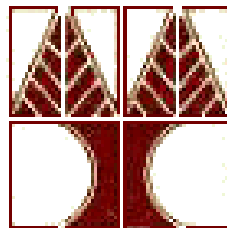


Ατομική Διπλωματική Εργασία

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ “ΑΙΤΙΑ – ΧΡΟΝΟΣ –
ΘΕΡΑΠΕΥΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ” ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΛΙΝΙΚΗΣ
ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ**

Άρτεμις Βουζούνη

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Οκτώβριος 2009

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ “ΑΙΤΙΑ – ΧΡΟΝΟΣ – ΘΕΡΑΠΕΥΤΙΚΗ
ΕΝΕΡΓΕΙΑ” ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΛΙΝΙΚΗΣ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ**

Άρτεμις Βουζούνη

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια
Κυρία Ελπίδα Κεραυνού-Παπαηλίου

Η Ατομική Διπλωματική Εργασία υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των
απαιτήσεων απόκτησης του πτυχίου Πληροφορικής του Τμήματος Πληροφορικής του
Πανεπιστημίου Κύπρου

Οκτώβριος 2009

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια της ατομικής διπλωματικής μου εργασίας, κυρία Ε. Κεραυνού για την καθοδήγηση και βοήθεια της κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη συμπαράσταση της.

Περίληψη

Η διπλωματική αυτή εργασία εντάσσεται στο ευρύτερο πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης στην Ιατρική (Artificial Intelligence in Medicine) και επικεντρώνεται στη διερεύνηση του μοντέλου “Αιτία-Χρόνος-Θεραπευτική Ενέργεια” (Causal-Temporal-Action [C-T-A] model) σε εφαρμογές κλινικής διάγνωσης.

Η κλινική διάγνωση επικεντρώνεται γύρω από ασθένειες και βασίζεται πάνω σε διάφορα μοντέλα διάγνωσης μιας ασθένειας τα περισσότερα από τα οποία όμως περιέχουν κάποιες αδυναμίες. Το γενικευμένο διαγνωστικό μοντέλο [C-T-A], βασιζόμενο στη γνώση, στοχεύει στην κάλυψη τριών βασικών αλληλένδετων τύπων γνώσης που άπτονται της διαγνωστικής διεργασίας, συγκεκριμένα της αιτιολογικής γνώσης, της γνώσης χρονικών περιορισμών και της γνώσης θεραπευτικών ενεργειών. Στόχος του μοντέλου είναι η υψηλού επιπέδου θεώρηση της διαγνωστικής διεργασίας και η απάλειψη αδυναμιών που σχετίζονται με το γεγονός ότι σε πολλά διαγνωστικά συστήματα δεν μοντελοποιούνται ρητά τα πιο πάνω βασικά είδη γνώσης.

Η επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων προσελκύει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον λόγω διαφόρων ανοικτών ζητημάτων που αποτελούν πρόκληση. Μια τέτοια πρόκληση είναι η αναπαράσταση και ο συλλογισμός με χρόνο και γενικότερα μιλώντας, το θέμα της χρονικής ιατρικής διάγνωσης. Το γενικευμένο διαγνωστικό μοντέλο [C-T-A] χρησιμοποιώντας την δική του υψηλού επιπέδου θεώρηση για τη διαγνωστική γνώση, δεν κάνει οποιεσδήποτε δεσμεύσεις αναφορικά με την αναπαράσταση του χρόνου, της αιτιολογικής σχέσης ή των θεραπευτικών ενεργειών. Συνεπώς, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα υψηλού επιπέδου ερμηνευτικό πλαίσιο σύγκρισης για την κριτική ανάλυση υφιστάμενων προσεγγίσεων στην κλινική διάγνωση.

