K ένα χρονικό διάστημα L και ένας από τους τελεστές χρονικής σύγκρισης που ορίζονται στο κεφάλαιο 3 (έστω $\odot$). Το όρισμα K μπορεί να είναι οποιοδήποτε από τα ορίσματα που περιγράφονται

στην υποενότητα 5.1.1. Ο τελεστής *time-slice* λοιπόν ορίζεται ως εξής:

$$\tau_{(\odot,L)}(K) = \{\ k\ \ in\ \ K\ \mid\ lifespan(k)\ \odot\ L\ \ \}$$

Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, επιτρέπεται η ανάκληση αντικειμένων τα οποία είναι περιπτώσεις της κλάσης του αντικειμένου-παραμέτρου και επιπλέον ικανοποιούν κάποια χρονική σύγκριση ως προς το χρονικό διάστημα *L*. Στην περίπτωση που ο τελεστής *time-slice* εφαρμόζεται δίχως τελεστή χρονικής σύγκρισης, επιλέγονται τα αντικείμενα εκείνα που το χρονικό διάστημα ισχύος τους έχει μη κενή τομή με το χρονικό διάστημα *L* το οποίο δηλώνεται άμεσα.



Σχήμα 5.5: Στατικό χρονικό κομμάτι

Η πράξη $\tau_{(before,[1993])}$ (Εργαζόμενος.δουλεύει_στο) επιστρέφει τους συνδέσμους ''*ε1 δουλεύει_στο τ1*'' και ''*ε3 δουλεύει_στο τ3*''

Παράδειγμα 5.4 *Έστω οτι στο σχήμα 5.5, θέλουμε να δούμε τους εργαζόμενους και τα τμήματα στα οποία δούλευαν πριν από το 1993. Για να ανακαλέσουμε αυτό το κομμάτι της πληριοφορίας από τη βάση, εφαρμόζουμε τον τελεστή time-slice στην κατηγορία γνωρισμάτων ''Εργαζόμενος.δουλεύει_στο''. Γράφουμε λοιπόν:*

$$\tau_{(before,[1993])}(Εργαζόμενος.δουλεύει_στο)$$

*Η πράξη αυτή επιστρέφει τον σύνδεσμο ''*ε1 *δουλεύει_στο* τ1*'' που έχει χρόνο ισχύος [1989,1990] καθώς και τον ''*ε3 *δουλεύει_στο* τ3*'' με χρόνο ισχύος [1988,1992]. Οι υπόλοιποι σύνδεσμοι δεν ανήκουν στο σύνολο απαντήσεων αφού δεν ανήκουν στο χρονικό κομμάτι που ζητάμε να ανακαλέσουμε.*

□

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι δυνατό το χρονικό διάστημα, που καθορίζει το χρονικό κομμάτι επιλογής, να μη δηλώνεται άμεσα αλλά να εξάγεται από κάποια έμμεση δήλωση. Στην περίπτωση αυτή το *time-slice* που ορίζεται ονομάζεται *δυναμικό.* Έστω λοιπόν μία κλάση *K* και μία χρονική κλάση γνωρισμάτων *T* της κλάσης αυτής. Το *δυναμικό time-slice* ορίζεται ως ακολούθως :

$$\tau_{(\odot, T)}(K) = \{\ k\ in\ K \mid t\ in\ T,\ lifespan(k)\ \odot\ to(t)\ \}$$

Στον παραπάνω ορισμό το επιθυμητό χρονικό διάστημα είναι διαφορετικό για κάθε αντικειμένο που ελέγχεται. Σε κάθε περίπτωση το διάστημα αυτό είναι η τιμή που έχει το χρονικό γνώρισμα *t* του υπό εξέταση αντικειμένου. Αν το χρονικό διάστημα ισχύος του αντικειμένου *k* ικανοποιεί την σχέση $\odot$ ως προς την τιμή του *t*, τότε το αντικείμενο επιλέγεται.

Παράδειγμα 5.5 *Στο σχήμα 5.6, ζητάμε να βρούμε όλους εκείνους τους εργαζομένους που δούλευαν πριν το χρόνο αποφοίτησης τους. Αυτό εκφράζεται μέσω του δυναμικού τελεστή χρονικού κομματιού ως εξής:*

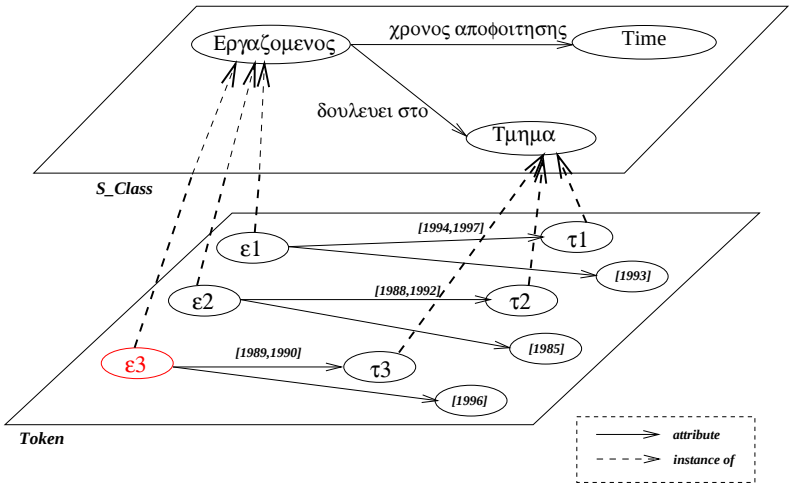
$$\tau_{(before, (\text{Εργαζόμενος.χρόνος}-\text{αποφοίτησης}))}(\text{Εργαζόμενος})$$

Η εκτέλεση της παραπάνω πράξης επιστρέφει τον εργαζόμενο ε3 *που εργαζόταν στο τμήμα* τ3 *κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος [1989,1990] και αποφοίτησε το [1996].*

□

5.2.3.1 Διαδικασία εφαρμογής

Για να εφαρμόσουμε τον τελεστή *time-slice*, χρησιμοποιούμε τους υπάρχοντες μηχανισμούς του SIS. Στην περίπτωση του στατικού τελεστή θέτουμε από την αρχή ως



Σχήμα 5.6: Δυναμικό χρονικό κομμάτι

Η πράξη $\tau_{(before,(\text{Εργαζόμενος.χρόνος}-\text{αποφοίτησης}))}(\text{Εργαζόμενος})$ επιστρέφει τον εργαζόμενο *ε3* που εργαζόταν στο τμήμα *τ3* κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος [1989,1990] και αποφοίτησε το [1996].

συνθήκη επιλογής (με τη συνάρτηση *set_filter_condition*) τον χρονικό τελεστή σύγκρισης ($\odot$) μαζί με το χρονικό διάστημα επιλογής, (L). Στη συνέχεια εφαρμόζουμε τη συνθήκη (συνάρτηση *get_filtered*), στο σύνολο των αντικειμένων προς επιλογή.

Στην περίπτωση του δυναμικού τελεστή, για κάθε αντικείμενο που επεξεργαζόμαστε, θέτουμε ως συνθήκη επιλογής τον χρονικό τελεστή σύγκρισης ($\odot$) και την τιμή του χρονικού γνωρίσματος-παραμέτρου. Η εφαρμογή της συνθήκης γίνεται για κάθε αντικείμενο ξεχωριστά, αφού η συνθήκη επιλογής είναι διαφορετική για κάθε αντικειμένο που ελέγχεται.

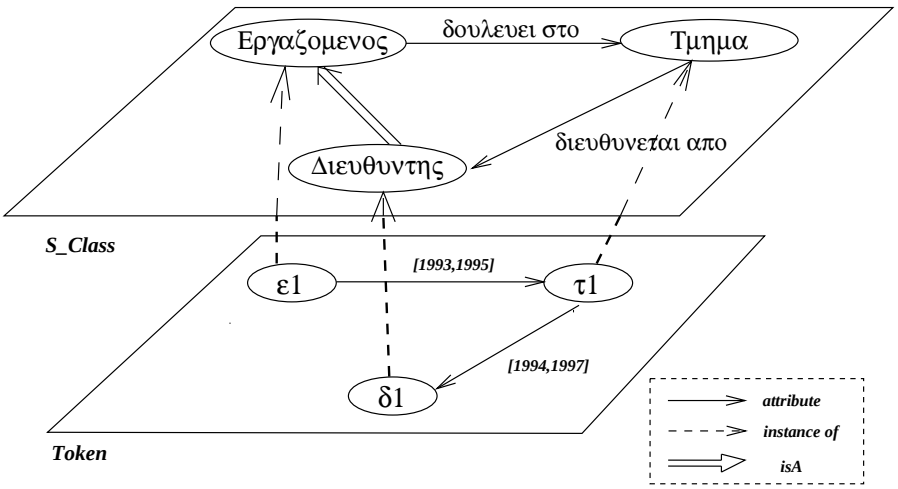
Όταν το αντικείμενο-παράμετρος είναι μονοπάτι, η πράξη ανάκλησης του χρονικού κομματιού δεν είναι εύκολο να εφαρμοστεί με τους ήδη υπάρχοντες μηχανισμούς του SIS. Όπως περιγράφεται και παραπάνω, η πολυπλοκότητα οφείλεται στο γεγονός ότι τα μονοπάτια δεν υπάρχουν σαν αυτόνομα και ανεξάρτητα αντικείμενα και κατά συνέπεια ο υπολογισμός του χρονικού διαστήματος ισχύος τους καθώς και η εφαρμογή πράξεων πάνω σ'αυτόν δεν είναι άμεσα. Η μέθοδος υπολογισμού των χρονικών διαστημάτων των μονοπατιών καθώς και η πολυπλοκότητά της, περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο.

5.2.4 When

Ο τελεστής when δίνει τη δυνατότητα ανάκλησης της χρονικής διάστασης ενός αντικειμένου (του χρονικού διαστήματος ισχύος του). Το αντικείμενο αυτό μπορεί να είναι μία οντότητα, ένα γνώρισμα ή ακόμη και ένα ολόκληρο μονοπάτι ενός γράφου.

$$when(o) = lifespan(o)$$

Όπως έχει οριστεί και προηγουμένως, το χρονικό διάστημα ισχύος ενός μονοπατιού ισούται με την τομή των χρονικών διαστημάτων των γνωρισμάτων που συμμετέχουν στο μονοπάτι αυτό.



Σχήμα 5.7: Τελεστής when

Το χρονικό διάστημα ισχύος του μονοπατιού ''*ε1.δουλεύει_στο, τ1.διευθύνεται_από δ1*'' είναι [1994,1995] και υπολογίζεται από τον τελεστή when()

Παράδειγμα 5.6 *Στο σχήμα 5.7, ζητάμε να βρούμε το χρονικό διάστημα κατά το οποίο ο εργαζόμενος* ε1 *δούλευε στο Τμήμα* τ1 *και είχε διευθυντή την οντότητα* δ1*. Σ' αυτή την περίπτωση, όρισμα του τελεστή when είναι ένα σύνολο με τους συνδέσμους που συμμετέχουν στο επιθυμητό μονοπάτι, έστω το σύνολο path.*

$$when(path) = [1994,1995]$$

□

5.2.4.1 Διαδικασία εφαρμογής

Η εφαρμογή του τελεστή *when* είναι πολύ απλή στην περίπτωση που το αντικείμενο, του οποίου την χρονική διάσταση ζητάμε να ανακαλέσουμε, είναι οντότητα ή γνώρισμα. Στην περίπτωση αυτή απλά ανακαλούμε την τιμή του χρονικού γνωρίσματος του αντικειμένου-παραμέτρου (με κλήση της κατάλληλης συνάρτησης του api).

Ο τελεστής αυτός, όπως και οι παραπάνω, δεν μπορεί να εφαρμοστεί με τους ήδη υπάρχοντες μηχανισμούς του SIS, στην περίπτωση που το αντικείμενο-παράμετρος είναι μονοπάτι. Η μέθοδος υπολογισμού του χρονικού διαστήματος ισχύος ενός μονοπατιού θα περιγραφεί στο επόμενο κεφάλαιο.

5.2.5 Συνένωση (join)

Ο τελεστής *συνένωσης* (*join*) είναι ένας δυαδικός τελεστής που χρησιμοποιείται για την απλοποίση ορισμένων ερωτήσεων. Σε σχεσιακά σχήματα, η πράξη *join* σχηματίζει το καρτεσιανό γινόμενο των δύο ορισμάτων του και επιλέγει τις επιθυμητές πλειάδες, επιβάλοντας ισότητα στα χαρακτηριστικά που είναι κοινά και στις δύο σχέσεις.

Σ'ένα οντοκεντρικό σχήμα όπου δεν υπάρχει η έννοια της πλειάδας, η πράξη της συνένωσης παρέχει τη δυνατότητα επιλογής αντικειμένων, συνδυάζοντας τις διαφορετικές ιδιότητες με τις οποίες τα αντικείμενα αυτά συμμετέχουν σε ένα σχήμα. Έτσι λοιπόν μπορούμε να ανακαλέσουμε διαφορετικά μονοπάτια που προκύπτουν από την συμμετοχή ενός αντικειμένου σε διαφορετικές ιδιότητες και στη συνέχεια να τα συνενώσουμε με τη βοήθεια του τελεστή *join*. Η συνένωση θα γίνει στο σημείο του κοινού κόμβου-αντικειμένου ή στο σημείο που κάποια γνωρίσματα έχουν κοινές τιμές.

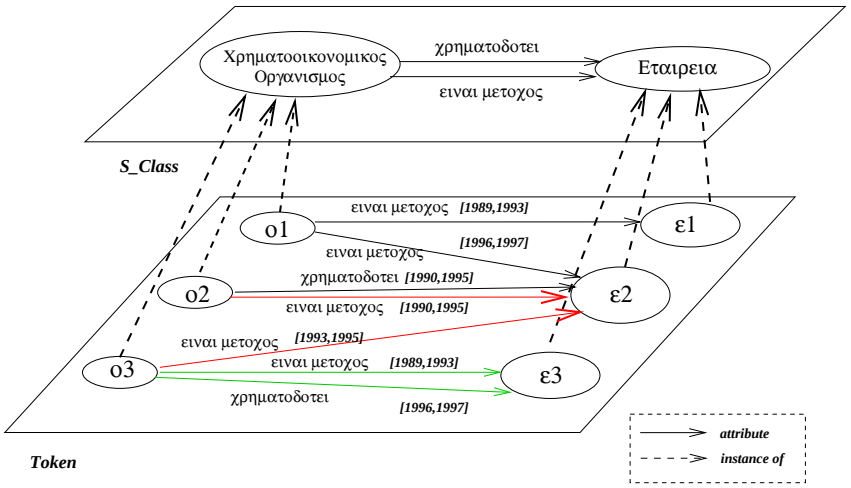
Στην περίπτωση της χρονικής άλγεβρας που παρουσιάζουμε, ο ορισμός ενός τελεστή συνένωσης θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη και την χρονική διάσταση των αντικειμένων-παραμέτρων και να επιβάλει, εκτός των παραπάνω, την ύπαρξη των δύο ορισμάτων του σε κοινές χρονικές στιγμές.

Ο τελεστής συνένωσης μπορεί να εφαρμοστεί σε μονοπάτια και γνωρίσματα. Παρακάτω θα αναφερόμαστε στα ορίσματα του τελεστή ως μονοπάτια, συμπεριλαμβάνοντας και την περίπτωση των γνωρισμάτων, τα οποία θεωρούμε οτι είναι μονοπάτια μήκους 1. Έστω λοιπόν M_1 και M_2 δύο κλάσεις μονοπατιών και A_1, A_2 δύο κατηγορίες γνωρισμάτων που συμμετέχουν στον ορισμό των M_1 και M_2 αντίστοιχα.

Εκτός από τα γνωρίσματα, πρέπει να οριστούν και οι κόμβοι των γνωρισμάτων αυτών πάνω στους οποίους θα γίνει η συνένωση. Για παράδειγμα πρέπει να δηλώσουμε ότι ο κόμβος άφιξης του γνωρίσματος α_1, θα συγκριθεί με τον κόμβο αφετηρίας του γνωρίσματος α_2 και τα μονοπάτια θα συνενωθούν αν οι δύο αυτοί κόμβοι ταυτίζονται. Στον ορισμό που θα δοθεί στη συνέχεια για τον τελεστή συνένωσης χρησιμοποιούμε τον συμβολισμό *node(α)* και εννοούμε μία από τις συναρτήσεις *from* και *to* που ορίστηκαν στο κεφάλαιο 4.

$$M_1[node(A_1) \bowtie node(A_2)]\ M_2 = \{\ \mu \mid \exists\ \mu_1\ in\ M_1, \mu_2\ in\ M_2, (node(\alpha_1) = node(\alpha_2)) \wedge (lifespan(\mu_1) \cap lifespan(\mu_2) \neq \emptyset) \wedge (\mu = \mu_1\mu_2)\ \}$$

Στον παραπάνω ορισμό, με α_1 και α_2 συμβολίζουμε τα γνωρίσματα, περιπτώσεις των κατηγοριών A_1 και A_2, που συμετέχουν στα μονοπάτια μ_1 και μ_2 αντίστοιχα. Επίσης, η ισότητα μεταξύ των *node*(α_1) και *node*(α_2) αναφέρεται είτε σε ισότητα μεταξύ των τιμών τους, αν πρόκειται για πρωτογενείς τύπους δεδομένων, ή σε ισότητα των αναγνωριστικών των αντίστοιχων οντοτήτων.



Σχήμα 5.8: Εφαρμογή τελεστή συνένωσης

Παράδειγμα 5.7 *Στο σχήμα 5.8, ένας ''Χρηματοοικονομικός οργανισμός'' μπορεί τόσο να ''χρηματοδοτεί'' όσο και να ''είναι μέτοχος'' σε διάφορες ''Εταιρείες''. Θέλουμε να*

βρούμε, όλους εκείνους τους οργανισμούς που έχουν μετοχές στις ίδιες εταιρείες. Για να απαντήσουμε σε μία τέτοια ερώτηση εκτελούμε την πράξη της συνένωσης πάνω στις οντότητες που είναι περιπτώσεις της κλάσης ''Εταιρεία'', με βάση το γνώρισμα ''είναι μέτοχος'' της κλάσης ''Χρηματοοικονομικός οργανισμός''.

$$[to(\text{Οργανισμός.είναι_μέτοχος}) \bowtie to(\text{Οργανισμός.είναι_μέτοχος})]$$

Στον ορισμό της παραπάνω πράξης πρέπει να σημειώσουμε δύο πράγματα. Καταρχήν έχουμε παραλείψει τον ορισμό των μονοπατιών που θα συνενωθούν. Αυτό συμβαίνει γιατί τα μονοπάτια προς συνένωση είναι τα ίδια τα γνωρίσματα που θα συγκριθούν και κατά συνέπεια είναι περιττός ο ορισμός τους. Το δεύτερο σημείο που πρέπει να τονιστεί είναι το γεγονός ότι είναι απαραίτητος ο ορισμός των γνωρισμάτων με βάση τα οποία θα γίνει η σύγκριση παρόλο που τελικά συγκρίνονται οι κόμβοι. Με άλλα λόγια, παρόλο που στο παραπάνω παράδειγμα η σύγκριση γίνεται μεταξύ των κόμβων περιπτώσεων της κλάσης ''Εταιρεία'' πρέπει να δηλωθεί ότι αναφερόμαστε στις εταιρείες εκείνες που συμμετέχουν στη σχέση ''είναι_μέτοχος''. Την παραπάνω πράξη ικανοποιούν τα γνωρίσματα ''ο2 είναι_μέτοχος ε2'' και ''ο3 είναι_μέτοχος ε2''. Οι οργανισμοί ο2 και ο3 ήταν ταυτόχρονα μέτοχοι της εταιρείας ε2 κατά τη διάρκεια του [1993,1995]. Αντίθετα, παρόλο που οι οργανισμοί ο1 και ο2 ήταν μέτοχοι της εταιρείας ε1, τα αντίστοιχα μονοπάτια δεν συνενώνονται αφού δεν έχουν κοινή χρονική ισχύ.