Στόχος της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι, η διεξαγωγή μιας βιβλιογραφικής συγκριτικής μελέτης ανασκόπησης πάνω στο θέμα της χρονικής ιατρικής διάγνωσης (temporal medical diagnosis) χρησιμοποιώντας το γενικευμένο μοντέλο διάγνωσης “Αιτία-Χρόνος-Θεραπευτική Ενέργεια” ως το ερμηνευτικό πλαίσιο για τη συγκριτική αυτή ανάλυση.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 2	Είδη Διάγνωσης στο Πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης.....	3
2.1	Διάγνωση	3
2.2	Κλινική Διάγνωση	4
2.3	Διάγνωση βασιζόμενη στη συνέπεια (Consistency-based diagnosis)	5
2.4	Απαγωγική Διάγνωση (Abductive diagnosis)	6
2.5	Διάγνωση βασιζόμενη σε μοντέλο (Model-based diagnosis)	7
2.6	Απαγωγική διάγνωση βασιζόμενη σε χρονικά αντικείμενα (abductive diagnosis based on time-objects)	12
2.7	Διαχωρισμός και συσχετισμός των διαγνωστικών εννοιών	16
2.8	Υπόθεση Μοναδικού Σφάλματος (Single point of failure assumption)	17
2.9	Υπόθεση Πολλαπλών Σφαλμάτων (Multiple points of failure assumption)	18
2.10	Σύνθετες Υποθέσεις	19
Κεφάλαιο 3	Έννοιες που εμπλέκουν το Χρόνο στην Επίλυση Διαγνωστικών Προβλημάτων.....	20
3.1	Μοντελοποίηση χρονικών εννοιών	20
3.1.1	Μοντελοποίηση της έννοιας του χρόνου	21
3.1.1.1	Στιγμιότυπα και διαστήματα	21
3.1.1.2	Γραμμικοί, διακλαδωμένοι και κυκλικοί χρόνοι	22
3.1.1.3	Σχεσιακοί και απόλυτοι χρόνοι	22
3.1.1.4	Μοντελοποίηση χρονικών συσχετίσεων	23
3.2	Παράγοντας ‘Χρόνος’ στην επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων	23
3.2.1	Παράγοντας ‘Γνώση’ στην επίλυση διαγνωστικών	25

	προβλημάτων	
3.3	Χρονικός Συλλογισμός (Temporal reasoning)	27
3.4	Χρονική Απαγωγική Διάγνωση (Temporal abductive diagnosis)	31
3.5	Χρονική Αφαιρετικότητα Δεδομένων (Temporal data abstraction)	33
3.6	Χρονική Αβεβαιότητα (Temporal uncertainty)	37
3.7	Πολλαπλές Μονάδες Χρόνου (Multiple granularity)	39
3.8	Χρονική Συνέπεια (Temporal consistency)	41
3.9	Χρονικοί Περιορισμοί (Temporal Constraints)	42
Κεφάλαιο 4	Βιβλιογραφική Συγκριτική Ανάλυση της Χρονικής Ιατρικής Διάγνωσης χρησιμοποιώντας το Γενικευμένο Μοντέλο “Αιτία-Χρόνος-Θεραπευτική Ενέργεια Causal-Temporal-Action” ως το ερμηνευτικό πλαίσιο.....	45
4.1	Γενική Περιγραφή του μοντέλου C-T-A	45
4.2	Βιβλιογραφική συγκριτική ανάλυση	48
Κεφάλαιο 5	Διεργασία Κλινικής Διάγνωσης.....	79
5.1	Κύκλος διάγνωσης-θεραπείας	79
5.2	Τεκμηρίωση της σημασίας της αιτιολογικής σχέσης	80
5.3	Τεκμηρίωση της σημασίας του χρόνου	84
5.4	Τεκμηρίωση της σημασίας της ικανότητας συλλογισμού αναφορικά με θεραπευτικές ενέργειες που αναφέρονται στο ιστορικό του ασθενή	88
5.5	Συσχετισμός των πιο πάνω τεκμηριώσεων	90
Κεφάλαιο 6	Συμπεράσματα.....	92
6.1	Γενικά συμπεράσματα	92
6.2	Εισηγήσεις για δυνατή επέκταση της εργασίας	96
Βιβλιογραφία		97

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας έχει γίνει μια βιβλιογραφική συγκριτική μελέτη ανασκόπησης πάνω στο θέμα της χρονικής ιατρικής διάγνωσης (temporal medical diagnosis) χρησιμοποιώντας το γενικευμένο μοντέλο διάγνωσης “Αιτία-Χρόνος-Θεραπευτική Ενέργεια” (C-T-A) ως το ερμηνευτικό πλαίσιο για τη συγκριτική αυτή ανάλυση. Το πιο πάνω θέμα εντάσσεται στο ευρύτερο πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN).