Είναι προφανές οτι ο τελεστής join μπορεί να εφαρμοστεί και για περισσότερα του ενός γνωρίσματα των μονοπατιών-ορισμάτων. Στην περίπτωση αυτή δηλώνουμε τα σύνολα των γνωρισμάτων πάνω στα οποία θα γίνει η συνένωση. Έστω λοιπόν οτι θέλουμε όλους εκείνους τους οργανισμούς που είναι μέτοχοι στις εταιρείες που χρηματοδοτούν. Για να βρούμε κάτι τέτοιο πρέπει να εφαρμόσουμε διπλό join.

$$[from(\text{Οργανισμός.είναι_μέτοχος}),to(\text{Οργανισμός.είναι_μέτοχος}) \bowtie$$
$$from(\text{Οργανισμός.χρηματοδοτεί}),to(\text{Οργανισμός.χρηματοδοτεί})]$$

Στην παραπάνω πράξη, συγκρίνουμε το from(Οργανισμός.είναι_μέτοχος) με το from(Οργανισμός.χρηματοδοτεί). Αν οι δύο αυτοί κόμβοι ταυτίζονται και τα χρονικά διαστήματα ισχύος των αντίστοιχων συνδέσμων εχουν μη κενή τομή, ο

τελεστής join προχωράει στην επόμενη σύγκριση. Αν και για τους κόμβους το(Οργανισμός.είναι_μέτοχος) και το(Οργανισμός.χρηματοδοτεί) ικανοποιούνται οι συνθήκες συνένωσης, τότε η πράξη έχει ολοκληρωθεί. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, οι συνθήκες συνένωσης ικανοποιούνται μόνο από τα γνωρίσματα της οντότητας ο2 *η οποία κατά το χρονικό διάστημα [1990,1995], χρηματοδοτούσε και ήταν μέτοχος της εταιρείας* ε2. *Ας σημειωθεί οτι παρόλο που η οντότητα* ο3 *χρηματοδοτούσε και ήταν μέτοχος της εταιρείας* ε3, *δεν επιλέγεται αφού τα χρονικά διαστήματα ισχύος των δύο αυτών γνωρισμάτων έχουν κενή τομή.*

□

5.2.5.1 Διαδικασία εφαρμογής

Η πράξη της συνένωσης μπορεί να εκτελεστεί χρησιμοποιώντας τους ήδη υπάρχοντες μηχανισμούς του SIS, όταν τα αντικείμενα προς συνένωση είναι μονοπάτια μήκους 1 (δηλαδή γνωρίσματα). Στην περίπτωση αυτή αρχικά ελέγχουμε ποια ζεύγη γνωρισμάτων ικανοποιούν την συνθήκη συνένωσης (ισότητα στους καθορισμένους κόμβους). Για κάθε ζεύγος που ικανοποιεί την συνθήκη ελέγχουμε αν οι χρόνοι ισχύος των γνωρισμάτων έχουν μη κενή τομή.

Όπως και παραπάνω, δυσκολία παρουσιάζεται στην περίπτωση που κάποιο από τα δύο ορίσματα είναι μονοπάτι μήκους τουλάχιστον 2, αφού δεν μπορούμε άμεσα να γνωρίζουμε τον χρόνο ισχύος τους.

5.3 Περίληψη

Στο κεφάλαιο αυτό ορίσαμε μια χρονική άλγεβρα για τον χειρισμό των χρονικών μοντέλων που μπορούν να οριστούν με χρήση της SIS-Telos. Το σύνολο των τελεστών αυτής της άλγεβρας είναι ανάλογο αυτού που ορίζεται στη βιβλιογραφία. Στο κεφάλαιο αυτό δόθηκε ο τυπικός ορισμός των τελεστών. Μια πιθανή υλοποίηση για κάθε τελεστή, που θα λαμβάνει υπόψη και τους μηχανισμούς χειρισμού δεδομένων που ήδη υπάρχουν στο SIS, μπορεί να θεωρηθεί οτι υποδεικνύεται στην ενότητα ”Διαδικασία εφαρμογής” που υπάρχει στο τέλος κάθε υποκεφαλαίου του αντίστοιχου τελεστή.

Κεφάλαιο 6

Υπολογισμός χρονικών διαστημάτων μονοπατιών

6.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάζεται μία άλγεβρα για τον χειρισμό των χρονικών μοντέλων. Οι τελεστές εφαρμόζονται σε οντότητες, γνωρίσματα και μονοπάτια. Όπως αναφέρεται, επειδή τα μονοπάτια δεν υπάρχουν ως αυτόνομες και αυτοτελείς οντότητες, αλλά με τη μορφή συνόλου συνδέσμων, είναι δύσκολη η εφαρμογή των τελεστών σ'αυτή την περίπτωση.

Στο κεφάλαιο αυτό θα προσπαθήσουμε να ορίσουμε έναν αλγόριθμο, ο οποίος θα υπολογίζει τα χρονικά διαστήματα των μονοπατιών με βάση τις δυνατότητες που παρέχει το *api* του SIS. Προηγείται ένας τυπικός ορισμός του προβλήματος που προσπαθούμε να επιλύσουμε. Στη συνέχεια, στην ενότητα 6.3, παρουσιάζεται μία ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με άλλα προβλήματα μονοπατιών καθώς και του τρόπου επίλυσης τους. Στην ενότητα 6.4, παρουσιάζεται ο αλγόριθμος υπολογισμού των χρονικών διαστημάτων μονοπατιών. Τέλος στην ενότητα 6.5, αναλύεται η πολυπλοκότητά του.

6.2 Ορισμός προβλήματος

Τα μοντέλο δεδομένων που μελετάμε, μπορούν να παρασταθούν γραφικά μέσω ενός συνόλου αλληλοσυνδεόμενων κόμβων, δηλάδή μέσω ενός γράφου. Σ'ένα τέτοιο γράφο, οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν τις οντότητες καθώς και τις κλάσεις οντοτήτων του

μοντέλου δεδομένων. Οι ακμές αντιπροσωπεύουν τις σχέσεις μεταξύ των οντοτήτων. Αντιπροσωπεύουν δηλαδή γνωρίσματα, σχέσεις ταξινόμησης καθώς και σχέσεις γενίκευσης/εξειδίκευσης. Στον γράφο αυτό, τόσο οι κόμβοι όσο και οι ακμές μπορεί να φέρουν κάποιες ετικέτες. Οι ετικέτες αυτές μπορεί να έχουν διάφορες έννοιες και πάντοτε εξαρτάται από το μοντέλο δεδομένων που παριστάνεται μέσω του γράφου.

Στην περίπτωση των χρονικών μοντέλων που παρουσιάζονται στην εργασία αυτή ο γράφος παράστασης έχει τα εξής χαρακτηριστικά. Θεωρώ οτι είναι ένας μη κατευθυνόμενος γράφος. Δεδομένων δυο κόμβων κ_1 και κ_2 και μίας ακμής α_{12} που τους συνδεει, μπορώ να μεταβώ τόσο από τον κ_1 στον κ_2 μέσω της ακμής αυτής όσο και από τον κ_2 στον κ_1. Ο γράφος μπορεί να περιέχει και κύκλους. Οι κόμβοι και οι ακμές φέρουν ετικέτες που είναι τα χρονικά διαστήματα ισχύος των αντίστοιχων αντικειμένων.

Το χρονικό διάστημα ισχύος ενός μονοπατιού από ένα κόμβο v_0 σε ένα κόμβο v_L ισούται με την τομή των χρονικών διαστημάτων των ακμών που μετέχουν στο μονοπάτι αυτό (όπως ορίζεται και στο προηγούμενο κεφάλαιο). Ένα μονοπάτι "υπάρχει" χρονικά, όταν το χρονικό διάστημα ισχύος του είναι μη κενό. Ανάλογα, ένα μονοπάτι "υπάρχει" σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ℓ όταν η τομή του χρονικού διαστήματος ισχύος του μονοπατιού με το χρονικό διάστημα ℓ, είναι μη κενή. Ζητάμε την εύρεση των χρονικών διαστημάτων μονοπατιών που ανήκουν σε κάποια συγκεκριμένη κλάση [1]. Θα προσπαθήσουμε να ορίσουμε το πρόβλημα πιο τυπικά.

Έστω ένας μη κατευθυνόμενος γράφος, ένα σύνολο αρχικών και ένα σύνολο τελικών κόμβων. Θεωρούμε οτι οι κόμβοι του γράφου είναι αριθμημένοι. Για κάθε ζεύγος αρχικού κόμβου i και τελικού κόμβου j, ζητείται να υπολογιστούν τα χρονικά διαστήματα ισχύος των μονοπατιών που οδηγούν από τον κόμβο i στον κόμβο j.

Για την επίλυση του προλήματος αυτού θα προσπαθήσουμε να ορίσουμε ένα σύνολο εξισώσεων. Έστω το σύνολο x_{ij} των χρονικών διαστημάτων όλων των μονοπατιών από τον κόμβο i στον κόμβο j. Βρισκόμενοι στον κόμβο i, έστω οτι η πρώτη μετάβαση οδηγεί σε κάποιο κόμβο k. Η ακμή που συνδέει τον κόμβο i με τον κόμβο k ''μεταφέρει'' ένα χρονικό διάστημα έστω α_{ik}. Έτσι λοιπόν το χρονικό διάστημα από τον κόμβο i στον κόμβο j μέσω του κόμβου k, είναι $\alpha_{ik} \cap x_{kj}$. Συνεπώς, πρέπει να πάρουμε την ένωση των χρονικών διαστημάτων όλων των ακμών από τον κόμβο i προς όλους τους πιθανούς

[1] Στη μελέτη αυτή, τα μονοπάτια και οι κλάσεις τους ορίζονται σύμφωνα με τους ορισμούς 5.1 και 5.2, του κεφαλαίου 5.

κόμβους k και να υπολογίσουμε το σύνολο x_{ij} ως εξής:

$$x_{ij} = \bigcup_{k=1}^{n} (\alpha_{ik} \cap x_{kj}) \qquad (1)$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι στον παραπάνω τύπο, η ένωση δεν έχει την έννοια της ένωσης διαστημάτων π.χ. $[1,5] \cup [3,6] = [1,6]$, αλλά την έννοια της συλλογής (ένωση συνόλων) ($[1,5] \cup [3,6] = \{[1,5],[3,6]\}$) και αυτό γιατί προσπαθούμε να ορίσουμε μία εξίσωση που θα βρίσκει τα χρονικά διαστήματα ισχύος των διαφόρων μονοπατιών από τον κόμβο i στον κόμβο j και όχι ένα συνολικό χρονικό διάστημα. Επιπλέον η τομή του διαστήματος που φέρει η ακμή α_{ik} με το σύνολο διαστημάτων x_{kj} (εξίσωση (1)), ορίζεται ως η τομή του α_{ik} με κάθε διάστημα του συνόλου x_{kj}, ξεχωριστά. Έτσι λοιπόν, έστω οι ακμές α_{12} και α_{13} με διαστήματα [1,5] και [3,8] αντίστοιχα και έστω τα σύνολα $x_{25} = \{[3,6],[4,7]\}$ και $x_{35} = \{[7,9],[4,5]\}$. Σύμφωνα με την εξίσωση (1) το σύνολο x_{15} υπολογίζεται ως εξής:

$$x_{15} = (\alpha_{12} \cap x_{25}) \bigcup (\alpha_{13} \cap x_{35}) = ([1,5] \cap \{[3,6],[4,7]\}) \bigcup ([3,8] \cap \{[7,9],[4,5]\}) =$$
$$\{[3,5],[4,5]\} \bigcup \{[7,8],[4,5]\} = \{[5,6],[4,5],[7,8],[4,5]\}$$

Η εξίσωση (1) έχει την ίδια μορφή με εξισώσεις επίλυσης διαφόρων προβλημάτων σχετικών με μονοπάτια γράφων, που παρουσιάζονται στην βιβλιογραφία [19]. Στην επόμενη ενότητα θα παρουσιαστούν δύο τέτοια προβλήματα, η εύρεση ελάχιστου μονοπατιού σε γράφο και η εύρεση του συνόλου των λέξεων που γίνονται αποδεκτές από ένα πεπερασμένο αυτόματο.

6.3 Προβλήματα μονοπατιών σε γράφους

Στην περίπτωση της εύρεσης ελάχιστου μονοπατιού, θεωρούμε οτι έχουμε ένα κατευθυνόμενο γράφο του οποίου οι ακμές μεταφέρουν κάποια βάρη. Για κάθε μονοπάτι μπορούμε να υπολογίσουμε το βάρος του, που είναι το άθροισμα των βαρών των ακμών που συμμετέχουν στο μονοπάτι αυτό. Μπορούμε να θεωρήσουμε οτι τα βάρη των ακμών εκφράζουν μήκος, χρόνο ή ακόμη και κόστος διάσχισης της ακμής. Με τον γράφο G μπορούμε να συνδέσουμε τον πίνακα γειτνίασης A. Στον πίνακα αυτό, το στοιχείο α_{ij} είναι το βάρος της ακμής που συνδέει τους κόμβους (i,j), αν η ακμή υπάρχει. Διαφορετικά εισάγονται τεχνητά βάρη ίσα με ∞ στα σημεία που δεν υπάρχουν ακμές. Οι τεχνητές

αυτές ακμές δεν επηρεάζουν το πρόβλημα, αφού ένα μονοπάτι που χρησιμοποιεί μια τέτοια ακμή έχει συνολικό βάρος ∞ και κατά συνέπεια δεν επιλέγεται.

Το σύστημα των εξισώσεων για την επίλυση του προβλήματος εύρεσης ελάχιστου μονοπατιού, εξάγεται με το ίδιο τρόπο που ορίστηκε η εξίσωση 1. Αν ένα μονοπάτι p από τον κόμβο i στον κόμβο j, της μορφής $(i = v_0, v_1, ..., v_\ell = j)$ είναι ελάχιστο, τότε και κάθε επιμέρους μονοπάτι για παράδειγμα $p\prime = (v_1, ..., v_\ell = j)$ πρέπει να είναι ελάχιστο. Έτσι λοιπόν έχουμε την εξίσωση

$$x_{ij} = min_{1 \leq k \leq n}(\alpha_{ik} + x_{kj}) \qquad (\mathbf{2}.\alpha)$$

Για i = j ο παραπάνω συλλογισμός ισχύει με την εξής διαφορά. Το άδειο μονοπάτι από το j στο j που δεν περιέχει καμία ακμή είναι επιπλέον υποψήφιο για την εύρεση του ελάχιστου μονοπατιού (δεδομένου οτι υπάρχουν αρνητικά βάρη, γιατί διαφορετικά θα ήταν το μοναδικό υποψήφιο). Έχουμε λοιπόν την επιπλέον εξίσωση

$$x_{jj} = min\{min_{1 \leq k \leq n}(\alpha_{jk} + x_{kj}), 0\} \qquad (\mathbf{2}.\beta)$$

Ανάλογα προκύπτουν και οι εξισώσεις για το πρόβλημα της εύρεσης του συνόλου των λέξεων που γίνονται αποδεκτές από ένα πεπερασμένο αυτόματο. Στο πρόβλημα αυτό το αυτόματο μπορεί να παρασταθεί με την βοήθεια ενός κατευθυνόμενου γράφου, όπου οι κόμβοι είναι οι καταστάσεις του αυτομάτου. Ένας από τους κόμβους παριστάνει την αρχική κατάσταση και ένα σύνολο κόμβων παριστάνουν τις τελικές καταστάσεις. Οι ακμές έχουν ετικέτες (βάρη) υποσύνολα ενός αλφάβητου Σ. Έτσι λοιπόν αν η ακμή (i,j) έχει ετικέτα το γράμμα z , αυτό σημαίνει οτι αν το αυτόματο βρίσκεται στην κατάσταση i και το επόμενο σύμβολο που διαβάζει είναι z τότε μεταβαίνει στην κατάσταση j. Πιο τυπικά το πρόβλημα ορίζεται ως εξής: Για κάθε τελική κατάσταση j, να καθοριστεί το σύνολο x_{1j} των λέξεων που οδηγούν από την αρχική κατάσταση 1 στην τελική κατάσταση j. Στο πρόβλημα αυτό, όπως και στα προηγούμενα, αντιστοιχίζουμε στον γράφο G τον πίνακα γειτνίασης A, όπου το στοιχείο α_{ij} περιέχει το σύνολο των ετικετών της ακμής (i,j) (σ'ένα πεπερασμένο αυτόματο μία ακμή μπορεί να δέχεται περισσότερους του ενός χαρακτήρες). Το σύνολο x_{ij} αναφέρεται στο σύνολο των λέξεων μέσω των οποίων το αυτόματο μπορεί να οδηγηθεί από την κατάσταση i στην κατάσταση j.
Ανάλογα με τα προηγούμενα δύο προβλήματα προκύπτει το σύστημα των εξισώσεων:

$$x_{ij} = \bigcup_{k=1}^{n} (\alpha_{ik} \cdot x_{kj}) \qquad (\mathbf{3}.\alpha)$$

$$x_{jj} = \bigcup_{k=1}^{n} (\alpha_{jk} \cdot x_{kj}) \cup \{\varepsilon\} \qquad (\mathbf{3}.\beta)$$

Όπως και στο προηγούμενο πρόβλημα, αν i = j λαμβάνουμε υπόψη το επιπλέον ενδεχόμενο το αυτόματο να μην διαβάζει τίποτα (διαβάζει την κενή λέξη) και να παραμένει στην ίδια κατάσταση.

6.3.1 Αλγεβρικό Υπόβαθρο

Τα συστήματα των εξισώσεων που προέκυψαν έχουν την εξής κοινή δομή:

$$x_{ij} = \bigoplus_{k=1}^{n} (\alpha_{ik} \otimes x_{kj}) \quad (\text{για } i \neq j) \qquad (\mathbf{4}.\alpha)$$

$$x_{jj} = \bigoplus_{k=1}^{n} (\alpha_{jk} \otimes x_{kj}) \oplus \mathbf{1} \quad (\text{για } i = j) \qquad (\mathbf{4}.\beta)$$

Στην περίπτωση του προβλήματος εύρεσης του ελάχιστου μονοπατιού, η πράξη $\oplus$ αναφέρεται στην πράξη min ενώ η πράξη $\otimes$ στην πράξη της πρόσθεσης, ενώ το **1** αναφέρεται στο μηδέν. Στο δεύτερο παράδειγμα, το $\oplus$ υποδηλώνει την ένωση ($\cup$), το $\otimes$ την συνένωση (concatenation) και το **1** την κενή λέξη $\{\varepsilon\}$.

Η αλγεβρική δομή που ‘‘κρύβεται’’ πίσω από τις δύο αυτές πράξεις είναι ένας ημιδακτύλιος (S,$\oplus$,$\otimes$), δηλαδή ένα σύνολο S και δύο δυαδικοί τελεστές $\oplus$ και $\otimes$ που ικανοποιούν τα ακόλουθα αξιώματα:

(A_1) (S,$\oplus$) είναι μία αντιμεταθετική ημιομάδα με ουδέτερο στοιχείο 0:

$$\alpha \oplus \beta = \beta \oplus \alpha$$

$$(\alpha \oplus \beta) \oplus \gamma = \alpha \oplus (\beta \oplus \gamma)$$

$$\alpha \oplus \mathbf{0} = \alpha$$

(A_2) (S,$\otimes$) είναι μία ημιομάδα με ουδέτερο στοιχείο 1 και απορροφητικό στοιχείο το 0:

$$(\alpha \otimes \beta) \otimes \gamma = \alpha \otimes (\beta \otimes \gamma)$$

$$\alpha \otimes \mathbf{1} = \mathbf{1} \otimes \alpha = \alpha$$

$$\alpha \otimes \mathbf{0} = \mathbf{0} \otimes \alpha = \mathbf{0}$$

(A_3) **Η πράξη $\otimes$ είναι επιμεριστική ως προς την πράξη $\oplus$:**

$$(\alpha \oplus \beta) \otimes \gamma = (\alpha \otimes \beta) \oplus (\beta \otimes \gamma)$$

$$\alpha \otimes (\beta \oplus \gamma) = (\alpha \otimes \beta) \oplus (\alpha \otimes \gamma)$$

Αποδεικνύεται στη βιβλιογραφία [19] ότι τα παραπάνω αξιώματα είναι φυσικές υποθέσεις για οποιοδήποτε πρόβλημα μονοπατιού σε γράφο. Η πράξη $\oplus$ πρέπει να είναι αντιμεταθετική και προσεταιριστική αφού το άθροισμα $\bigoplus_{k=1}^{n}$, στις εξισώσεις (4.α) και (4.β), πρέπει να είναι ανεξάρτητο της σειράς των τελεστών. Η πράξη $\otimes$ είναι αυτή, μέσω της οποίας υπολογίζεται το βάρος ενός μονοπατιού (όπως αυτό ορίζεται σε κάθε πρόβλημα) από τα βάρη των ακμών του και γι'αυτό το λόγο απαιτούμε να είναι προσεταιριστική.

$$w((v_0, v_1, ..., v_\ell)) = \alpha_{v_0 v_1} \otimes \alpha_{v_1 v_2} \otimes ... \otimes \alpha_{v_{\ell-1} v_\ell}$$

Το στοιχείο **1** είναι το βάρος του ''άδειου'' μονοπατιού. Αυτό που επιθυμούμε να υπολογίσουμε είναι, αναφερόμενοι στον ημιδακτύλιο, το $\oplus$-άθροισμα των βαρών όλων των μονοπατιών από το i στο j:

$$x_{ij} = \bigoplus w(p) \quad (\text{το } p \text{ είναι μονοπάτι από το } i \text{ στο } j)$$

Παρατηρούμε οτι το πρόβλημα που μελετάμε ικανοποιεί τα αξιώματα (A_1), (A_2) και (A_3) αφού η πράξη της ένωσης είναι αντιμεταθετική και προσεταιριστική, με ουδέτερο στοιχείο το κενό χρονικό διάστημα (αξίωμα A_1) ενώ η πράξη της τομής είναι προσεταιριστική με ουδέτερο στοιχείο το χρονικό διάστημα *AllTime* και απορροφητικό στοιχείο το κενό χρονικό διάστημα (αξίωμα A_2). Τέλος η πράξη της ένωσης είναι επιμεριστική ως προς την πράξη της τομής. Έτσι λοιπόν, το πρόβλημα εύρεσης των χρόνων ισχύος των μονοπατιών, μπορεί να αναχθεί στο αλγεβρικό πρόβλημα που παρουσιάζεται παραπάνω.

6.3.2 Αλγόριθμος απαλοιφής Gauss-Jordan

Στο άρθρο [19], αποδεικνύεται ότι προβλήματα που εκφράζονται μέσω εξισώσεων της παραπάνω μορφής, επιλύονται με τον αλγόριθμο απαλοιφής *Gauss-Jordan*, ο οποίος επαναληπτικά απαλείφει μεταβλητές στο σύστημα εξισώσεων (4). Ο αλγόριθμος αυτός δέχεται ως είσοδο τον πίνακα γειτνίασης A, του γράφου που επεξεργάζεται. Θυμίζουμε

οτι στον πίνακα αυτό, το στοιχείο α_{ij} είναι το βάρος της ακμής που συνδέει τους κόμβους (i,j), αν η ακμή υπάρχει. Διαφορετικά εισάγονται τεχνητά βάρη, τέτοια που να μην επηρεάζουν το πρόβλημα. Ο αλγόριθμος *Gauss-Jordan* μεταβάλει αυτόν τον πίνακα επαναληπτικά μέχρι να καταλήξει σε μία τελική λύση, τον πίνακα $A^{(n)}$ (όπου $A^{(k)}$ είναι ο πίνακας που προκύπτει μετά την k-οστή επανάληψη). Παρακάτω παραλείπονται οι επικεφαλίδες $^{(k)}$ από τις μεταβλητές ενώ με α_{ij} συμβολίζεται η θέση (i,j) του πίνακα A που αρχικά περιέχει το βάρος της ακμής (i,j). Τα αποτελέσματα των υπολογισμών αποθηκεύονται πάλι στον πίνακα A. Ουσιαστικά λοιπόν, μετά την πρώτη επανάληψη οι μεταβλητές α_{ij} αντιστοιχούν στα σύνολα x_{ij} του συστήματος εξισώσεων (4) (με τελικό αποτέλεσμα $x_{ij} = \alpha_{ij}^{(n)}$). Με $(\alpha_{kk})^*$, συμβολίζεται η αρχική τιμή του στοιχείου (α_{kk}).

Αλγόριθμος απαλοιφής *Gauss-Jordan*

```
for k from 1 to n do begin
    α_kk := (α_kk)*;
    for all i from 1 to n with i ≠ k do        α_ik := α_ik ⊗ α_kk;
    for all i from 1 to n with i ≠ k do
        for all j from 1 to n with j ≠ k do    α_ij := α_ij ⊕ (α_ik ⊗ α_kj);
    for all i from 1 to n with i ≠ k do        α_ki := α_kk ⊗ α_ki;
end;
```

Για το πρόβλημα που μελετάμε, όπου ο γράφος είναι μη κατευθυνόμενος και οι πράξεις είναι η ένωση και η τομή (όπως αυτές ορίζονται στην ενότητα 6.2), ο αλγόριθμος απαλοιφής εφαρμόζεται με την παρακάτω μορφή:

Αλγόριθμος απαλοιφής *Gauss-Jordan* **για το πρόβλημα εύρεσης των χρόνων ισχύος μονοπατιών**	
1. **for** k **from** 1 **to** n **do begin**	
$\alpha_{kk} := (\alpha_{kk})^*$;	
2. **for all** i **from** k+1 **to** n **with** $i \neq k$ **do**	$\alpha_{ik} := \alpha_{ik} \cap \alpha_{kk}$;
3. **for all** i **from** 1 **to** n **with** $i \neq k$ **do**	
4. **for all** j **from** 1 **to** i **with** $j \neq k$ **do**	$\alpha_{ij} := \alpha_{ij} \bigcup (\alpha_{ik} \cap \alpha_{kj})$;
end;	

Στην αρχική του μορφή ο αλγόριθμος υπολογίζει όλα τα στοιχεία ενός πίνακα (n x n). Με την τροποποίηση, υπολογίζεται μόνο το κάτω τριγωνικό μέρος του πίνακα και αυτό γιατί, σ'ένα μη κατευθυνόμενο γράφο, το στοιχείο α_{ij} έχει την ίδια τιμή με το στοιχείο α_{ji}. Ο παραπάνω αλγόριθμος επιλύει το πρόβλημα εύρεσης των χρονικών διαστημάτων των μονοπατιών ως εξής: Για κάθε κόμβο κ του γράφου που μελετάμε, υπολογίζονται όλες οι τομές του συνόλου των χρονικών διαστήματων των διαδρομών από όλους τους κόμβους i του γράφου προς τον κόμβο k (α_{ik}) με το σύνολο των χρονικών διαστήματων των διαδρομών α_{kk}. Τα δύο αυτά σύνολα περιέχουν και τιμές που έχουν υπολογιστεί σε προηγούμενα βήματα. Στη συνέχεια, αφού υπολογιστούν οι παραπάνω τομές, υπολογίζονται τα χρονικά διαστήματα όλων των μονοπατιών του γράφου, θεωρώντας οτι τα μονοπάτια αυτά διέρχονται από τον κόμβο k ($\alpha_{ik} \cap \alpha_{kj}$) και τα αποτελέσματα συλλέγονται (ενώνονται) στα σύνολα που έχουν υπολογιστεί σε προηγούμενα βήματα.

Ο παραπάνω αλγόριθμος έχει πολυπλοκότητα της τάξης του O(n^3). Η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου αυτού οφείλεται στο γεγονός ότι υπολογίζονται τα χρονικά διαστήματα των μονοπατιών από όλους τους n κόμβους προς όλους τους n κόμβους μέσω όλων των n κόμβων ($n * n * n = n^3$). Στην περίπτωση του προβλήματος που μελετάμε σ'αυτή την εργασία, τα μονοπάτια είναι καθορισμένα. Τόσο το σύνολο των αρχικών κόμβων όσο και το σύνολο των τελικών κόμβων είναι καθορισμένο. Επιπλέον, αφού τα μονοπάτια ανήκουν σε κάποια ''κλάση'' μονοπατιών, είναι καθορισμένα και τα σύνολα των ενδιάμεσων κόμβων. Τέλος για κάθε κόμβο γνωρίζουμε τους κόμβους που συνδέονται άμεσα μαζί του, αφού με βάση τον κόμβο αυτό μπορούμε να ανακαλέσουμε όλους

τους κόμβου που συνδέονται μαζί του μέσω συνδέσμων που ανήκουν στην αντίστοιχη κατηγορία γνωρισμάτων της κλάσης των μονοπατιών.

Με βάση όλη την παραπάνω γνώση και χρησιμοποιώντας κατάλληλες δομές αποθήκευσης (αφού στην περίπτωση του πίνακα, το άνω τριγωνικό μέρος δεν χρησιμοποιείται) μπορεί να βελτιωθεί η απόδοση του αλγορίθμου. Στην επόμενη παράγραφο περιγράφεται ο τελικός αλγόριθμος επίλυσης του προβλήματος εύρεσης των χρονικών διαστημάτων των μονοπατιών, δεδομένου ότι τα μονοπάτια αυτά ανήκουν σε κάποια συγκεκριμένη κλάση μονοπατιών.

6.4 Αλγόριθμος εύρεσης χρονικών διαστημάτων μονοπατιών

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, ο αλγόριθμος απαλοιφής *Gauss-Jordan* επιλύει το πρόβλημα εύρεσης χρονικών διαστημάτων, υπολογίζοντας τους χρόνους ισχύος για όλους τους συνδυασμούς κόμβων. Στην παράγραφο αυτή θα δείξουμε πώς ο αλγόριθμος αυτός μπορεί να βελτιωθεί, χρησιμοποιώντας τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του προβλήματος που μελετάμε. Θα προσπαθήσουμε λοιπόν να μειώσουμε το σύνολο των επαναλήψεων και να υπολογίσουμε τα χρονικά διαστήματα των μονοπατιών που πραγματικά μας ενδιαφέρουν. Στον παραπάνω αλγόριθμο, θεωρούμε οτι όλοι οι κόμβοι συνδέονται μ'όλους τους κόμβους. Αν μια ακμή δεν υπάρχει, προσθέτουμε τεχνητό βάρος στον πίνακα γειτνίασης τέτοιο που να μην επηρεάζει την επίλυση του προβλήματος (το κενό διάστημα σ'αυτή την περίπτωση). Αφού όμως τα μονοπάτια που μελετάμε ανήκουν σε μία συγκεκριμένη κλάση μονοπατιών, γνωρίζουμε ακριβώς τόσο το μήκος τους όσο και τους συνδέσμους του κάθε βήματος.

Μπορούμε λοιπόν να βελτιώσουμε τον αλγόριθμο ως εξής: η εξωτερική ανακύκλωση του αλγορίθμου της προηγούμενης παραγράφου (ανακύκλωση 1.) αναφέρεται στους ενδιάμεσους κόμβους του κάθε βήματος. Μπορούμε να μετατρέψουμε την ανακύκλωση αυτή έτσι ώστε κάθε φορά να αναφερόμαστε στους πραγματικά ενδιάμεσους κόμβους του αντίστοιχου βήματος διάσχισης. Το παραπάνω μπορεί να γίνει ευκολότερα κατανοητό με τη χρήση ενός παραδείγματος. Έστω ότι έχουμε ορίσει την κλάση μονοπατιών : *(Εργαζόμενος.δουλεύει_στο, Τμήμα.διευθύνεται_από, Διευθυντής.έχει_μισθό)* Τα μονοπάτια που ανήκουν στην κλάση αυτή έχουν μήκος 3. Λαμβάνω δύο σύνολα ενδιάμεσων κόμβων. Το πρώτο περιέχει κόμβους-περιπτώσεις της κλάσης οντοτήτων *''Τμήμα''*

οι οποίοι συνδέονται με τους αρχικούς κόμβους μέσω γνωρισμάτων που ανήκουν στην κατηγορία *''δουλεύει_στο''*. Το δεύτερο σύνολο περιέχει κόμβους-περιπτώσεις της κλάσης *''Διευθυντής''*.

Για τον ορισμό του αλγορίθμου, χρησιμοποιώ τις ακόλουθες συναρτήσεις:

- **category**(ℓ): Η συνάρτηση αυτή λαμβάνει όρισμα το βήμα διάσχισης των μονοπατιών και επιστρέφει την κατηγορία γνωρισμάτων του βήματος αυτού. Έτσι για το παραπάνω παράδειγμα το *category(1)* επιστρέφει την κατηγορία γνωρισμάτων *Εργαζόμενος δουλεύει_στο* το *category(2)* την κατηγορία *Τμήμα διευθύνεται_από* ενώ το *category(3)* την κατηγορία *Διευθυντής έχει_μισθό* .

- **links**(*category*): Λαμβάνει ως όρισμα μία κατηγορία γνωρισμάτων και επιστρέφει το σύνολο των γνωρισμάτων που είναι περιπτώσεις της κατηγορίας αυτής.

- **from_value**(*node,category*): Η συνάρτηση αυτή δέχεται δύο ορίσματα. Ένα κόμβο και μία κατηγορία γνωρισμάτων. Αυτό που επιστρέφει είναι οι κόμβοι-αφετηρίες των γνωρισμάτων που ανήκουν στην κατηγορία *category* και έχουν κόμβο αφίξεως τον κόμβο *node*.

- **to_value**(*node,category*): Η συνάρτηση αυτή δέχεται δύο ορίσματα όπως και η προηγούμενη. Επιστρέφει τους κόμβους άφιξης των γνωρισμάτων που ανήκουν στην κατηγορία *category* και έχουν κόμβο αφετηρίας τον κόμβο *node*.

- **remove**(*node*): Η συνάρτηση αυτή λαμβάνει όρισμα ένα κόμβο τον οποίο και απομακρύνει από το σύνολο των κόμβων που επεξεργάζεται ο αλγόριθμος.

Οι τέσσερις πρώτες συναρτήσεις, είναι συναρτήσεις του *api* του SIS. Η ονομασία τους είναι διαφορετική. Επιλέξαμε τη χρήση των παραπάνω ονομάτων ώστε να είναι πιο εμφανής η λειτουργικότητα τους. Η συνάρτηση **remove** θα πρέπει να προστεθεί στο σύνολο των συναρτήσεων του *api* ώστε να είναι δυνατή μια υλοποίηση του αλγορίθμου που ακολουθεί. Με βάση τα παραπάνω διατυπώνουμε τον ακόλουθο αλγόριθμο για την εύρεση των χρονικών διαστημάτων μονοπατιών που ανήκουν σε κάποια συγκεκριμένη κλάση. Η συνάρτηση *to()* είναι αυτή που έχει οριστεί στο κεφάλαιο 4. Ο αλγόριθμος αυτός δέχεται ως είσοδο τον πίνακα γειτνίασης A, του γράφου που επεξεργάζεται (όπως και ο αλγόριθμος *Gauss-Jordan*). Τα αποτελέσματα των ενδιάμεσων υπολογισμών

αποθηκεύονται στις μεταβλητές α_j όπου j είναι ο δείκτης του τελικού κόμβου του τμήματος μονοπατιού του οποίου το χρονικό διάστημα υπολογίζεται. Οι μεταβλητές α_j λοιπόν αντιστοιχούν στα σύνολα x_{ij} του συστήματος εξισώσεων (4).

Αλγόριθμος εύρεσης χρονικών διαστημάτων μονοπατιών

for j **from** 1 **to** n $a_j = \emptyset$

1. **for** ℓ **from** 1 **to** (path_length - 1) **do begin**
2. **for all** k **in** to(links(category(ℓ))) **do**
   if (ℓ = 1) **then**
3. **for all** i **in** from_value(k,category(ℓ)) **do**
4. **for all** j **in** to_value(k,category(ℓ+1)) **do**
   if ($\alpha_{ik} \cap \alpha_{kj} \neq \emptyset$) **then** $\alpha_j := \alpha_j \bigcup \alpha_{ik} \cap \alpha_{kj}$;
   else (**if** $\ell \neq 1$) **begin**
5. **for all** j **in** to_value(k,category(ℓ+1)) **do**
6. **if** ($\alpha_k \cap \alpha_{kj} \neq \emptyset$) **then** $\alpha_j := \alpha_j \bigcup \alpha_k \cap \alpha_{kj}$;
   end;
7. **for all** k **in** to(links(category(ℓ))) **do**
8. **for all** j **in** to_value(k,category(ℓ+1)) **do**
   if ($\alpha_j = \emptyset$) **then** remove(j)

end;

Στον παραπάνω αλγόριθμο, αρχικά υπολογίζονται τα χρονικά διαστήματα ισχύος για όλα τα τμήματα των μονοπατιών που έχουν μήκος 2. Στη συνέχεια (με βάση τα διαστήματα που έχουν υπολογιστεί στο προηγούμενο βήμα) υπολογίζονται οι χρόνοι ισχύος για τα τμήματα μήκους 3. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να υπολογιστούν τα χρονικά διαστήματα για όλο το μήκος των μονοπατιών. Αν λοιπόν τα μονοπάτια που επεξεργάζεται ο αλγόριθμος έχουν μήκος 3 (path_length = 3) τότε η παραπάνω διαδικασία θα επαναληφθεί δύο φορές. Σε κάθε επανάληψη βρίσκουμε το σύνολο των ενδιάμεσων κόμβων του αντίστοιχου βήματος. Στην πρώτη επανάληψη, για κάθε ένα

από τους ενδιάμεσους κόμβους k, βρίσκουμε τους κόμβους που συνδέονται άμεσα με τον k μέσω συνδέσμων που ανήκουν στην πρώτη κατηγορία γνωρισμάτων *(from_values)* καθώς και τους κόμβους που συνδέονται με τον k μέσω συνδέσμων που ανήκουν στη δεύτερη κατηγορία γωρισμάτων *(to_values).* Υπολογίζουμε τα χρονικά διαστήματα για όλα τα τμήματα μονοπατιών που προκύπτουν συνδυάζοντας κόμβους από τα σύνολα *from_values* και *to_values* και που έχουν ως ενδιάμεσο κόμβο τον k.