Η TN είναι ο κλάδος που μελετάει τον τρόπο με τον οποίο οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές θα μπορούσαν να εκτελέσουν ενέργειες, τις οποίες, προς το παρόν, οι άνθρωποι εκτελούν καλύτερα. Ο όρος TN επινοήθηκε το 1956 από τον Marvin Minsky. Σήμερα, ο τομέας της TN εξακολουθεί να αποτελεί ανοιχτό πεδίο έρευνας με ολοένα αυξανόμενο εύρος εφαρμογών και καλύπτει ένα μεγάλο φάσμα περιοχών γεγονόσ που του δίνει πολυεπιστημονικό χαρακτήρα.

Ιδιαίτερο είναι το ενδιαφέρον για την επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων, κυρίως για το θέμα της χρονικής ιατρικής διάγνωσης. Ο χρονικός συλλογισμός καθώς και η αναπαράσταση του χρόνου είναι κρίσιμης σημασίας για μια κλινική διάγνωση. Στις προηγούμενες γενεές των διαγνωστικών, βασισμένων στη γνώση, συστημάτων, δεν δόθηκε στη χρονική διάσταση η θέση που της άξιζε. Η σχετική τεχνολογία δεν υπήρχε έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί η τόσο σημαντική έννοια του χρονικού συλλογισμού (temporal reasoning). Σήμερα όμως δεν ισχύει αυτό. Η αναπαράσταση του χρόνου (time representation) και ο συλλογισμός (reasoning) αποτελούν ερευνητικό πεδίο και τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας έχουν εφαρμοστεί επιτυχώς σε διάφορα προβλήματα. Επιπλέον, η μοντελοποίηση του χρόνου και άρα της αλλαγής χρειάζεται να είναι αναπόσπαστο στοιχείο της καινούργιας γενεάς των διαγνωστικών συστημάτων που βασίζονται στη γνώση (knowledge-based diagnostic systems).

Η διερεύνηση του γενικευμένου διαγνωστικού μοντέλου C-T-A σε εφαρμογές κλινικής διάγνωσης βοηθά στην επίτευξη αυτής της βιβλιογραφικής συγκριτικής μελέτης που πρέπει να γίνει πάνω στο πιο πάνω θέμα της χρονικής ιατρικής διάγνωσης.

Κεφάλαιο 2

Είδη Διάγνωσης στο Πεδίο της ΤΝ

2.1	Διάγνωση	3
2.2	Κλινική Διάγνωση	4
2.3	Διάγνωση βασισόμενη στη συνέπεια (Consistency-based diagnosis)	5
2.4	Απαγωγική Διάγνωση (Abductive diagnosis)	6
2.5	Διάγνωση βασισόμενη σε μοντέλο (Model-based diagnosis)	7
2.6	Απαγωγική διάγνωση βασισόμενη σε χρονικά αντικείμενα (abductive diagnosis based on time-objects)	12
2.7	Διαχωρισμός και συσχετισμός των διαγνωστικών εννοιών	16
2.8	Υπόθεση Μοναδικού Σφάλματος (Single point of failure assumption)	17
2.9	Υπόθεση Πολλαπλών Σφαλμάτων (Multiple points of failure assumption)	18
2.10	Σύνθετες Υποθέσεις	19

Στο κεφάλαιο αυτό, διερευνούνται και αναλύονται τα διάφορα είδη διάγνωσης που σχετίζονται με το πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης όπως είναι για παράδειγμα, η κλινική διάγνωση, η διάγνωση βασισόμενη στη συνέπεια, η απαγωγική διάγνωση, η διάγνωση βασισόμενη σε μοντέλο και η απαγωγική διάγνωση βασισόμενη σε χρονικά αντικείμενα. Επιπλέον, θα προσδιοριστεί η έννοια της υπόθεσης μοναδικού σφάλματος, της υπόθεσης πολλαπλών σφαλμάτων και των σύνθετων υποθέσεων.