Τα αποτελέσματα αποθηκεύονται στον τελικό κόμβο του αντίστοιχου τμήματος μονοπατιού μαζί με τους δείκτες του τμήματος του μονοπατιού στο οποίο αντιστοιχούν. Έτσι για παράδειγμα, για το τμήμα ενός μονοπατιού που διέρχεται από τους κόμβους 1, 5 και 8 αποθηκεύουμε το χρονικό διάστημα ισχύος που προκύπτει καθώς και τους δείκτες 1,5 στον κόμβο 8. Ο τρόπος αυτός αποθήκευσης, επιτρέπει σε επόμενα βήματα να χρησιμοποιείται η γνώση προηγούμενων βημάτων σχετικά με το ποια τμήματα συνδέονται με ποιους κόμβους. Μετά την πρώτη επανάληψη λοιπόν, για κάθε ενδιάμεσο κόμβο βρίσκουμε μόνο τους κόμβους άφιξης των τμημάτων μονοπατιών που επεξεργάζεται ο αλγόριθμος στην επανάληψη αυτή. Δηλαδή αν βρισκόμαστε στη δεύτερη επανάληψη, για κάθε ενδιάμεσο κόμβο ανακαλούνται οι κόμβοι που συνδέονται άμεσα με τον αντίστοιχο ενδιάμεσο, μόνο μέσω ακμών που ανήκουν στην τρίτη κατηγορία γνωρισμάτων. Για να υπολογίσουμε τα χρονικά διαστήματα αυτού του βήματος, εκτελούμε την πράξη της τομής στα χρονικά διαστήματα που βρίσκονται αποθηκευμένα στην δομή αποθήκευσης του ενδιάμεσου κόμβου, ενώ το αποτέλεσμα αποθηκεύεται πάλι στον τελικό κόμβο του αντίστοιχου τμήματος.

Στο τέλος κάθε επανάληψης ελέγχονται οι δομές αποθήκευσης των κόμβων άφιξης των τμημάτων των μονοπατιών που επεξεργάζεται ο αλγόριθμος στην αντίστοιχη επανάληψη. Αν κάποιο από τα σύνολα αυτά είναι κενό, αυτό σημαίνει οτι τα τμήματα μονοπατιών που καταλήγουν στον αντίστοιχο κόμβο, δεν ‘‘υπάρχουν’’ χρονικά (η τομή των χρονικών διαστημάτων των ακμών που συμμετέχουν στα τμήματα αυτά είναι το κενό διάστημα). Απομακρύνουμε λοιπόν τον κόμβο αυτό από το σύνολο των κόμβων που επεξεργάζεται ο αλγόριθμος, έτσι ώστε να αποφύγουμε περιττούς υπολογισμούς. Κατά συνέπεια αυτό που υπολογίζει ο αλγόριθμος, μετά από αυτή την προσθήκη, είναι τα χρονικά διαστήματα των μονοπατιών που ‘‘υπάρχουν’’ χρονικά. Τα αποτελέσματα του αλγορίθμου είναι αποθηκευμένα στις δομές αποθήκευσης των τελικών κόμβων, μαζί με τους δείκτες των κόμβων των αντίστοιχων μονοπατιών.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα εφαρμογής του αλγορίθμου εύρεσης χρονικών διαστημάτων μονοπατιών, για το σχήμα 6.1.

Παράδειγμα εφαρμογής.

Στο σχήμα 6.1, path_length = 3. Ο αλγόριθμος σ'αυτή την περίπτωση θα κάνει δύο επαναλήψεις, αφού η ανακύκλωση 1. γίνεται: **for** ℓ **from** 1 **to** (3 - 1)

Στην πρώτη επανάληψη ($\ell = 1$), η συνάρτηση category(ℓ) επιστρέφει την κατηγορία ''Εργαζόμενος.δουλεύει_στο''. Εφαρμόζοντας την συνάρτηση links() στην κατηγορία αυτή, λαμβάνουμε όλους τους συνδέσμους-περιπτώσεις της, δηλαδή τους συνδέσμους $\{ \mathbf{1 \rightarrow 6}, \mathbf{2 \rightarrow 6}, \mathbf{3 \rightarrow 7}, \mathbf{4 \rightarrow 7}, \mathbf{5 \rightarrow 8} \}$. Εφαρμόζοντας τέλος τη συνάρτηση *to()* στο παραπάνω σύνολο συνδέσμων, λαμβάνουμε το σύνολο κόμβων {**6,7,8**}, το οποίο και αποτελεί το σύνολο ενδιάμεσων κόμβων του πρώτου βήματος. Το k λοιπόν, στην ανακύκλωση 2., διατρέχει το παραπάνω σύνολο κόμβων. Επειδή βρισκόμαστε στην πρώτη επανάληψη ($\ell = 1$), ο έλεγχος (**if** $\ell = 1$) είναι αληθής και εκτελούνται οι εντολές αυτής της συνθήκης. Την πρώτη φορά που εκτελείται η ανακύκλωση 3. το k έχει τιμή 6 και η συνάρτηση from_value(6,Εργαζόμενος.δουλεύει_στο) επιστρέφει το σύνολο των κόμβων {**1,2**} (το οποίο διατρέχεται από το i), ενώ η συνάρτηση to_value(6,Τμήμα.διευθύνεται_από) επιστρέφει το σύνολο {**9,10**} (που διατρέχεται από το j). Οι ανακυκλώσεις 3., 4. υπολογίζουν λοιπόν, για k = 6, τα χρονικά διαστήματα για τα τμήματα μονοπατιών $\{ (\mathbf{1 \rightarrow 6 \rightarrow 9}), (\mathbf{1 \rightarrow 6 \rightarrow 10}), (\mathbf{2 \rightarrow 6 \rightarrow 9}), (\mathbf{2 \rightarrow 6 \rightarrow 10}) \}$.
Για παράδειγμα, για i = 1, j = 9 έχουμε : $(\alpha_{16} \cap \alpha_{69}) = \{[1998]\} \neq \emptyset$ άρα $\alpha_9 = \emptyset \bigcup \{[1998]\} = \{[1998]\}$ (για λόγους συντομίας, δείχνουμε μόνο τα χρονικά διαστήματα που αποθηκεύονται σε κάθε κόμβο ενώ οι δείκτες των αντίστοιχων μονοπατιών παραλείπονται.)

Ανάλογα γίνεται και ο υπολογισμός για τα άλλα τμήματα. Μετά το τέλος αυτής της επανάληψης (ανακύκλωση 2. για $\ell = 1$), στους κόμβους {**9, 10, 11, 12**} έχουν δημιουργηθεί τα σύνολα {[1998]}, {[1965], [1992,1993]} και {[1985]} που είναι τα χρονικά διαστήματα των μονοπατιών $\{(\mathbf{1 \rightarrow 6 \rightarrow 9}), (\mathbf{2 \rightarrow 6 \rightarrow 10}), (\mathbf{5 \rightarrow 8 \rightarrow 10}), (\mathbf{4 \rightarrow 7 \rightarrow 11}) \}$ αντίστοιχα. Οι ανακυκλώσεις 6. και 7. έλεγχουν αν κάποιο από τα σύνολα αυτά είναι κενό. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, ο κόμβος **12** έχει κενό σύνολο αφού η τομή των διαστημάτων των μεταβλητών α_{58} και $\alpha_{5\ 12}$ είναι το κενό διάστημα και κατά συνέπεια στον κόμβο αυτό

δεν δημιουργείται κανένα σύνολο. Ο κόμβος **12** λοιπόν δεν συμμετέχει στους υπόλοιπους υπολογισμούς του αλγορίθμου.

Την δεύτερη φορά που εκτελείται ο αλγόριθμος, το ℓ λαμβάνει την τιμή 2, η συνάρτηση category(2), επιστρέφει την κατηγορία γνωρισμάτων ''Τμήμα.διευθύνεται_από'', η συνάρτηση links(Τμήμα.διευθύνεται_από) επιστρέφει το σύνολο συνδέσμων $\{\mathbf{6 \rightarrow 9}, \mathbf{6 \rightarrow 10}, \mathbf{7 \rightarrow 11}, \mathbf{9 \rightarrow 10}\}$ ενώ η εφαρμογή της συνάρτησης *to()* σ'αυτούς τους συνδέσμους, επιστρέφει το σύνολο κόμβων {**9, 10, 11**}. Αυτό το σύνολο αποτελεί τους ενδιάμεσους κόμβους αυτού του βήματος.

Σ'αυτή την επανάληψη, $\ell \neq 1$ και κατά συνέπεια εκτελούνται οι εντολές του **else**. Για k = 9, η συνάρτηση to_value(9, category(2+1)) επιστρέφει το σύνολο κόμβων {**13**} (category(3) = ''Διευθυντής.έχει_μισθό'') το οποίο διατρέχεται από την μεταβλητή j.

Στο σημείο αυτό των υπολογισμών $\alpha_9 = \{[1998]\}$ και $\alpha_{9\,13} = \{[1998]\}$. Στην ανακύκλωση 5. λοιπόν υπολογίζεται το σύνολο {[1998]} το οποίο και αποθηκεύεται στον κόμβο **13**.

Η επόμενη τιμή του k είναι το 10 ενώ οι κόμβοι που συνδέονται με τον κόμβο **10** μέσω γνωρισμάτων της κατηγορίας ''Διευθυντής.έχει_μισθό'' είναι οι {**13, 14**}. Η μεταβλητή α_{10} περιέχει το σύνολο διαστημάτων {[1965], [1992,1993]}. Για j = 13 , $\alpha_{10\,13} = \{[1964, 1993]\}$ και κατά συνέπεια $(\alpha_{10} \cap \alpha_{10\,13}) \neq \emptyset$. Άρα:

$$\alpha_{13} = \{[1998]\} \bigcup (\{[1965], [1992, 1993]\} \cap \{[1964, 1993]\}) = \{[1998], [1965], [1992, 1993]\}.$$

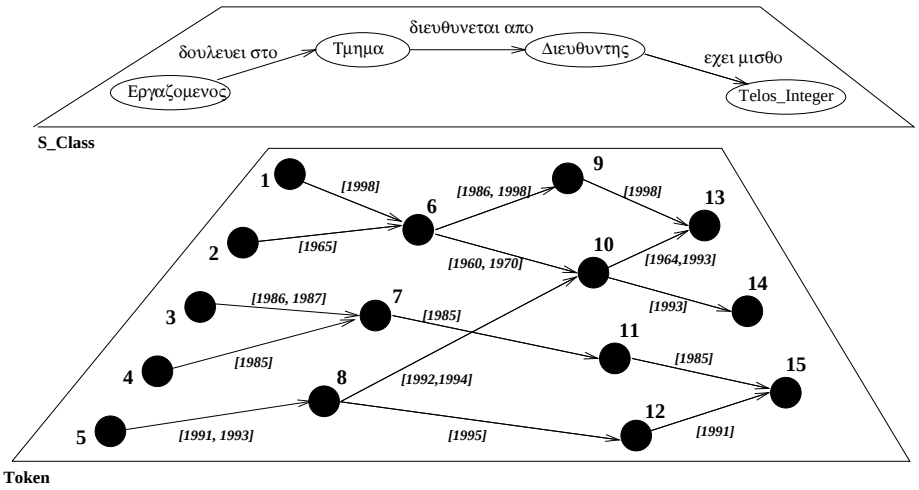
Ανάλογα γίνονται οι υπολογισμοί και για τις υπόλοιπες τιμές των k και j. Τελικά στους κόμβους **13, 14, 15** έχουν δημιουργηθεί τα σύνολα διαστημάτων {[1998], [1965], [1992,1993]}, {[1993]} και {[1985]} που είναι τα χρονικά διαστήματα των μονοπατιών :

$$\{(\mathbf{1 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 13}), (\mathbf{2 \rightarrow 6 \rightarrow 10 \rightarrow 13}), (\mathbf{5 \rightarrow 8 \rightarrow 10 \rightarrow 13}),$$
$$(\mathbf{5 \rightarrow 8 \rightarrow 10 \rightarrow 14}), (\mathbf{4 \rightarrow 7 \rightarrow 11 \rightarrow 15}) \}$$

αντίστοιχα.

6.4.1 Δομές αποθήκευσης

Η δομή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση των αποτελεσμάτων στους ενδιάμεσους κόμβους, είναι ένας δυναμικός πίνακας το πολύ κ θέσεων, όπου κ



Σχήμα 6.1: Παράδειγμα υπολογισμού χρονικών διαστημάτων μονοπατιών

το πλήθος των αρχικών κόμβων. Τέτοιοι πίνακες θα δημιουργούνται πρώτη φορά στους τελικούς κόμβους των τμημάτων μονοπατιών της πρώτης επανάληψης. Ανάλογα με ποιους αρχικούς κόμβους συνδέεται ο αντίστοιχος τελικός κόμβος, θα δημιουργείται μία λίστα στην αντίστοιχη θέση του πίνακα. Το κάθε στοιχείο αυτής της λίστας θα περιέχει τους δείκτες του τμήματος του μονοπατιού στο οποίο αντιστοιχεί καθώς και το χρονικό διάστημα ισχύος του τμήματος αυτού. Στο σχήμα 6.1, στον κόμβο **9** θα δημιουργηθεί ένας πίνακας 1 θέσης. Στην θέση αυτή θα υπάρχει ένα στοιχείο λίστας στο οποίο θα υπάρχει ο δείκτης **6** καθώς και το χρονικό διάστημα $\{[1998]\}$ που αντιστοιχεί στο τμήμα (**1** $\rightarrow$ **6** $\rightarrow$ **9**). Αντίθετα, ενώ ο κόμβος **9** συμμετέχει στο τμήμα (**2** $\rightarrow$ **6** $\rightarrow$ **9**), στη θέση 2 του πίνακα αποθήκευσης δεν δημιουργείται ανάλογο στοιχείο λίστας αφού το χρονικό διάστημα γι'αυτό το τμήμα μονοπατιού είναι κενό.

Στις επόμενες επαναλήψεις, αντιγράφεται ο πίνακας κάθε ενδιάμεσου κόμβου, στον τελικό κόμβο του τμήματος για το οποίο υπολογίζουμε το χρονικό διάστημα, ενώ αν στον τελικό αυτό κόμβο έχει ήδη δημιουργηθεί πίνακας, θα γίνεται συγχώνευση με τα στοιχεία του τρέχοντος ενδιάμεσου κόμβου. Έτσι για παράδειγμα, στο σχήμα 6.1 στον κόμβο **13**, αρχικά θα αντιγραφεί ο πίνακας του κόμβου **9**. Στη συνέχεια θα προστεθούν και τα στοιχεία του πίνακα του κόμβου **10**. Προφανώς τα στοιχεία του πίνακα που αντιγράφονται σε ένα καινούργιο κόμβο, ενημερώνονται κατάλληλα, δηλαδή στους

δείκτες των τμημάτων μονοπατιών προστίθεται και ο δείκτης του τρέχοντος ενδιάμεσου κόμβου, ενώ το χρονικό διάστημα ισχύος κάθε στοιχείου της λίστας αντικαθίσταται από το αποτέλεσμα της τομής του με το χρονικό διάστημα του αντίστοιχου συνδέσμου. Αν κάποια από αυτές τις τομές προκύψει να είναι το κενό διάστημα, τότε το στοιχείο της λίστας που αντιστοιχεί στο τμήμα αυτού του μονοπατιού διαγράφεται. Στο παραπάνω παράδειγμα, όταν ο πίνακας του κόμβου **9** αντιγραφεί στον κόμβο **13**, στο στοιχείο της λίστας που αντιστοιχεί στο τμήμα (**1** → **6** → **9**) προστίθεται ο δείκτης 9 ενώ το χρονικό διάστημα που υπάρχει αποθηκευμένο (δηλαδή το [1998]}) , θα αντικατασταθεί από αυτό που προκύπτει από την τομή του με το διάστημα της ακμής (**9** → **13**).

Τέλος, εκτός από την πρώτη, στο τέλος κάθε επανάληψης διαγράφονται οι πίνακες των ενδιάμεσων κόμβων που αντιστοιχούν στην επανάληψη αυτή, αφού πλέον η πληροφορία που περιέχουν είναι περιττή.

6.5 Ανάλυση πολυπλοκότητας

Όπως αναφέρεται παραπάνω, ο αλγόριθμος *Gauss-Jordan* έχει πολυπλοκότητα της τάξης του $O(n^3)$, όπου n το πλήθος των κόμβων του γράφου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι υπολογίζονται τα χρονικά διαστήματα για όλους τους συνδυασμούς αρχικών, ενδιάμεσων και τελικών κόμβων. Στον αλγόριθμο της προηγούμενης παραγράφου υπολογίζονται μόνο τα χρονικά διαστήματα των μονοπατιών που πραγματικά υπάρχουν.

Για κάθε ενδιάμεσο κόμβο k του γράφου ορίζουμε τη συνάρτηση *incoming_paths(k)*, η οποία υπολογίζει το πλήθος των μονοπατιών που εισέρχονται στον συγκεκριμένο κόμβο. Για το πρώτο σύνολο ενδιάμεσων κόμβων (γι'αυτούς δηλαδή που συνδέονται άμεσα με τους αρχικούς κόμβους), η συνάρτηση *incoming_paths()* επιστρέφει, για κάθε κόμβο, το σύνολο των εισερχόμενων προς αυτόν ακμών. Για τα υπόλοιπα σύνολα ενδιάμεσων κόμβων, η συνάρτηση αυτή ορίζεται για κάθε κόμβο k ως εξής :

$$incoming_paths(k) = \sum_{i=1}^{num_of_incoming_links} incoming_paths(from(i))$$

Στον τύπο αυτό το i διατρέχει το σύνολο των ακμών που έχουν ως κόμβο άφιξης τον κόμβο k. Για να γίνει περισσότερο κατανοητός ο τρόπος που υπολογίζεται το πλήθος των εισερχόμενων μονοπατιών προς τους ενδιάμεσους κόμβους χρησιμοποιούμε

το παράδειγμα του σχήματος 6.1. Στο σχήμα αυτό, στο πρώτο σύνολο ενδιάμεσων κόμβων, οι κόμβοι **6** και **7** έχουν δύο εισερχόμενα μονοπάτια ενώ ο κόμβος **8** έχει ένα εισερχόμενο μονοπάτι. Στο επόμενο σύνολο, έχουμε τους ενδιάμεσους κόμβους **9, 10, 11** και **12**. Η συνάρτηση *incoming_paths()*, επιστρέφει 2 για τους κόμβους **9,11** και 1 για τον κόμβο **12**. Για τον κόμβο **10** η συνάρτηση αυτή επιστρέφει 3. Τα τρία μονοπάτια τα οποία εισέρχονται στον κόμβο **10** είναι τα **(1 → 6 → 10), (2 → 6 → 10)** και **(5 → 8 → 10)**.

Ο κόμβος **10** δεν συμμετέχει μόνο σε τρία μονοπάτια. Το πλήθος των μονοπατιών στα οποία συμμετέχει ένας κόμβος είναι το γινόμενο των εισερχόμενων μονοπατιών επί το πλήθος των εξερχόμενων ακμών. Άρα για κάθε ενδιάμεσο κόμβο υπολογίζονται (στην περίπτωση που υπάρχουν χρονικά όλα τα μονοπάτια του γράφου) *incoming_paths(k) * to_value(k, category(ℓ + 1))* χρονικά διαστήματα. Συνεπώς, η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου που μελετάμε, περιγράφεται από τον τύπο:

$$\sum_{\ell=1}^{path_length-1} \sum_{i=1}^{k_\ell} (incoming_paths(i) * to_values(i, category(\ell + 1)))$$

Στον τύπο αυτό το i διατρέχει το σύνολο των ενδιάμεσων κόμβων του αντίστοιχου ℓ.

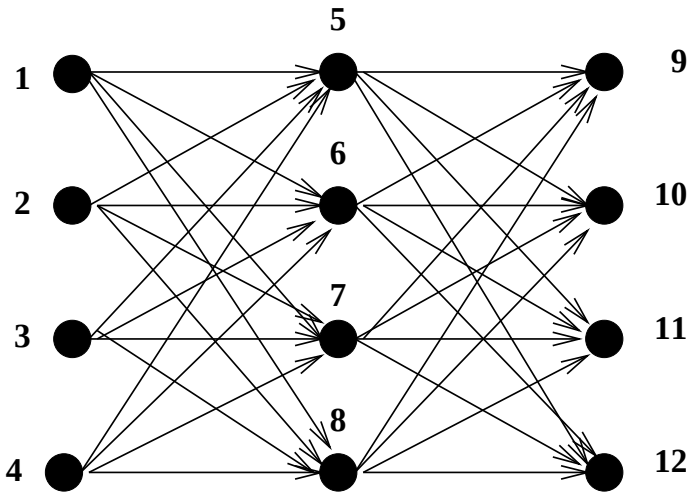
Όπως είναι προφανές, η πολυπλοκότητα του παραπάνω τύπου εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους. Καταρχήν εξαρτάται από το πόσο ”πυκνά” είναι διασυνδεμένοι οι κόμβοι στο γράφο. Προφανώς όλοι οι κόμβοι συμμετέχουν σε τουλάχιστον ένα μονοπάτι (συλλέγουμε μόνο τους κόμβους που συμμετέχουν σε ακμές των μονοπατιών). Ο αριθμός των υπολογισμών αυξάνει καθώς αυξάνει ο αριθμός των μονοπατιών στα οποία συμμετέχει κάποιος κόμβος ενώ γίνεται μέγιστος όταν όλοι οι κόμβοι ενός επιπέδου, συνδέονται μ’όλους τους κόμβους του προηγούμενου επιπέδου καθώς και μ’όλους τους κόμβους του επόμενου επιπέδου. Στην περίπτωση αυτή, αν με k_i συμβολίζουμε τους κόμβους του i-οστού επιπέδου (που βρίσκονται δηλαδή σε βάθος i-1), η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου είναι:

$$(k_1 * k_2 * k_3) + (k_1 * k_2 * k_3 * k_4) + ... + (k_1 * k_2 * k_3 * .. * k_{\ell+1})$$

όπου ℓ το βάθος του γράφου. Σε συνδυασμό με την πυκνότητα διασύνδεσης, η πολυπλοκότητα εξαρτάται και από τον τρόπο που κατανέμονται οι κόμβοι στα διάφορα επίπεδα (δηλαδή από τις τιμές που έχουν τα k_i). Έστω οτι έχουμε συνολικά δώδεκα κόμβους. Αν οι κόμβοι ισοκατανέμονται σε τρία επίπεδα και έχουμε πλήρη διασύνδεση

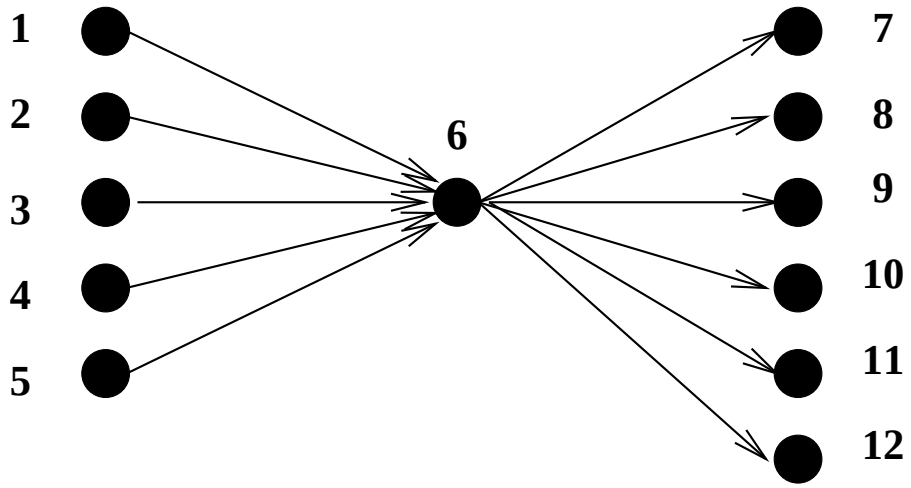
ανάμεσα στους κόμβους των διαδοχικών επιπέδων (σχήμα 6.2), τότε ο αλγόριθμος υπολογίζει 64 χρονικά διαστήματα. Αν οι κόμβοι έχουν την κατανομή του σχήματος 6.3, τότε υπολογίζονται 30 χρονικά διαστήματα. Είναι προφανές ότι η πολυπλοκότητα γίνεται μέγιστη (στην περίπτωση πλήρους διασύνδεσης ανάμεσα στους κόμβους διαδοχικών επιπέδων) όταν οι κόμβοι ισοκατανέμονται, αφού στην περίπτωση αυτή τα παραπάνω επιμέρους γινόμενα γίνονται ταυτόχρονα μέγιστα.

Ο αλγόριθμος που μελετάμε έχει πολύ άσχημη απόδοση στην περίπτωση που έχουμε πολλούς κόμβους (πολύ μεγάλο n) που ισοκατανέμονται σε πολλά επίπεδα και ταυτόχρονα υπάρχει πυκνή διασύνδεση ανάμεσα στους κόμβους των διαδοχικών επιπέδων. Στην περίπτωση αυτή (αν το βάθος του γράφου είναι ℓ) η πολυπλοκότητα είναι εκθετική, O(k^{ℓ}) όπου k ο αριθμός των κόμβων που κατανέμονται ανά επίπεδο (χειρότερη περίπτωση). Στην περίπτωση όμως αραιού γράφου (δεν υπάρχει πυκνή διασύνδεση μεταξύ των κόμβων) η πολυπλοκότητα, όπως θα δείξουμε παρακάτω, είναι γραμμική ως προς τον αριθμό των αρχικών κόμβων.



Σχήμα 6.2: Ισοκατανομή κόμβων σε όλα τα επίπεδα

Στο σχήμα αυτό υπάρχουν συνολικά 64 μονοπάτια. Η κατανομή αυτή, δίνει το μέγιστο αριθμό μονοπατιών που μπορεί να υπάρχουν σε ένα γράφο τριών επιπέδων με 12 κόμβους.



Σχήμα 6.3: Άνιση κατανομή κόμβων

Παρόλο που έχουμε τον ίδιο αριθμό κόμβων με το σχήμα 6.2, τα μονοπάτια του γράφου είναι κατά πολύ λιγότερα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχει άνιση κατανομή κόμβων στα διάφορα επίπεδα

Εκτίμηση πολυπλοκότητας σε μία περίπτωση εφαρμογής

Για να μπορέσουμε να εκτιμήσουμε την πολυπλοκότητα του αλγορίθμου στην πράξη, πρέπει να καθορίσουμε τον τρόπο που συμπεριφέρονται οι ενδεικτικές παράμετροι που περιγράφονται παραπάνω. Πρέπει λοιπόν να γίνει κάποια εκτίμηση για τον τρόπο με τον οποίο κατανέμονται οι κόμβοι στα διάφορα επίπεδα καθώς επίσης και για την πυκνότητα διασύνδεσης του επεξεργαζόμενου από τον αλγόριθμο γράφου, ώστε να μπορέσουμε να εκτιμήσουμε το μέγεθος της πολυπλοκότητας στην αναμενόμενη περίπτωση.

Τα μονοπάτια που επεξεργαζόμαστε και τα οποία δομούν το γράφο, όμως ανήκουν στις περισσότερες περιπτώσεις στο χαμηλότερο επίπεδο της ιεραρχίας (token επίπεδο). Αυτό σημαίνει οτι δεν μπορούμε να κάνουμε μια γενική εκτίμηση σχετικά με τη δομή του γράφου καθώς στο token επίπεδο η δομή αυτή εξαρτάται από τον όγκο της πληροφορίας που έχει εισαχθεί στη βάση. Επιπλέον, είναι λογικό να μην υπάρχει διαθέσιμη η ίδια ποσότητα πληροφορίας για όλα τα αντικείμενα του μοντέλου. Για άλλα αντικείμενα η πληροφορία είναι πλήρης ενώ για άλλα, η πληροφορία αυτή είναι ατελής. Κατά συνέπεια, δεν μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η κατανομή της πληροφορίας στο token επίπεδο ακολουθεί κάποια συγκεκριμένη συμπεριφορά.

Αποφασίσαμε να μελετήσουμε την μορφή που έχει ο γράφος σε μία βάση που ήδη

υπάρχει, ώστε να εξάγουμε εμπειρικά συμπεράσματα για τον τρόπο που κατανέμονται και διασυνδέονται οι κόμβοι στο ατομικό επίπεδο μιας πραγματικής βάσης και έτσι να έχουμε μια εμπειρική εκτίμηση του τρόπου που συμπεριφέρεται ο αλγόριθμος αυτός σε μία χαρακτηριστική περίπτωση. Η βάση που επιλέχθηκε είναι η βάση που περιέχει ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα δεδομένων από το Μουσείο Μπενάκη και χρησιμοποιεί το σύστημα πολιτισμικής τεκμηρίωσης ΚΛΕΙΩ. Επιγραμματικά αναφέρουμε οτι ένα σύστημα πολιτισμικής τεκμηρίωσης αποσκοπεί στην οργάνωση ενός εξελισσόμενου συνόλου γνώσεων χρήσιμου στην επιστημονική μελέτη και έρευνα. Στο ΚΛΕΙΩ η γνώση οργανώνεται με βάση ένα ειδικά σχεδιασμένο σημασιολογικό μοντέλο, στο οποίο έχουν κωδικοποιηθεί βασικές έννοιες, όπως η ύλη, η ποσότητα, ο χώρος, έννοιες ανθρωπολογικές καθώς και έννοιες πνευματικής δημιουργίας. Λειτουργικός πυρήνας του ΚΛΕΙΩ είναι το SIS που πειγράφεται στο κεφάλαιο 3. Για την παράσταση γνώσεων στο ΚΛΕΙΩ χρησιμοποιείται η Telos ενώ τα αντικείμενα της βάσης συνδέονται με τις οντότητες του μοντέλου του ΚΛΕΙΩ μέσω της Telos, με την εφαρμογή των μηχανισμών απόδοσης γνωρίσματος, ταξινόμησης και γενίκευσης που αυτή προσφέρει.

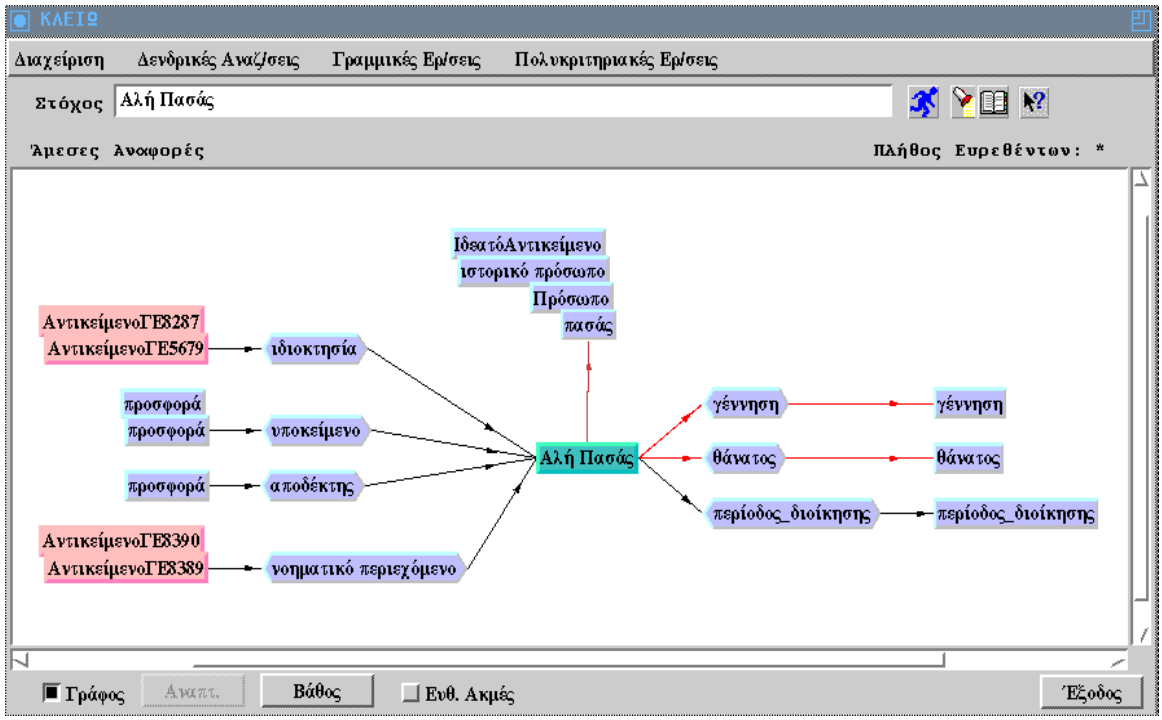
Στη βάση αυτή λοιπόν, επιθυμούμε να μελετήσουμε την μορφή των γράφων, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του μοντέλου. Για το σκοπό αυτό επιλέξαμε μία περιοχή του μοντέλου στην οποία υπάρχει πλούσια πληροφορία αποθηκευμένη στο ατομικό επίπεδο. Η περιοχή αυτή ειναι ο γράφος που δημιουργείται γύρω από την οντότητα ‘‘Αλή Πασάς’’, η οποία αποτελεί αντιπροσωπευτικό δείγμα. Για την οντότητα αυτή υπάρχει αποθηκευμένο πλήρες σύνολο συσχετιζόμενης πληροφορίας. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.4, ο ‘‘Αλή Πασάς’’ αποτελεί κόμβο άφιξης είτε σε συσχετίσεις με *Αντικείμενα* ή σε συσχετίσεις με *Προσφορές*. Με τις οντότητες της κλάσης *Αντικείμενο*, ο ‘‘Αλή Πασάς’’ συσχετίζεται μέσω του γνωρίσματος ‘‘ιδιοκτησία’’ ή μέσω του γνωρίσματος ‘‘νοηματικό περιεχόμενο’’. Εξάλλου με τις οντότητες της κλάσης *Προσφορά*, συσχετίζεται μέσω των γνωρισμάτων ‘‘αποδέκτης’’ ή ‘‘υποκείμενο’’. Όλα αυτά τα είδη συσχετίσεων είναι πολλά προς ένα. Για παράδειγμα, ένα *Πρόσωπο* (ο ‘‘Αλή Πασάς’’ στην συγκεκριμένη περίπτωση), μπορεί να έχει στην ιδιοκτησία του πολλά *Αντικείμενα*. Παρόλ’ αυτά, ένα *Αντικείμενο* δεν μπορεί να ανήκει σε περισσότερα του ενός *Πρόσωπα*. Το ίδιο ισχύει και για τις κατηγορίες γνωρισμάτων *‘‘Προσφορά.υποκείμενο’’* και *‘‘Προσφορά.αποδέκτης’’*. Συνεπώς, όταν στην κλάση μονοπατιών που διασχίζουμε ανήκει κάποια από τις παραπάνω κατηγορίες γνωρισμάτων, το σύνολο των μονοπατιών

που εισέρχονται στις οντότητες-περιπτώσεις της κλάσης ‘‘Πρόσωπο’’ είναι ίσο με τον αριθμό των αρχικών κόμβων.

Η οντότητα ‘‘Αλή Πασάς’’, αποτελεί οντότητα αφετηρίας σε γνωρίσματα που ανήκουν στις κατηγορίες *‘‘Πρόσωπο.γέννηση’’*, *‘‘Πρόσωπο.θάνατος’’* και *‘‘πασάς.περίοδος_διοίκησης’’*. Οι κατηγορίες αυτές αποτελούν συσχετίσεις 1-1. Ο ‘‘Αλή Πασάς’’ συσχετίζεται μόνο με την οντότητα που παριστάνει το γεγονός της περιόδου διοίκησης του (‘‘Αλή Πασάς‘περίοδος_διοίκησης’’) ενώ η περίοδος διοίκησης του ‘‘Αλή Πασα’’ συσχετίζεται μόνο με τον ίδιο τον ‘‘Αλή Πασά’’. Έτσι λοιπόν αν στην κλάση μονοπατιών που διασχίζουμε ανήκει και κάποια από τις παραπάνω κατηγορίες γνωρισμάτων, ο αριθμός των μονοπατιών του γράφου εξακολουθεί να είναι ίσος με τον αριθμό των αρχικών κόμβων.

Η μόνη περίπτωση στην οποία αυξάνει το πλήθος των μονοπατιών στα οποία συμμετέχει η οντότητα ‘‘Αλή Πασάς’’ (ή οποιαδήποτε οντότητα-περίπτωση της κλάσης *Πρόσωπο*) είναι η περίπτωση που στην κλάση μονοπατιών ανήκουν οι κατηγορίες γνωρισμάτων *‘‘Περίοδος.περιοχή’’* (ο ‘‘Αλή Πασάς’’ συσχετίζεται με περίπτωση της κλάσης *‘‘Περίοδος’’* μέσω του γνωρίσματος *‘‘περίοδος_διοίκησης’’*) και *‘‘Τόπος.περιέχεται_σε’’*. Στην περίπτωση αυτή, τα είδη των συσχετίσεων είναι πολλά προς πολλά. Η αύξηση των μονοπατιών όμως, δεν είναι τόση ώστε να αυξάνει και η τάξη μεγέθους του αριθμού των μονοπατιών, αφού στην περίπτωση της κατηγορίας *‘‘Περίοδος περιοχή’’* ο μέγιστος αριθμός συνδέσμων που παρατηρείται από μία περιοχή είναι προς πέντε τόπους, ενώ στην περίπτωση της κατηγορίας *‘‘Τόπος.περιέχεται_σε’’* ο μέγιστος αριθμός συνδέσμων που μπορεί να παρατηρηθεί είναι τρία (Τουρκία περιέχεται_σε Ασία, Ευρώπη, Ανατολή). Κατά συνέπεια ο μέγιστος αριθμός μονοπατιών που μπορούν να παρατηρηθούν σε μία τέτοια περίπτωση είναι $15 * k$, όπου k ο αριθμός των αρχικών κόμβων.