2.1 Διάγνωση

Πολλοί ερευνητές θέλοντας να ορίσουν την έννοια της διάγνωσης κατάληξαν στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει ένας μοναδικός λογικός ορισμός για τη διάγνωση. Σε μια

διάγνωση, το πρόβλημα που έχει να αντιμετωπίσει κανείς είναι η προσπάθεια εύρεσης πιθανής ύπαρξης ενός λάθους σε ένα σύστημα με βάση τη γνώση που κατέχει για το σχεδιασμό και τη δομή του συστήματος, τις πιθανές δυσλειτουργίες που μπορεί να παρουσιαστούν στο σύστημα και τις παρατηρήσεις που προκύπτουν (συμπτώματα, στοιχεία) μέσω της συμπεριφοράς του συστήματος. Οι προτάσεις οι οποίες τυποποιούν την έννοια του διαγνωστικού συλλογισμού έχουν γενικά εξετάσει δύο ακραίες περιπτώσεις του διαγνωστικού προβλήματος. Η πρώτη ακραία περίπτωση αφορά τη διάγνωση που αποτελείται από τις απομονωμένες αποκλίσεις από την κανονική συμπεριφορά. Το γεγονός αυτό συνέβαλε στη διατήρηση των εφαρμογών βασιζόμενων στη συνέπεια. Υποστηρίζεται λοιπόν, ότι υπάρχει γνώση για το πώς δομούνται και εργάζονται λειτουργικά τα συστατικά μέρη αλλά δεν υπάρχει γνώση για το πώς εμφανίζονται και εκδηλώνονται οι δυσλειτουργίες. Η δεύτερη ακραία περίπτωση περιλαμβάνει απλά πληροφορίες για τα σφάλματα, δηλαδή τις ασθένειες και τα συμπτώματα αυτών των ασθενειών και χρειάζεται να υπολογιστούν οι μη λειτουργικές παρατηρήσεις. Το γεγονός αυτό παραδοσιακά συμβάλλει στη διατήρηση των απαγωγικών εφαρμογών. Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι η έκφραση “διάγνωση” αναφέρεται στην απάντηση της ερώτησης αν ένα σύστημα δυσλειτουργεί ή όχι και στη διαδικασία του υπολογισμού της απάντησης. Αυτή η έκφραση προέρχεται από το ιατρικό περιεχόμενο όπου μια διάγνωση είναι η διαδικασία ταυτοποίησης μιας αρρώστιας μέσω των συμπτωμάτων της. Ως ένας υποτομέας της τεχνητής νοημοσύνης, η διάγνωση αφορά την ανάπτυξη αλγορίθμων και τεχνικών οι οποίοι είναι σε θέση να προσδιορίσουν αν η συμπεριφορά ενός συστήματος είναι ορθή. Αν το σύστημα δεν λειτουργεί ορθά, ο αλγόριθμος πρέπει να είναι σε θέση να προσδιορίσει, όσο το δυνατόν ακριβέστερα, πιο μέρος του συστήματος δεν λειτουργεί και τι είδους λάθος αντιμετωπίζει. Ο υπολογισμός βασίζεται στις παρατηρήσεις οι οποίες παρέχουν πληροφορίες που αφορούν την τρέχουσα συμπεριφορά.

2.2 Κλινική Διάγνωση

Η κλινική διάγνωση σχετίζεται άμεσα με την απαγωγική διάγνωση και στηρίζεται στη μελέτη των συμπτωμάτων μιας αρρώστιας. Τρεις βασικοί παράγοντες στην κλινική διάγνωση, που χρειάζεται να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη όταν επιλύονται διαγνωστικά προβλήματα είναι, η αιτία, ο χρόνος και οι θεραπευτικές επεμβάσεις. Η

διαγνωστική επίλυση προβλημάτων είναι μια σύνθετη διαδικασία συλλογισμού, ειδικά για τα κλινικά διαγνωστικά προβλήματα [5]. Ο χρόνος είναι πολύ κρίσιμος στην κλινική διάγνωση και για αυτό το λόγο πρέπει να παίζει κεντρικό ρόλο στην όλη τη διαδικασία συλλογισμού σε σχέση με το σχηματισμό σημαντικών υποθέσεων αλλά και την επιμέρους αξιολόγησή τους. Χρονικά αστήρικτες δυνατότητες δεν πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Οι χρονικές απαιτήσεις είναι πολλές και ποικίλες για το έργο της κλινικής διάγνωσης [25]. Μερικές από αυτές τις απαιτήσεις περιλαμβάνουν την ανάγκη για σύνθετες μορφές μετρικών και σχετικών περιορισμών, πολλαπλών μονάδων χρόνου, επανάληψη, σύνθετα περιστατικά, χρονική αφαιρετικότητα δεδομένων, κτλ.