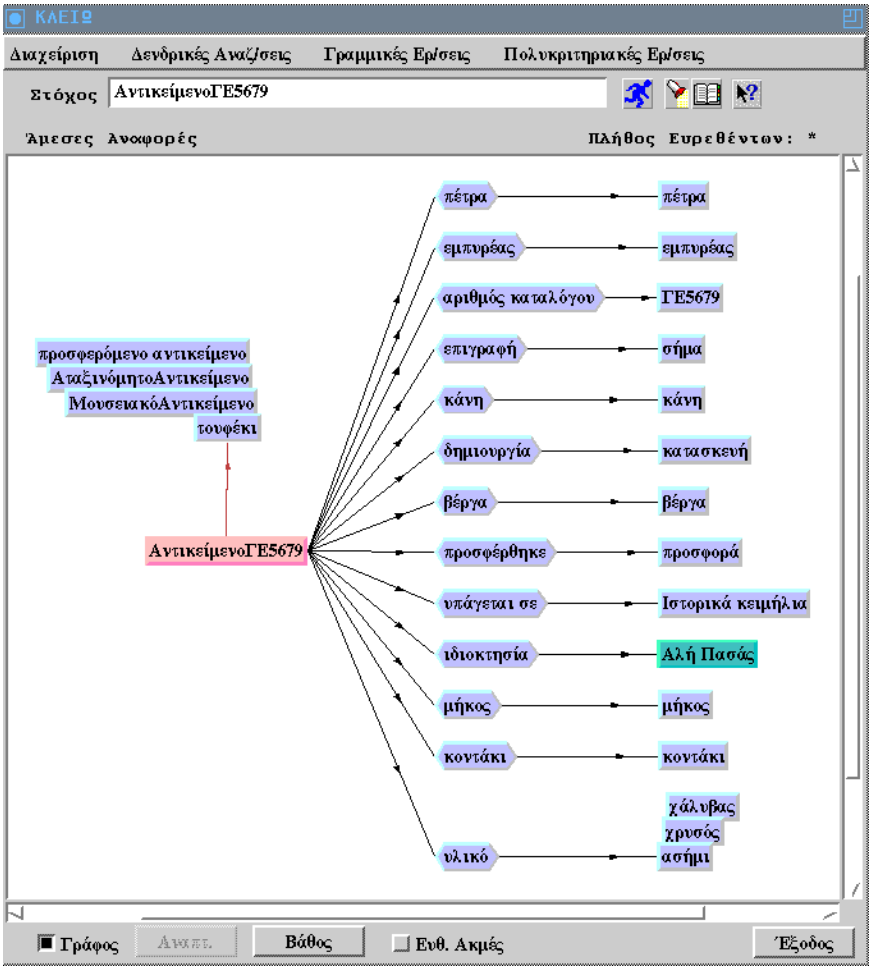
Ας εξετάσουμε τώρα την περιοχή του γράφου, γύρω από τις οντότητες της κλάσης *‘‘Αντικείμενο’’* και την δομή των μονοπατιών στα οποία μπορούν να συμμετάσχουν οι οντότητες αυτές. Στο σχήμα 6.5, φαίνεται ένα αντικείμενο (ΑντικείμενοΓΕ5679) για το οποίο υπάρχει πλήρης συσχετιζόμενη πληροφορία αποθηκευμένη στη βάση. Μελετώντας τις ιεραρχίες στις οποίες συμμετέχει το αντικείμενο αυτό καταλήξαμε στο συμπέρασμα οτι οντότητες-περιπτώσεις της ιεραρχίας αυτής, αποτελούν μόνο αντικείμενα αφετηρίας μονοπατιών, δηλαδή δεν υπάρχουν σύνδεσμοι που να ‘‘δείχνουν’’ σε *Αντικείμενο*. Αρκεί



Σχήμα 6.4: Ο γράφος γύρω από την οντότητα *Αλή Πασάς*

λοιπόν να μελετήσουμε τις ιδιότητες των κλάσεων μονοπατιών που ξεκινούν από κάποια κλάση της ιεραρχίας *Αντικειμένων* που φαίνεται στο σχήμα 6.5. Τα μονοπάτια αυτά έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

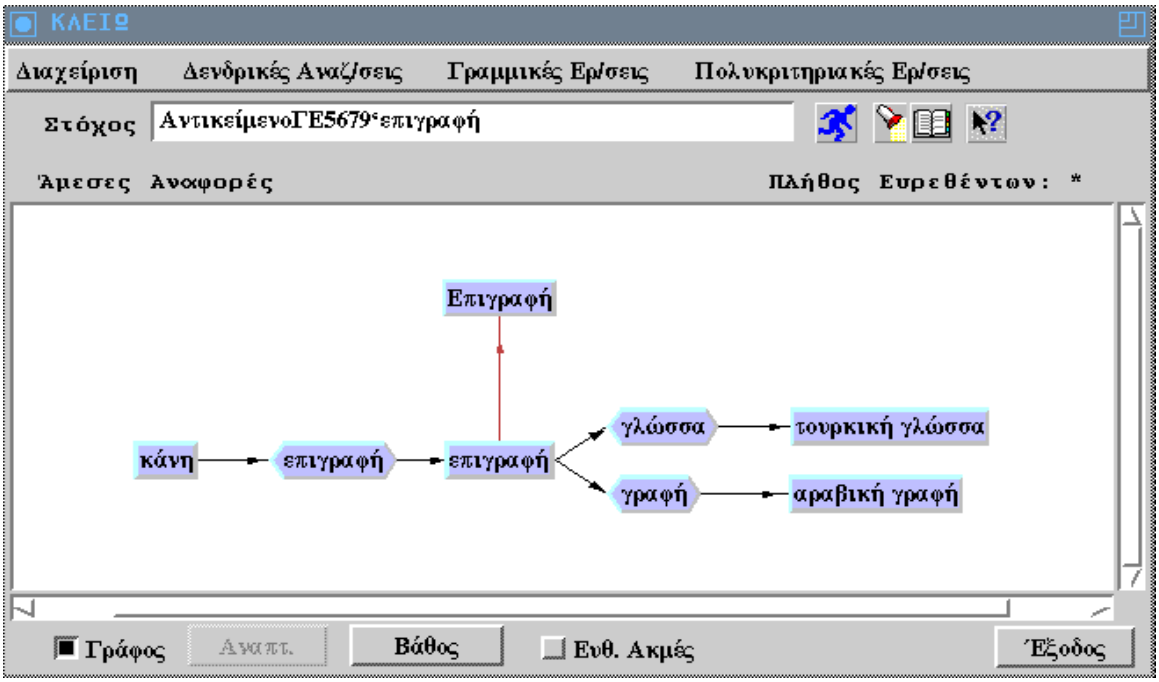
- Μικρό μήκος. Το μέγιστο μήκος που παρατηρείται είναι 3.
- Στα πρώτα βήματα διάσχισης παρατηρούνται 1-1 συσχετίσεις. Κάθε οντότητα-περίπτωση της ιεραρχίας *Αντικειμένων* συσχετίζεται κυρίως με οντότητες που αναφέρονται αποκλειστικά σ'αυτό. Για παράδειγμα στο σχήμα 6.5, το *''ΑντικείμενοΓΕ5679''* συσχετίζεται μέσω του γνωρίσματος *''κάνη''* με την οντότητα *''ΑντικείμενοΓΕ5679'κάνη''*. Προφανώς η συσχέτιση αυτή είναι 1-1 και ο αλγόριθμος που μελετάμε έχει, σ'αυτό το βήμα, πολυπλοκότητα ίση με το πλήθος των αρχικών κόμβων (για οποιαδήποτε κλάση μονοπατιών περιέχει στον ορισμό της αυτή την κατηγορία γνωρισμάτων). Το ίδιο ισχύει και για τα επόμενα βήματα διάσχισης. Στο σχήμα 6.6, φαίνεται το δεύτερο βήμα διάσχισης ενός μονοπατιού που ξεκινάει από το *''ΑντικείμενοΓΕ5679''* και συνεχίζει μέσω των γνωρισμάτων



Σχήμα 6.5: Ο γράφος γύρω από την οντότητα *ΑντικείμενοΓΕ5679*

''ΑντικείμενοΓΕ5679.κάνη'' και *''ΑντικείμενοΓΕ5679'κάνη.επιγραφή''*. Το *''ΑντικείμενοΓΕ5679'κάνη''* συσχετίζεται μέσω του γνωρίσματος *''επιγραφή''* με την οντότητα *''ΑντικείμενοΓΕ5679'επιγραφή''*. Άρα και στο σημείο αυτό η πολυπλοκότητα είναι γραμμική ως προς το πλήθος των αρχικών κόμβων.

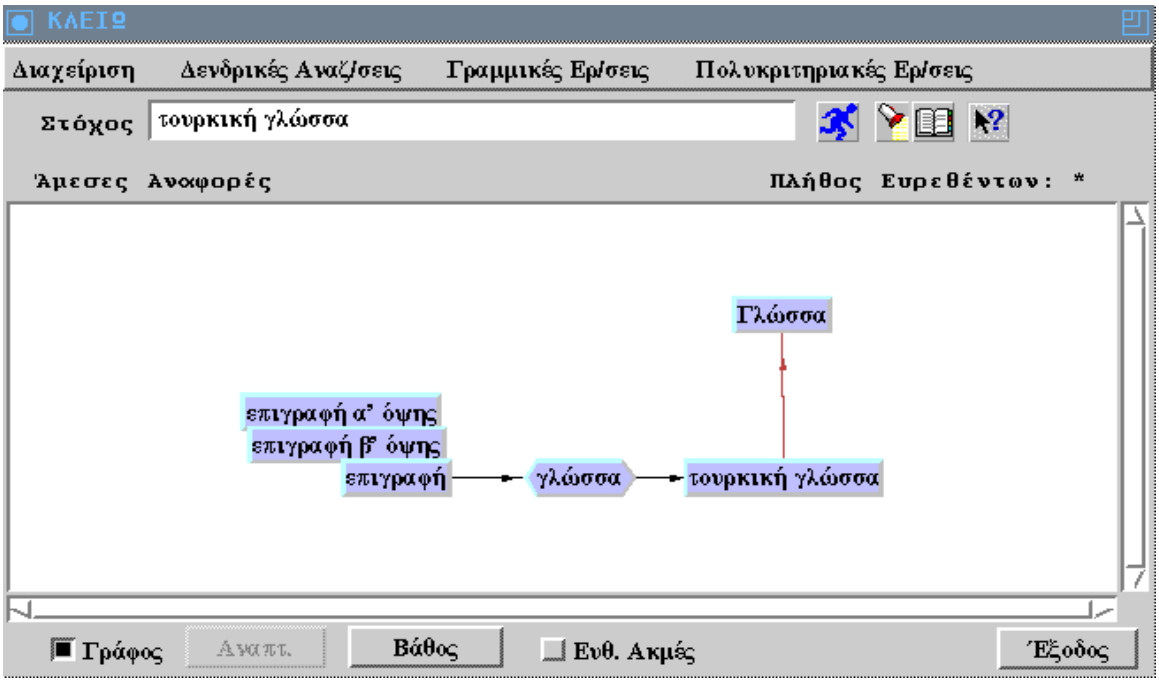
- Η μόνη περίπτωση που παρατηρούνται συσχετίσεις διαφορετικές από 1-1, είναι στο τελευταίο βήμα διάσχισης ορισμένων μονοπατιών. Στην περίπτωση αυτή παρατηρούνται συσχετίσεις πολλά-1 (many-1) (εκτός από την κατηγορία γνωρισμάτων *''Τόπος.περιέχεται_σε''* που μελετήσαμε παραπάνω) που όμως δεν επηρεάζουν την πολυπλοκότητα του αλγορίθμου αφού οι κόμβοι στους οποίους



Σχήμα 6.6: Παράδειγμα

καταλήγουν πολλοί σύνδεσμοι είναι τελικοί και κατά συνέπεια το πλήθος των μονοπατιών που διασχίζει ο αλγόριθμος δεν αυξάνει (σχήμα 6.7).

Παρατηρούμε λοιπόν οτι για τη βάση του Μουσείου Μπενάκη, οι γράφοι που δημιουργούνται σε ατομικό επίπεδο δεν έχουν πυκνή διασύνδεση. Οι περισσότερες ‘‘κλάσεις’’ μονοπατιών που μπορούν να οριστούν, περιέχουν μονοπάτια που σε κάθε βήμα διάσχισης οι συσχετίσεις μεταξύ των κόμβων είναι κυρίως 1-1. Κατά συνέπεια, η εφαρμογή του αλγορίθμου εύρεσης χρονικών διαστημάτων γι’αυτά τα μονοπάτια έχει πολυπλοκότητα γραμμική ως προς το πλήθος των αρχικών κόμβων.



Σχήμα 6.7: Παράδειγμα

Κεφάλαιο 7

Πρόταση Υλοποίησης

7.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό προτείνονται τρόποι επέκτασης και τροποποίησης του Συστήματος Σημασιολογικού Ευρετηριασμού, ώστε να είναι δυνατή η εισαγωγή και υποστήριξη χρονικής διάστασης στα μοντέλα που αυτό διαχειρίζεται. Η πρόταση αυτή αναφέρεται σε δύο τμήματα του Συστήματος Σημασιολογικού Ευρετηριασμού:

1. Στο *σύστημα της SIS-Telos.*

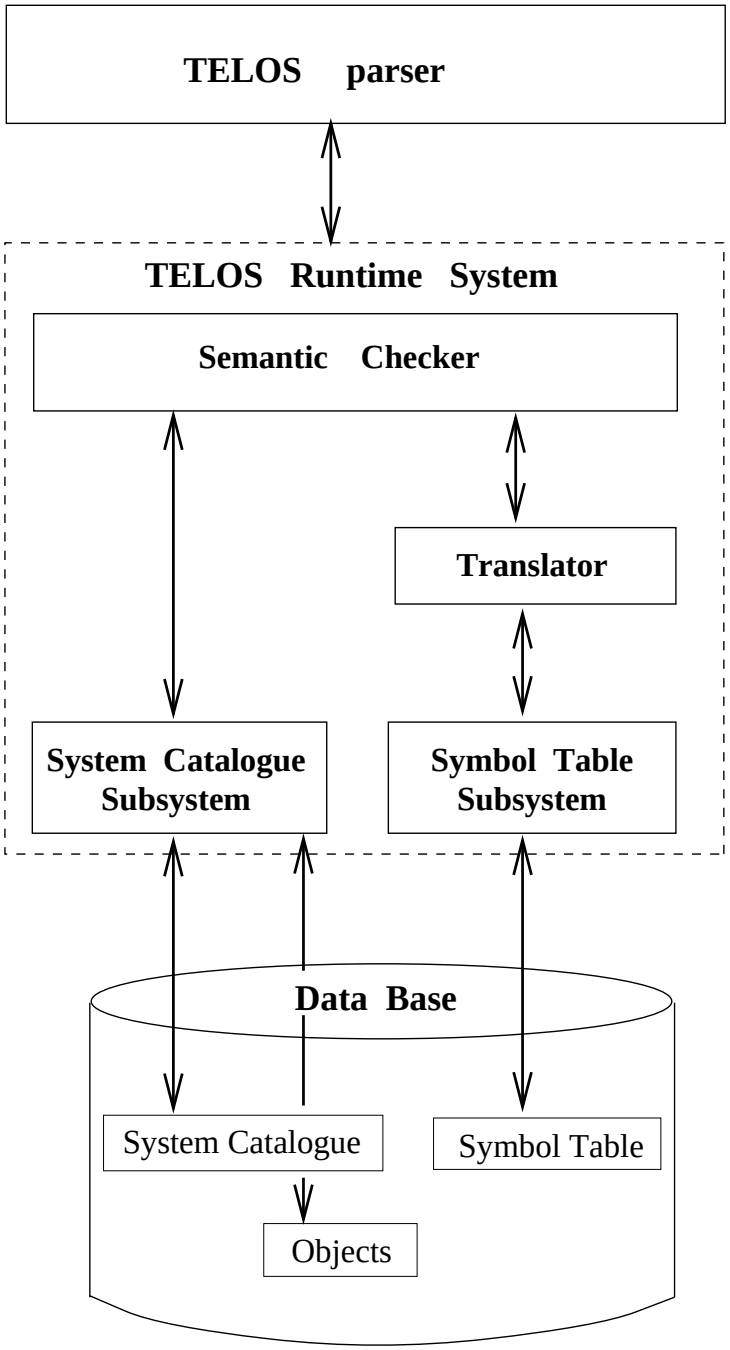
2. Στη *διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών (Application Programming Interface - API).*

Στην παράγραφο 7.2 παρουσιάζεται σύντομα η αρχιτεκτονική του συστήματος της SIS-Telos καθώς και οι προτάσεις που σχετίζονται με το τμήμα αυτό ενώ στην παράγραφο 7.3 γίνεται μια σύντομη αναφορά στη διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών (από εδώ και στο εξής API) και παρουσιάζονται οι αντίστοιχες προτάσεις.

7.2 Προτάσεις υλοποίησης για το σύστημα της SIS-Telos

Το *σύστημα της SIS-Telos* είναι το σύστημα εκείνο που παίρνει ως είσοδο προγράμματα γραμμένα στην γλώσσα SIS-Telos τα επεξεργάζεται και δημιουργεί ή ενημερώνει μία

βάση δεδομένων για την αποθήκευση των πληροφοριών που μεταφέρουν τα προγράμματα αυτά. Αποτελείται από τα εξής βασικά μέρη:



Σχήμα 7.1: Η αρχιτεκτονική του συστήματος της SIS-Telos

Οι εφαρμογές στο περιβάλλον της Telos προσπελάζουν την αποθηκευμένη πληροφορία μέσω υποσυστημάτων , που αποτελούν το *Telos runtime system*. Η επικοινωνία των εφαρμογών και του *Συστήματος Σημασιολογικού Ελέγχου (Semantic Checker)* γίνεται μέσω *λογικών ονομάτων* καθώς επίσης και η επικοινωνία μεταξύ του *Semantic Checker* και του *Translator*. Αντίθετα, η επικοινωνία *Translator* και *Symbol Table* γίνεται μέσω *ατομικών ονομάτων* ενώ η επικοινωνία μεταξύ *Semantic Checker* και *System Catalogue* μέσω αναγνωριστικών του συστήματος (SYSIDs).

- *Συντακτικός αναλυτής της Telos (Telos parser)*
- *Telos runtime system*
- *Βάση δεδομένων*

Ο συντακτικός αναλυτής της Telos, είναι υπεύθυνος για την ανάλυση των προγραμμάτων που είναι γραμμένα στην γλώσσα SIS-Telos. Ο αναλυτής αυτός καλεί τις κατάλληλες συναρτήσεις ώστε να μεταφέρει τον έλεγχο της πληροφορίας που περιέχουν τα προγράμματα αυτά, στο *Telos runtime system.* Το σύστημα αυτό, με τη σειρά του, αναλαμβάνει τον έλεγχο της σημασιολογικής ορθότητας της πληροφορίας που δέχεται από τον συντακτικό αναλυτή και κάνει πράξεις εισαγωγής, διαγραφής και ενημέρωσης στην *βάση δεδομένων* εξασφαλίζοντας οτι οι πράξεις αυτές διατηρούν την ακεραιότητα της βάσης και την αφήνουν σε συνεπή κατάσταση. Στην βάση δεδομένων αποθηκεύεται η πληροφορία κάθε συγκεκριμένης εφαρμογής (οντότητες, γνωρίσματα, σχέσεις μεταξύ τους) σε ειδική μορφή.

Το *runtime σύστημα της Telos* αποτελείται από τα εξής υποσυστήματα:

- *Σύστημα Σημασιολογικού Ελέγχου (Semantic Checker)*
- *Σύστημα Μετάφρασης Λογικών Ονομάτων (Translator)*
- *Κατάλογος του Συστήματος (System Catalog)*
- *Κατάλογος Λογικών Ονομάτων (Symbol Table)*

Η συνολική αρχιτεκτονική του συστήματος και η επικοινωνία των υποσυστημάτων του φαίνεται στο σχήμα 7.1.