2.3 Διάγνωση βασιζόμενη στη συνέπεια (consistency-based diagnosis)

Μια από τις προσεγγίσεις της διάγνωσης βασιζόμενης σε μοντέλο είναι, η διάγνωση βασιζόμενη στη συνέπεια η οποία καθορίζει την αιτία που ένα σωστά σχεδιασμένο σύστημα δεν λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του. Το 1987 λοιπόν, προτάθηκε μια λογική θεωρία της διάγνωσης από τον Reiter [48]. Η θεωρία αυτή συνηθίζεται να αποκαλείται ως η θεωρία της διάγνωσης βασιζόμενης στη συνέπεια. Η κύρια ιδέα της είναι να καθιερώσει ένα μοντέλο της κανονικής δομής και συμπεριφοράς των διαγνωσμένων αντικειμένων. Αργότερα, η διάγνωση μοντελοποιείται ως σαν να βρίσκει μια διαφορά μεταξύ της λειτουργικής συμπεριφοράς που προβλέφθηκε από το μοντέλο και της πραγματικά δυσλειτουργικής συμπεριφοράς που παρατηρείται. Η διαφορά σε αυτή την προσέγγιση τυποποιείται ως λογική ασυνέπεια. Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι, η διάγνωση βασιζόμενη στη συνέπεια αφορά τη χρήση ενός μοντέλου με δομή και συμπεριφορά ενός συστήματος έτσι ώστε να αναλύσει αν ή όχι το σύστημα δυσλειτουργεί. Ένας γνωστός περιορισμός της διάγνωσης βασιζόμενης στη συνέπεια είναι ότι δεν μπορεί αντιμετωπίσει την αβεβαιότητα. Ο ορισμός της διάγνωσης από τον Reiter βασίζεται στη λογική συνέπεια. Με βάση λοιπόν τον Reiter, η διάγνωση D ενός διαγνωστικού προβλήματος (SD , $COMPS$, OBS) που βασίζεται στη συνέπεια είναι ένα ελάχιστο σύνολο $D \subseteq COMPS$ έτσι ώστε το $SD \cup OBS \cup \{ \neg ab(c) \mid c \in COMPS - D \}$ να είναι συνεπές. Ο Reiter [48] λοιπόν, επεξηγεί ότι μια προσέγγιση η οποία βασίζεται στη συνέπεια καθορίζει ένα μοντέλο ως ένα ζευγάρι (SD , $COMPS$). Το SD (περιγραφή συστήματος) είναι ένα περιορισμένο σύνολο από βασικές προτάσεις οι οποίες

αποτελούν την περιγραφή του συστήματος και καθορίζουν τον τρόπο που συνδέονται και συμπεριφέρονται τα στοιχεία του συστήματος. Ακολουθώντας, το COMPS (συστατικές μονάδες του συστήματος) είναι ένα περιορισμένο σύνολο από σταθερές οι οποίες αποτελούν τα συστατικά μέρη του συστήματος, το OBS είναι ένα περιορισμένο σύνολο από βασικές φόρμουλες οι οποίες περιγράφουν τις παρατηρήσεις του συστήματος και τέλος το ab είναι ένα μοναδιαίο κατηγορημα στο οποίο παρουσιάζεται δυσλειτουργία. Όταν το στοιχείο c είναι ανώμαλο τότε το $ab(c)$ είναι ορθό. Ένας άμεσος μηχανισμός παραγωγής και ελέγχου ο οποίος συστηματικά παράγει υποσύνολα του συνόλου COMPS, με τον ελάχιστο αρχικά αριθμό συστατικών μερών του συνόλου, είναι πάρα πολύ ανεπαρκής για συστήματα τα οποία έχουν μεγάλους αριθμούς από συστατικά μέρη. Ωστόσο, ο Reiter προτείνει μια διαγνωστική μέθοδο βασισμένη στην έννοια ενός συνόλου σύγκρουσης η οποία προτάθηκε αρχικά από τον de Kleer. Ο de Kleer και ο Williams υλοποίησαν ανεξάρτητα μια γενική διαγνωστική μηχανή (General Diagnostic Engine) που πραγματοποιεί αποτελεσματικά τις πιο πάνω ιδέες. Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι, για την προσέγγιση βασιζόμενη στη συνέπεια χρειάζεται να είμαστε σε θέση να συμπεραίνουμε τα σφάλματα από τις παρατηρήσεις. Υπάρχουν τρεις επιλογές σε σχέση με το τι έχει υποθεθεί, μαζί με τη λειτουργικότητα και τα σφάλματα. Η πρώτη επιλογή, υποστηρίζει ότι χρειάζεται να υποθέσουμε τη λειτουργικότητα και να αφήσουμε τα σφάλματα να ολοκληρωθούν ως μία παρενέργεια [48]. Η δεύτερη επιλογή, λέει να υποθέσουμε την απουσία των σφαλμάτων και να αφήσουμε τη λειτουργικότητα να ολοκληρωθεί ως μια παρενέργεια. Αντίστοιχα, η τελευταία επιλογή, λέει να υποθέσουμε τη λειτουργικότητα και την απουσία των σφαλμάτων.

2.4 Απαγωγική Διάγνωση (abductive diagnosis)

Μια εναλλακτική λύση έναντι της προσέγγισης της διάγνωσης βασιζόμενης στη συνέπεια (consistency-based diagnosis) είναι ο ορισμός της διάγνωσης σε σχέση με την απαγωγή. Για να είναι εφικτό αυτό, πρέπει να διαφοροποιήσουμε τις παρατηρήσεις οι οποίες είναι για είσοδο από αυτές που είναι για έξοδο. Μερικές φορές, χρειάζεται οι διαγνώσεις όχι μόνο να είναι συνεπείς με τις παρατηρήσεις, αλλά και να μπορούν να προβλέπουν τις εξόδους με βάση τις εισόδους που τους δίνονται. Χρησιμοποιώντας το πλαίσιο που προτάθηκε από τον Reiter [9], είναι απλό να αναπτύξει κανείς ένα