Πλήρης περιγραφή των υποσυστημάτων *Semantic Checker* και *Translator* υπάρχει στο [15] ενώ των *System Catalog* και *Symbol Table* στο [11].

Για να υλοποιηθεί η χρονική επέκταση της γλώσσας SIS-Telos, απαιτούνται:

- Προσθήκες στο συντακτικό της Telos ώστε η χρήση της χρονικής διάστασης να είναι αποδοτικότερη και να μην απαιτείται η δήλωση όλων αυτών των χρονικών γνωρισμάτων από τον χρήστη.
- Επέκταση στον τρόπο που αποθηκεύεται στον *κατάλογο συστήματος* η πληροφορία για ύπαρξη σχέσεων ταξινόμησης και γενίκευσης μεταξύ αντικειμένων, ώστε να δίνεται η δυνατότητα για χρονική επέκταση και αυτών των σχέσεων.

- Προσθήκες στο *Σύστημα Σημασιολογικού Ελέγχου (Semantic Checker)* ώστε να ικανοποιούνται οι χρονικοί περιορισμοί και να διατηρείται η ακεραιότητα της βάσης καθ' όλη τη διάρκεια της ιστορίας της.

Ακολουθεί μια ανάλυση των παραπάνω απαιτήσεων.

7.2.1 Συντακτικός αναλυτής της SIS-Telos

Για την ταξινόμηση των *μεταβλητών* αντικειμένων μπορούν να υλοποιηθούν κλάσεις συστήματος ανάλογες μ' αυτές που περιγράφονται στην ενότητα 3.2, οι οποίες θα δεσμεύουν την χρονική φύση των αντικειμένων τους. Έτσι λοιπόν ανάλογα με τις κλάσεις *Individual* και *Attribute* μπορούν να δημιουργηθούν δύο καινούριες κλάσεις συστήματος (εξειδικεύσεις των ήδη υπαρχουσών), οι *TemporalIndividual* και *TemporalAttribute* οι οποίες θα εκχωρούν αυτόματα χρονική διάσταση στα αντίστοιχα ανικείμενα. Ειδικότερα η κλάση *TemporalAttribute* εκτός από αυτόματη εκχώρηση χρονικής διάστασης θα δημιουργεί και μία χρονική κλάση γνωρισμάτων. Κάτι τέτοιο είναι απαραίτητο αφού η λέξη *attribute* (*temporal_attribute* για τα χρονικά γνωρίσματα) δεν χρησιμοποιείται για την δήλωση γνωρισμάτων-περιπτώσεων μιας κλάσης και κατά συνέπεια η έμμεση δημιουργία χρονικών συνδέσμων για τα γνωρίσματα αυτά δεν είναι εφικτή. Ο χρονικός σύνδεσμος λοιπόν, των γνωρισμάτων-περιπτώσεων θα κληρονομείται από την κλάση γνωρισμάτων στην οποία ανήκουν.

Μια τέτοια επέκταση κάνει την δήλωση χρονικών αντικειμένων ευκολότερη και δεν απαιτεί την άμεση δήλωση από τον χρήστη χρονικού γνωρίσματος για κάθε χρονικό αντικείμενο του μοντέλου του. Ο τρόπος χρήσης των παραπάνω κλάσεων γίνεται περισσότερο κατανοητός με το παράδειγμα που ακολουθεί:

RETELL Individual *Εργαζόμενος* **in S_Class** with
temporal_attribute
όνομα : String;
μισθός : Integer;
δουλεύει_στο : *Τμήμα* [1980 - 1999]
end
RETELL TemporalIndividual *Διευθυντής* [1990 - 1997] **in S_Class**, **isA** *Εργαζόμενος* with

temporal_attribute

αριθμός_γραφείου : *String*

end

RETELL TemporalIndividual *Μαρία* [1995 - 1998] **in Token**, *Διευθυντής*

with *όνομα :* ‘‘Μαρία Γιώρτσου’’

with *μισθός* : 450000 [1996 - 1997]

with *δουλεύει_στο* : Μικροβιολογικό [1996 - 1997]

end

Παρατηρούμε λοιπόν ότι η χρήση της λέξης κλειδή temporal_attribute, για την δήλωση της κλάσης γνωρισμάτων ‘‘Εργαζόμενος.δουλεύει_στο’’ έχει ως αποτέλεσμα τόσο την αυτόματη εκχώρηση χρονικής τιμής στην κλάση αυτή όσο και την δημιουργία χρονικής κλάσης (με αφετηρία τον σύνδεσμο *δουλεύει_στο*) που στη συνέχεια δίνει την δυνατότητα αυτόματης εκχώρησης χρονικής διάστασης στο γνώρισμα ‘‘Μαρία.δουλεύει_στο’’.

7.2.2 Κατάλογος συστήματος

Κάθε αντικείμενο στην SIS-Telos, έχει ένα αναγνωριστικό όνομα (SYSID), το οποίο παράγεται από το σύστημα και είναι μοναδικό για το αντικείμενο αυτό. Όπως περιγράφεται και στο κεφάλαιο 3, αναγνωριστικό όνομα αποδίδεται τόσο σε οντότητες όσο και σε γνωρίσματα. Η ομοιόμορφη αυτή μεταχείριση οντοτήτων και γνωρισμάτων κάνει εφικτή την απόδοση γνωρίσματος τόσο σε οντότητες όσο και σε γνωρίσματα.

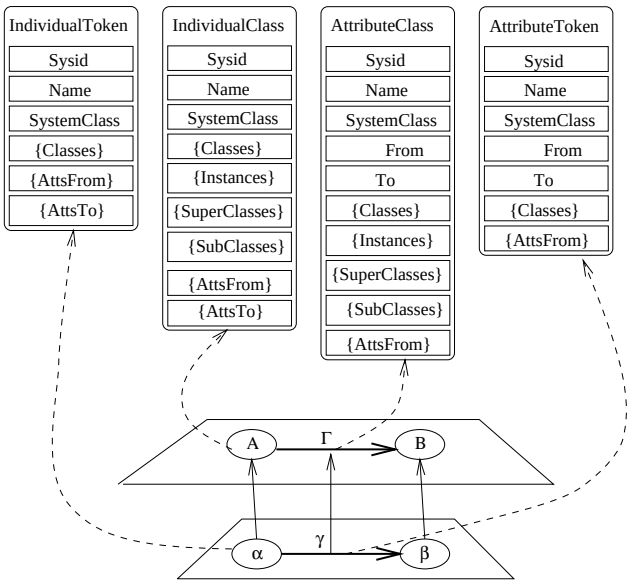
Η εισαγωγή χρονικής διάστασης λοιπόν στα αντικείμενα αυτά είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί με τη χρήση του μηχανισμού απόδοσης γνωρίσματος που η SIS-Telos υποστηρίζει. Οι χρονικές μεταβολές μοντελοποιούνται λοιπόν με την απόδοση χρονικού γνωρίσματος σε κάθε *μεταβλητό* αντικείμενο (κεφάλαιο 4).

Αντίθετα με τις οντότητες και τα γνωρίσματα, στους συνδέσμους ταξινόμησης και γενίκευσης δεν αποδίδεται αναγνωριστικό όνομα και κατά συνέπεια δεν μπορούν να θεωρηθούν και να χρησιμοποιηθούν ως αντικείμενα. Αυτό σημαίνει οτι δεν είναι δυνατή η συσχέτιση επιπλέον πληροφορίας στους συνδέσμους αυτούς με αποτέλεσμα η απόδοση χρονικής διάστασης να είναι αδύνατη.

Η πληροφορία για την ύπαρξη των σχέσεων *instance-of* και *isA* υπάρχει στις δομές αποθήκευσης των συσχετιζόμενων αντικειμένων. Στις δομές αυτές αποθηκεύεται,

για κάθε αντικείμενο *o*, το αναγνωριστικό συστήματος, το λογικό του όνομα καθώς και ένα αναγνωριστικό το οποίο καθορίζει την κλάση συστήματος στην οποία είναι ταξινομημένο το *o*. Επιπλέον υπάρχουν σύνολα που περιέχουν τα SYSIDs των κλάσεων στις οποίες ανήκει το *o*, τα SYSIDs των περιπτώσεών του (εκτός και αν το ο είναι ατομική οντότητα), τα SYSIDs των υπερκλάσεων καθώς και ένα σύνολο με τα SYSIDs των υποκλάσεών του. Ανάλογα υπάρχει και ένα σύνολο με τα SYSIDs των γνωρισμάτων τα οποία έχουν αρχή το *o* ενώ αν πρόκειται για οντότητα υπάρχει και ένα σύνολο με τα SYSIDs των γνωρισμάτων που καταλήγουν στο *o*.

Στο σχήμα 7.2 παρουσιάζονται σχηματικά οι δομές αποθήκευσης των αντικειμένων της SIS-Telos.



Σχήμα 7.2: Οι δομές αποθήκευσης των αντικειμένων της SIS-Telos.

Για να μπορεί να υλοποιηθεί η εισαγωγή χρονικής διάστασης και στους συνδέσμους ταξινόμησης και γενίκευσης απαιτούνται αλλαγές στον κατάλογο συστήματος της SIS-Telos, στον τρόπο που τηρείται η πληροφορία για τις σχέσεις αυτές. Για την αλλαγή αυτή υπάρχουν δύο προτάσεις. Κατά την πρώτη, διατηρείται ο υπάρχων μηχανισμός αποθήκευσης αυτής της πληροφορίας αλλά επιπλέον ο κατάλογος συστήματος τηρεί και πληροφορίες σχετικές με τις χρονικές μεταβολές των σχέσεων ταξινόμησης και γενίκευσης. Κατά τη δεύτερη, προτείνεται η απόδοση αναγνωριστικού συστήματος

και στις σχέσεις αυτές με σκοπό την αντιμετώπισή τους ως αντικειμένων. Και οι δύο προτάσεις έχουν θετικά αλλά και αρνητικά στοιχεία, τα οποία έχουν να κάνουν με την εκφραστικότητα, την ταχύτητα προσπέλασης και τον χώρο αποθήκευσης. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι δύο προτάσεις.

Πρόταση 1 :

Όπως περιγράφεται παραπάνω, η πληροφορία για την ύπαρξη μιας σχέσης ταξινόμησης ή γενίκευσης μεταξύ δύο αντικειμένων υπάρχει στις δομές αποθήκευσης που δημιουργούνται στον κατάλογο συστήματος για τα συσχετιζόμενα αντικείμενα. Έστω λοιπόν ένα αντικείμενο α περίπτωση της κλάσης *A*. Στην δομή αποθήκευσης του α υπάρχει ένα σύνολο με τα SYSIDs των κλάσεων στις οποίες ανήκει. Στο σύνολο αυτό υπάρχει και το SYSID του *A*. Το ίδιο συμβαίνει και με τη δομή του *A*. Στο σύνολο των περιπτώσεών του υπάρχει το SYSID του α. Η αλλαγή που προτείνεται για την καταγραφή των χρονικών μεταβολών των σχέσεων ταξινόμησης και γενίκευσης, είναι η επέκταση των παραπάνω συνόλων και η αντικατάσταση των αναγνωριστικών από ζεύγη (SYSID,time). Για κάθε SYSID λοιπόν θα υπάρχει και ο χρόνος κατά τον οποίο το αντικείμενο, στο οποίο αντιστοιχεί το αναγνωριστικό, συνδέεται με το αντικείμενο στο οποίο αντιστοιχεί η δομή με σχέση ταξινόμησης ή γενίκευσης. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει χρονική πληροφορία (πρόκειται για μη μεταβαλλόμενη σχέση ταξινόμησης ή γενίκευσης) στο πεδίο time του ζεύγους (SYSID,time) θα αποθηκεύεται το άπειρο διάστημα *AllTime*.

Η πρόταση αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι δίνει τη δυνατότητα γρήγορης εκτέλεσης χρονικών ερωτήσεων που αφορούν τις σχέσεις ταξινόμησης και γενίκευσης αφού όλη η χρονική πληροφορία για τις σχέσεις *instance-of* και *isA* στις οποίες συμμετέχει ένα αντικειμένου υπάρχει στην δομή αποθήκευσής του. Κατά συνέπεια δεν είναι απαραίτητη η ανάκληση από την βάση πολλών διαφορετικών αντικειμένων. Σε περίπτωση όμως σχεδόν σταθερού σχήματος με μικρό ποσοστό χρονικών στυνδέσμων ταξινόμησης και γενίκευσης παρατηρείται μεγάλο ποσοστό περιττής πληροφορίας. Έστω, για παράδειγμα, οτι ένα 10% των συνδέσμων *instance-of* και *isA* έχει χρονική διάσταση. Σ' αυτή την περίπτωση στο 90% των ζευγών (SYSID,time) το πεδίο time θα περιέχει το διάστημα *AllTime*. Η πληροφορία αυτή είναι περιττή αφού για τα υπόλοιπα αντικείμενα

του σχήματος η απουσία χρονικής πληροφορίας ερμηνεύεται αυτόματα από το σύστημα ως άπειρη χρονική ισχύς.

Για την αντιμετώπιση αυτού του μειονεκτήματος θα μπορούσε να υλοποιηθεί μια μικρή παραλλαγή της παραπάνω πρότασης. Τα σύνολα αναγνωριστικών που υπάρχουν στις δομές αποθήκευσης των αντικειμένων παραμένουν όπως έχουν ενώ προστίθενται δύο επιπλέον σύνολα που περιέχουν τα ζεύγη (SYSID,time) που περιγράφονται παραπάνω. Το πρώτο σύνολο θα αντιστοιχεί στις κλάσεις του αντικειμένου (SYSID και χρόνος ισχύος για κάθε σχέση ταξινόμησης) ενώ το δεύτερο θα περιέχει τις ανάλογες πληροφορίες για τις υπερκλάσεις του αντικειμένου.

Η υλοποίηση αυτή είναι σχετικά εύκολοτερη από την προηγούμενη αφού στην ουσία πρόκειται για επέκταση και όχι για αλλαγή και κατά συνέπεια δεν επηρεάζεται σημαντικά ο ήδη υπάρχων κώδικας. Επιπλέον στην περίπτωση σχεδόν σταθερού σχήματος δεν παρατηρείται τόσο μεγάλο ποσοστό περιττής πληροφορίας όπως παραπάνω. Το μειονέκτημά της είναι η διπλή αποθήκευση των αναγνωριστικών των κλάσεων και των υπερκλάσεων ενός αντικειμένου, η οποία, στην περίπτωση μεγάλου ποσοστού χρονικά μεταβαλλόμενων συνδέσμων ταξινόμησης και γενίκευσης, αυξάνει σημαντικά. Αυτός είναι και ο λόγος που προτείνουμε η χρονική αυτή πληροφορία να τηρείται μόνο στις δομές των περιπτώσεων και των υποκλάσεων και όχι στις δομές και των δύο συσχετιζόμενων αντικειμένων (όπως συμβαίνει με τις μη χρονικές σχέσεις ταξινόμησης και γενίκευσης).

Η επιλογή ανάμεσα στις δύο παραλλαγές της πρότασης αυτής εξαρτάται από τις ιδιότητες του σχήματος. Για σχήματα με μεγάλο ποσοστό χρονικών συνδέσμων ταξινόμησης και γενίκευσης η επέκταση των υπαρχόντων συνόλων αναγνωριστικών είναι αποδοτικότερη. Για σχεδόν σταθερά σχήματα είναι προτιμότερη η προσθήκη νέων συνόλων. Υπάρχει ένα κατώφλι στο οποίο η υλοποίηση μίας από τις δύο παραλλαγές δεν έχει ουσιαστική διαφορά. Το κατώφλι αυτό παρουσιάζεται όταν το 60% των συνδέσμων ταξινόμησης και γενίκευσης έχουν χρονική διάσταση. Στην περίπτωση της πρώτης υλοποίησης 40% των χρονικών πεδίων έχουν το διάστημα *AllTime*. Στην περίπτωση της δεύτερης υλοποίησης αποθηκεύονται 30% περισσότερα SYSIDs αφού για το 60% των συνδέσμων αυτών αποθηκεύονται τρία SYSIDs αντί για δύο. Το 60% των συνδέσμων ταξινόμησης και γενίκευσης είναι μεγάλο ποσοστό με αποτέλεσμα να αυξάνει και το ποσοστό χρονικών ερωτήσεων που αφορούν σε τέτοιους συνδέσμους.

Με την πρώτη υλοποίηση, το ποσοστό της περιττής πληροφορίας είναι λίγο μεγαλύτερο από οτι στη δεύτερη αλλά οι χρονικές ερωτήσεις εκτελούνται με μεγαλύτερη ταχύτητα αφού η χρονική πληροφορία αποθηκεύεται στις δομές και των δύο αντικειμένων του αντίστοιχου συνδέσμου. Η αύξηση στην ταχύτητα αυτή όμως δεν αντισταθμίζει το μειονέκτημα που δημιουργεί ο όγκος της περιττής όταν το ποσοστό χρονικών συνδέσμων είναι μικρότερο από 60%.

Πρόταση 2 :

Προτείνεται η απόδοση αναγνωριστικού συστήματος και στις σχέσεις ταξινόμησης και γενίκευσης καθώς και αποθήκευσής τους με τον ίδιο τρόπο που αποθηκεύονται τα γνωρίσματα. Με την αλλαγή αυτή, οι σχέσεις *instance-of* και *isA* αποτελούν αντικείμενα της βάσης με αποτέλεσμα την δυνατότητα συσχέτισης επιπλέον πληροφορίας με τους συνδέσμους αυτούς. Έτσι λοιπόν η χρονική διάσταση θα μπορεί να παρασταθεί με τον ίδιο τρόπο που παριστάνεται και για τα υπόλοιπα αντικείμενα (οντότητες και γνωρίσματα).

Η αποθήκευση των συνδέσμων ταξινόμησης και γενίκευσης ως αντικειμένων, αυξάνει την εκφραστικότητα των μοντέλων. Εκτός από την δυνατότητα χρονικής επέκτασής τους μπορεί να εφαρμοστεί γενικά ο μηχανισμός απόδοσης γνωρίσματος στα αντικείμενα αυτά. Επιπλέον δίνεται η δυνατότητα ομαδοποίησης των συνδέσμων αυτών σε κλάσεις που είναι ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό.

Η αποθήκευση όμως όλων αυτών των σχέσεων ως αντικειμένων επιβαρύνει πολύ σημαντικά το σύστημα τόσο από άποψη χώρου όσο και από άποψη ταχύτητας εκτέλεσης ερωτήσεων (κυρίως αναδρομικών ερωτήσεων).

Σύγκριση προτάσεων 1 και 2

Συγκρίνοντας τις παραπάνω προτάσεις καταλήγουμε στο συμπέρασμα οτι η πρόταση 1 είναι αποδοτικότερη σε θέματα χώρου αποθήκευσης και ταχύτητας εκτέλεσης ερωτήσεων. Οι σύνδεσμοι ταξινόμησης και γενίκευσης δεν αποθηκεύονται ως αντικείμενα αλλά η ύπαρξή τους και η χρονική τους διάσταση υποδηλώνεται με την αποθήκευση απλών αναγνωριστικών. Αντίθετα στην περίπτωση της πρότασης 2 θα

έπρεπε για κάθε σύνδεσμο ταξινόμησης και γενίκευσης να υπάρχει δομή ανάλογη μ' αυτές των υπολοίπων αντικειμένων.