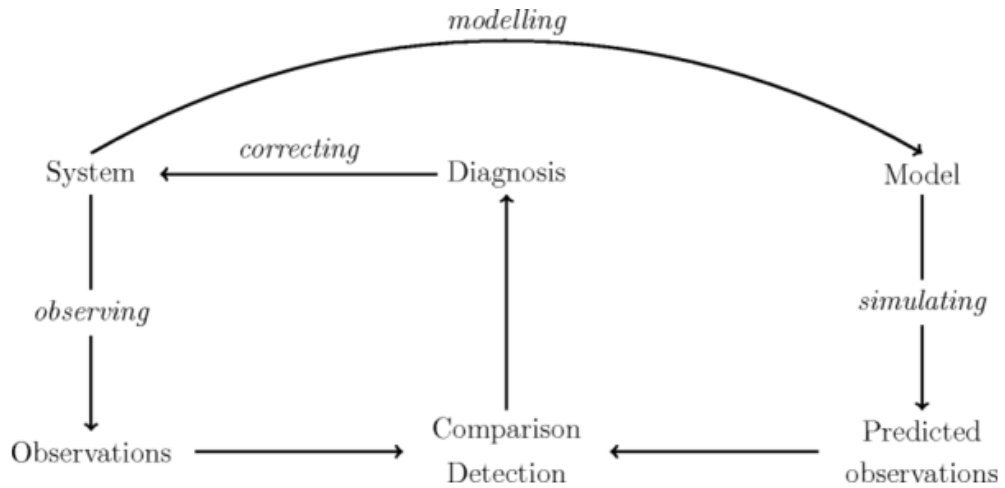
χαρακτηρισμό για τις απαγωγικές διαγνώσεις. Σύμφωνα με τους de Kleer, Mackworth και Reiter [15], για τον καθορισμό της έννοιας της απαγωγικής διάγνωσης πρέπει να διακρίνουμε τις προτάσεις στο σύνολο OBS οι οποίες είναι για είσοδο I από αυτές που είναι για έξοδο, O, όπου OBS είναι ένα σύνολο παρατηρήσεων από βασικές προτάσεις σε ένα σύστημα. Γενικότερα, η απαγωγή εμφανίζεται ως μια ενσωματωμένη ασυμμετρία της οποίας ένα μέρος της βασίζεται σε μία διάκριση μεταξύ αιτίας και επίδρασης. Γενικότερα, η απαγωγή είναι η διαδικασία με την οποία συμπεραίνει κανείς ορισμένα γεγονότα ή νόμους που καθιστούν κάποια πρόταση εύλογη και επεξηγεί μερικά φαινόμενα ή παρατηρήσεις. Εφαρμόζοντας απαγωγικό συλλογισμό σε αιτιολογικά συστήματα, οι παρατηρήσεις που θα επεξηγηθούν θα ληφθούν υπόψη ως οι επιδράσεις των αιτιολογικών παραγόντων. Αυτές οι αιτίες αντιμετωπίζονται σαν να είναι μέρος της περιγραφής του συστήματος, δηλαδή μέρος του συνόλου των βασικών προτάσεων SD. Σε μια ιατρική ρύθμιση, οι «διαγνώσεις» μπορεί να είναι ασθένειες (μαλάρια, ιλαρά), ενώ οι «έξοδοι» μπορεί να είναι συμπτώματα (ζαλάδες, πυρετός) και οι «είσοδοι» μπορεί να είναι διαταραχές στο σύστημα, όπως είναι για παράδειγμα, μια δίαιτα ή τα πειράματα ενός εργαστηρίου. Αυτές οι παρατηρήσεις, όσον αφορά την απαγωγή μπορούν να οδηγήσουν προς τη διατύπωση των περιεχομένων των συνόλων SD, I και OBS έτσι ώστε να επιτευχθούν αναμενόμενα, ικανοποιητικά αποτελέσματα. Το σύνολο SD λοιπόν, στην απαγωγική προσέγγιση περιέχει διαφορετικούς τρόπους συμπεριφοράς και διαφοροποιεί την κανονική από τη μη-κανονική συμπεριφορά. Η απαγωγική διάγνωση τότε, είναι ένα ελάχιστο σύνολο από υποθέσεις οι οποίες μαζί με το SD συνεπάγονται το σύνολο OBS. Οι απαγωγικές προσεγγίσεις βλέπουν φυσιολογικά τον κόσμο από την άποψη των αιτιών και των αποτελεσμάτων. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται είναι η πιο κάτω. Αρχικά, οι πιθανές υποθέσεις είναι οι πιθανές αιτίες (σφάλματα, ασθένειες) παραμετροποιημένες από τις τιμές από τις οποίες εξαρτώνται. Αργότερα, ιεραρχούμε πώς τα συμπτώματα ακολουθούν τις αιτίες. Αν το σύμπτωμα πάντοτε υπάρχει δοσμένης της αιτίας τότε αυτά τα αξιώματα πρέπει να είναι γεγονότα. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει σύμπτωμα, τότε τα αξιώματα πρέπει να είναι πιθανές υποθέσεις.

2.5 Διάγνωση βασιζόμενη σε μοντέλο (model-based diagnosis)