Η πρόταση 2 όμως, όπως αναφέρεται και παραπάνω, προσδίδει μεγαλύτερη εκφραστικότητα στο σημασιολογικό μοντέλο. Η χρονική διάσταση αποτελεί μια ιδιότητα των σχέσεων ταξινόμησης και γενίκευσης και όχι μία απλή πληροφορία. Εκτός από την χρονική ιδιότητα, η υλοποίηση της πρότασης 2 παρέχει την δυνατότητα εφαρμογής όλων των εκφραστικών μηχανισμών της Telos και στις σχέσεις *instance-of* και *isA*.

Η επιλογή μίας από τις δύο προτάσεις εξαρτάται από τους σκοπούς και τις ανάγκες της αφαρμογής. Η πρόταση 1 υπερέχει σε ένα μεγάλο ποσοστό εφαρμογών στις οποίες δεν είναι απαραίτητη αυτή η επιπλέον εκφραστικότητα και κατά συνέπεια δεν ''δικαιολογείται'' η μεγάλη επιβάρυνση χώρου αποθήκευσης και ταχύτητας εκτέλεσης ερωτήσεων που εισάγεται με την πρόταση 2.

7.2.3 Σύστημα σημασιολογικού ελέγχου

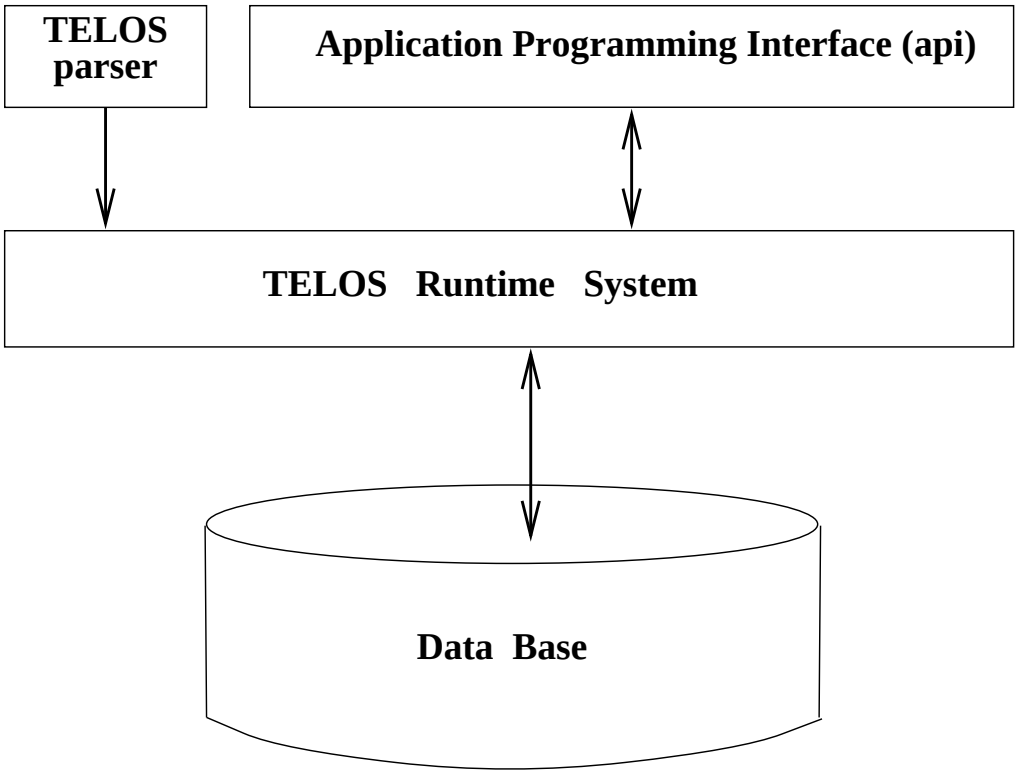
Ένα από τα σημαντικότερα τμήματα του συστήματος της SIS-Telos, είναι το *σύστημα σημασιολογικού ελέγχου (semantic checker).* Το σύστημα αυτό είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο των δοσοληψιών που γίνονται από τον χρήστη έτσι ώστε να ικανοποιείται η σημασιολογία της Telos και να διατηρείται η ακεραιότητα της βάσης. Το σύστημα αυτό, εκτός από της άμεσες δηλώσεις, ελέγχει και την ακεραιότητα των σχέσεων που συνεπάγονται οι δηλώσεις αυτές (π.χ. ελέγχει την ικανοποίηση των κανόνων 3.1, 3.2 και 3.3 που περιγράφονται στο κεφάλαιο 3). Όταν ο έλεγχος περατωθεί επιτυχώς, το σύστημα προχωράει στη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων Telos ή στην ενημέρωση της ήδη υπάρχουσας.

Είναι φανερό οτι το σύστημα σημασιολογικού ελέγχου πρέπει να αλλάξει ώστε να υποστηρίζει και την επιπλέον σημασιολογία που αποδίδει στη γλώσσα η χρονική επέκτασή της. Η σημασιολογία αυτή εκφράζεται και η ακεραιότητα της βάσης διατηρείται μέσω των χρονικών περιορισμών που περιγράφονται στις ενότητες 4.3.1 και 4.3.2. Απαραίτητη λοιπόν είναι η επέκταση του συνόλου των ελέγχων που εκτελεί το σύστημα σημασιολογικού ελέγχου ώστε να περιλαβάνει και ελέγχους για την ικανοποίηση των περιορισμών που περιγράφονται στις ενότητες 4.3.1 και 4.3.2.

7.3 Προτάσεις υλοποίησης για το API

Μια εφαρμογή που επιθυμεί να ανακαλέσει πληροφορίες από μία βάση δεδομένων που έχει δημιουργηθεί με την γλώσσα Telos, μπορεί να χρησιμοποιήσει το *API* και την συλλογή πρωτογενών συναρτήσεων που αυτό προσφέρει. Οι συναρτήσεις αυτές διευκολύνουν το χρήστη που σε διαφορετική περίπτωση θα ήταν αναγκασμένος να προσπελάζει τα δεδομένα της βάσης μέσω αναγνώσεων των αρχείων της. Κάτι τέτοιο θα απαιτούσε την γνώση του τρόπου αποθήκευσης των αντικειμένων μέσα στη βάση, γνώση που δεν χρειάζεται για την χρήση του *API*.

Ο τρόπος που επικοινωνεί το *API* με την βάση δεδομένων φαίνεται στο σχήμα 7.3.



Σχήμα 7.3: Επικοινωνία του *API* με την Telos βάση δεδομένων

Μέσω πρωτογενών συναρτήσεων που προσφέρει το *API*, γίνεται εφικτή η ανάκληση πληροφορίας από μία βάση δεδομένων που έχει δημιουργηθεί με την γλώσσα Telos

Στις πρωτογενείς συναρτήσεις του *API*, πρέπει να προστεθούν και συναρτήσεις που θα υλοποιούν τους τελεστές της χρονικής άλεγεβρας του κεφαλαίου 5. Βασικό στοιχείο

για την υλοποίησή τους αποτελεί η υλοποίηση του αλγορίθμου που περιγράφεται στο κεφάλαιο 6 (επίσης ως πρωτογενούς συνάρτησης του *API*) καθώς και μηχανισμός δημιουργίας και διαχείρισης των δομών αποθήκευσης που προτείνονται στο ίδιο κεφάλαιο. Με βάση τον αλγόριθμο αυτό, οι τελεστές της χρονικής άλγεβρας μπορούν να υλοποιηθούν σύμφωνα με την παράγραφο **"Διαδικασία εφαρμογής"** που υπάρχει στην ενότητα ορισμού του αντίστοιχου τελεστή στο κεφάλαιο 5.

Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί η έλλειψη τελεστών σύγκρισης τιμών πρωτογενών τύπων καθώς και του τελεστή υπολογισμού της τομής δύο χρονικών διαστημάτων. Οι πράξεις αυτές είναι απαραίτητες για την εκτέλεση των χρονικών τελεστών που ορίζονται στην εργασία αυτή και κατά συνέπεια η υλοποίηση τους θεωρείται αναγκαία.

Κεφάλαιο 8

Επίλογος

8.1 Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή παρουσιάσαμε την χρονική επέκταση της γλώσσας παράστασης γνώσης SIS-Telos και μελετήσαμε τους τρόπους με τους οποίους η επέκταση αυτή μπορεί να υποστηριχθεί από το Σύστημα Σημασιολογικού Ευρετηριασμού (SIS). Η προσθήκη χρονικής διάστασης τόσο σε επίπεδο οντοτήτων όσο και σε επίπεδο γνωρισμάτων δίνει τη δυνατότητα καταγραφής των ασύγχρονων μεταβολών των χαρακτηριστικών ενός αντικειμένου αλλά και την συνολική μετάβαση του αντικειμένου από μία παλαιότερη κατάσταση σε μία νεότερη. Επιπλέον η χρονική επέκταση των σχέσεων ταξινόμησης και γενίκευσης/εξειδίκευσης παρέχει την δυνατότητα καταγραφής αλλαγών στις ιδιότητες των αντικειμένων αλλά και εξελίξεων του μοντέλου της εφαρμογής.

Η εισαγωγή χρονικής διάστασης μπορεί να μοντελοποιηθεί εύκολα, τουλάχιστον σε επίπεδο οντοτήτων και γνωρισμάτων, με τις δυνατότητες που παρέχει η Telos. Η υποστήριξη μιας τέτοιας επέκτασης φαίνεται σχετικά εύκολη χωρίς ιδιαίτερες αλλαγές στη φιλοσοφία του SIS, αφού οι τελεστές που ορίσαμε μπορούν να υλοποιηθούν κατά κύριο λόγο με χρήση των ήδη υπαρχουσών πρωτογενών συναρτήσεων που αυτό παρέχει.

8.2 Βελτιώσεις - Επεκτάσεις

Υπάρχουν πολλές δυνατότητες επέκτασης της συγκεκριμένης εργασίας. Καταρχήν τόσο η εισαγωγή χρονικής διάστασης όσο και η χρονική άλγεβρα που προτείνονται στην εργασία αυτή, μπορούν να επεκταθούν ώστε να υποστηρίζουν πολλαπλές διαστάσεις χρόνου συνδυάζοντας, για παράδειγμα, τον χρόνο ισχύος με χρόνο δοσοληψίας.

Επίσης είναι δυνατή η χρήση διαφορετικών χρονικών πεδίων, που θα εξαρτώνται κάθε φορά από τις ανάγκες τις εφαρμογής. Ένα τέτοιο (μη συνηθισμένο) χρονικό πεδίο είναι ένα σύνολο σημείων τα οποία μοντελοποιούν τους αριθμούς εκδόσεων (versions) που μπορούν να αποδοθούν σε ένα αντικείμενο. Κάθε τέτοιο σημείο μπορεί να έχει μεταβλητή λεπτομέρεια (έκδοση 3, έκδοση 3.2, 3.2.2 κ.τ.λ.). Έτσι λοιπόν, κατ' αναλογία των πράξεων που χρησιμοποιούμε για την σύγκριση χρονικών διαστημάτων, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε πράξεις για την σύγκριση διαστημάτων (συνόλων) σημείων εκδόσεων[1]. Μπορούμε λοιπόν να φτιάξουμε μία ιεραρχία χρονικών τύπων ορίζοντας μία κλάση συστήματος *Time*, εξειδικεύσεις της οποίας θα είναι ο χρονικός πρωτογενής τύπος δεδομένων που περιγράφεται στο κεφάλαιο 3, το σύνολο σημείων που περιγράφεται παραπάνω, ένας τύπος δεδομένων που θα υποστηρίζει σχετικές ημερομηνιές (π.χ. Χ συνέβη μετά το Υ) κ.τ.λ. Ανάλογα με την εφαρμογή, ο χρόνος να λαμβάνει τιμές από το κατάλληλο πεδίο. Έτσι λοιπόν σε μία εφαρμογή που η χρονική διάσταση έχει την έννοια του χρόνου ισχυός, ο χρόνος θα λαμβάνει τιμές από τον χρονικό πρωτογενή τύπο ενώ σε μία άλλη, στην οποία καταγράφονται οι εκδόσεις των αντικειμένων, ο χρόνος θα παίρνει τιμές από το σύνολο των σημείων εκδόσεων.

Μια άλλη επέκταση που μπορεί να ακολουθήσει μια τέτοια εργασία, είναι η μελέτη των ομοιοτήτων μεταξύ χρονικών και χωρικών δεδομένων και η προσπάθεια μοντελοποίσης τους κάτω από ένα κοινό πρίσμα. Μία τέτοια προσέγγιση παρουσιάζεται στο [9]. Η προσέγγιση αυτή δίνει τη δυνατότητα συνύπαρξης χωρικής και χρονικής πληροφορίας καθώς και ομοιόμορφης εκτέλεσης ερωτήσεων που αφορούν και στις δύο αυτές διαστάσεις. Κάτι τέτοιο είναι ιδιαίτερα σημαντικό αφού παρέχει τη δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων πάνω σε πληροφορία σύνθετη (για παράδειγμα η εύρεση ενός αγγείου συγκεκριμένης τεχνοτροπίας, σε συγκεκριμένο γεωγραφικό χώρο, μας βοηθάει να προσδιορίσουμε τον πολιτισμό στον οποίο ανήκει).

[1]Μία τέτοια πρόταση αφορά μόνο σε θέματα μοντελοποίησης και επερώτησης εκδόσεων. Ο σχεδιασμός των μηχανισμών διατήρησης εκδόσεων αποτελεί ένα μεγάλο τομέα

Τέλος ένα επόμενο βήμα σ'αυτή τη μελέτη θα ήταν η αντιστοίχιση της χρονικής άλγεβρας που ορίζεται, σ'ένα υψηλότερο επίπεδο, για παράδειγμα σ'ένα συντακτικό μορφής SQL. Μια τέτοια αντιστοίχιση απαιτεί τον καθορισμό περιορισμών και κανόνων που θα επιτρέπουν την βελτιστοποίηση των ερωτήσεων, μετατρέποντας την αρχική ερώτηση σε μία νέα, συντακτικά διαφορετική, σημασιολογικά όμως ισοδύναμη που πιθανά θα έχει ένα πιο αποδοτικό σχέδιο εκτέλεσης.

Βιβλιογραφία

[1] S. Gadia, S. Jajodia, A. Segev, A. Tansel, J. Clifford, R. Snodgrass (editors). *Temporal Databases : Theory Design and Implementation*. Benjamin/Cummings, Redwood City, California, 1993.

[2] J. F. Allen. Maintaining Knowledge about Temporal Intervals. *Comm. ACM*, 26: pp. 832--843, 1983.

[3] J. F. Allen. Towards a General Theory of Action and Time. *Artificial Intelligence*, 23: pp. 123--154, 1984.

[4] J. Clifford and A. Croker. The Historical Relational Data Model (HRDM) Revisited. In *Temporal Databases : Theory Design and Implementation*, pp. 6--27. Benjamin/Cummings, 1993.

[5] P. Constantopoulos and M. Doerr. The Semantic Index System : A brief presentation. Working paper # 6, Information Systems and Software Technology Group, Institute of Computer Science, FORTH. 1993, (http://www.ics.forth.gr/proj/isst/Systems/SIS/index.html).

[6] R. Elmasri and G. Wiederhold. GORDAS: A formal high-level query language for the ER model. *In Second Entity-Relationship Conference*, October 1981.

[7] M. Stonebraker, G. D. Held and E. Wong. INGRES: A relational database management system. In *Proceedings of the AFIPS National Computer Conference*, volume 44, pp. 409--416, Anaheim, CA, May 1975. AFIPS Press.

[8] M. Stonebraker G. D. Held, P. Kreps and E. Wong. The design and implementation of INGRES. *ACM Transactions on Database Systems*, 1(3):189--222, Septeber 1976.

[9] S. Gadia and S. Nair. Temporal Databases: A Prelude to Parametric Data. In *Temporal Databases : Theory Design and Implementation*, pp. 29--66. Benjamin/Cummings, 1993.

[10] Ανθή Γιώρτσου . Εισαγωγή της έννοιας του χρόνου ως πρωτογενούς στοιχείου στη γλώσσα Telos, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Οκτώβριος 1995, επίσης Τεχνική Αναφορά, FORTH-ICS-TR-196, Ινστιτούτο Πληροφορικής, Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας, Μάιος 1997.

[11] Γιώργος Γεωργιαννάκης . Ο Μηχανισμός Αποθήκευσης και Διαχείρισης Αντικειμένων στο Περιβάλλον Ithaca για τη Γλώσσα Αναπαράστασης Telos. Μεταπτυχιακή εργασία, Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Φεβρουάριος 1994, επίσης Τεχνική Αναφορά, FORTH-ICS-TR-119, Ινστιτούτο Πληροφορικής, Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας, Φεβρουάριος 1994.

[12] Μάνος Θεοδωράκης . Εμβέλεια ονόματος σε σημασιολογικά μοντέλα δεδομένων. Μεταπτυχιακή εργασία, Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Οκτώβριος 1995, επίσης Τεχνική Αναφορά, FORTH-ICS-TR-141, Ινστιτούτο Πληροφορικής, Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας, Σεπτέμβριος 1995.

[13] S. A. Fox, J. M. Smith and T. A. Landers. ADAPLEX : Rationale and reference manual. Technical Report CCA-83-08, Computer Corporation of America, May 1983.

[14] M. Jarke, J. Mylopoulos, A. Borgida and M. Koubarakis. Telos: Representing Knowledge about Information Systems. *ACM Transactions on Information Systems*, 8(4):331--332, October 1990.

[15] P. Klimathianakis, M. Doerr and M. Theodorakis. SIS - Data Entry Language User's Manual, Institute of Computer Science, FORTH. December 1992.

[16] M. Stanley, M. Koubarakis, J. Mylopoulos and A. Borgida. Telos: Features and Formalization. Technical Report FORTH/CSI/TR/1989/018, Institute of Computer Science, FORTH, 1989.

[17] G. T. J. Wuu, R. Elmasri and V. Kouramajian. A Temporal Model and Query Language for EER Databases. In *Temporal Databases : Theory Design and Implementation*, pp. 212--229. Benjamin/Cummings, 1993.

[18] E. Rose and A. Segev. TOOA: A Temporal Object-Oriented Algebra. In *Proceedings of the ECOOP '93, European Conference on Object-oriented Programming*, LNCS 707, pp. 297--325, Kaiserslautern, Germany, July 1993. Springer-Verlag.

[19] G. Rote. Path Problems in Graphs. In *Computational Graph Theory*, pp. 155--189. Computing supplementum. Springer-Verlag, 1990.

[20] D.W. Shipman. The functional data model and the data language DAPLEX. *ACM Transactions on Database Systems*, 6(1):140--173, March 1981.

[21] R. Snodgrass. The Temporal Query Language TQuel. *ACM Transactions on Database Systems*, 12(2):247--298, June 1987.

[22] R. Snodgrass. An Overview of TQuel. In *Temporal Databases : Theory Design and Implementation*, pp. 141--182. Benjamin/Cummings, 1993.

[23] R. Snodgrass and I. Ahn. A taxonomy of time in databases. In *Proceedings of ACM SIGMOD International Conference on Management of data*, pp. 236--246, Austin, TX, May 1985.

[24] T. Petersen and J. P. Barnett (editors). Guide to Indexing and Cataloging Art and Architecture Thesaurus. pp. 47--50, 1994.

[25] G. T. J. Wuu and U. Dayal. A Uniform Model for Temporal and Versioned Object-Oriented Databases. In *Temporal Databases : Theory Design and Implementation*, pp. 230--247. Benjamin/Cummings, 1993.