Τα έμπειρα διαγνωστικά συστήματα πρώτης γενεάς παρουσίασαν δυσκολίες οι οποίες οδήγησαν στην ανάπτυξη τεχνικών συλλογισμού που βασίζονται σε μοντέλα. Πρόσφατα, πολλοί ερευνητές διερεύνησαν τη χρήση τεχνικών βασιζόμενων σε μοντέλο στην ιατρική διάγνωση καθώς, τα περισσότερα διαγνωστικά συστήματα πρώτης γενεάς παρουσίαζαν ρηχό συλλογισμό. Οι πιο πάνω τεχνικές, επιτρέπουν την αναπαράσταση βαθειάς γνώσης και αυτό είναι σημαντικό για την ανάπτυξη πολυπλοκότερων συστημάτων επίλυσης προβλημάτων. Η διάγνωση βασιζόμενη σε μοντέλα, είναι μια δραστηριότητα εντοπισμού των στοιχείων ενός συστήματος που δυσλειτουργούν με βάση μόνο τη δομή και τη συμπεριφορά τους. Η διάγνωση ενός συστήματος που παρουσιάζει δυσλειτουργία αποτελείται από τον εντοπισμό εκείνων των υποσυστημάτων των οποίων η συμπεριφορά που παρατηρείται οφείλεται στη συμπεριφορά τους που εμφανίζει δυσλειτουργία. Για παράδειγμα, ένα σύστημα στο οποίο γίνεται διάγνωση μπορεί να είναι μια μηχανική συσκευή που δυσλειτουργεί ή ένας άνθρωπος που είναι ασθενής. Στην περίπτωση αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι ένας άνθρωπος ο οποίος είναι ασθενής. Υπάρχουν δύο διαφορετικές βασικές εφαρμογές στο διαγνωστικό συλλογισμό ο οποίος έχει χαρακτηριστεί ως συλλογισμός βασιζόμενος σε συνέπεια ή απαγωγικός συλλογισμός. Η πρώτη είναι, η ευρετική εφαρμογή και η δεύτερη, η διάγνωση βασιζόμενη σε μοντέλο. Στην πρώτη περίπτωση, πρέπει να απορριφτεί ένα σύνολο από υποθέσεις για σωστή συμπεριφορά έτσι ώστε να αποκατασταθεί η συνέπεια με τις μη λειτουργικές παρατηρήσεις. Στη δεύτερη περίπτωση, πρέπει να εισαχθεί ένα σύνολο από υποθέσεις για μη λειτουργική συμπεριφορά έτσι ώστε να συμπεραίνονται οι μη λειτουργικές παρατηρήσεις.

Η διάγνωση βασιζόμενη σε μοντέλο συνήθως αποκαλείται διάγνωση βασικών αρχών όπου κάποιος αρχίζει με μια περιγραφή (ένα μοντέλο) κάποιου πραγματικού κόσμου ενός συστήματος. Τα πιο παλαιά συστήματα των οποίων η διάγνωση βασιζόταν σε ένα μοντέλο αναπτύχθηκαν από τους επιστήμονες de Kleer, Genesereth και Davis. Ένα μοντέλο αναπαριστά ρητά τη δομή του συστήματος, τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται και τις συνδέσεις τους. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η διάγνωση βασιζόμενη σε μοντέλο βοηθά στην επίλυση των διαγνωστικών προβλημάτων που δημιουργούνται στην περίπτωση που υπάρχει σύγκρουση μεταξύ μιας παρατήρησης που προέρχεται από την πραγματική συμπεριφορά του συστήματος με την αναμενόμενη συμπεριφορά του συστήματος. Η διάγνωση βασιζόμενη σε μοντέλο, για να επιλύσει το

πιο πάνω πρόβλημα στηρίζεται μόνο στην περιγραφή του συστήματος και τις παρατηρήσεις της συμπεριφοράς του. Επιπλέον, στη διάγνωση βασιζόμενη σε μοντέλο μια κοινή άποψη που επικρατεί είναι ότι εκείνο που προκαλεί πρόβλημα είναι η μοντελοποίηση. Συγκεκριμένα, οποιοδήποτε μοντέλο είναι μια αφαιρετικότητα και το πρόβλημα είναι η εύρεση του σωστού τρόπου αφαιρετικότητας του συστήματος που θα μοντελοποιηθεί. Αυτό είναι ένα σημαντικό ζήτημα καθώς, ένα από τα απαιτούμενα πλεονεκτήματα των συστημάτων βασιζόμενων σε μοντέλο είναι ότι μπορούν να βασίζονται πάνω στο ίδιο μοντέλο του συστήματος για διαφορετικές διεργασίες συλλογισμού όπως για παράδειγμα τον έλεγχο, τη διάγνωση κτλ. Ωστόσο, ένα μειονέκτημα που υπάρχει είναι ότι η εύρεση για το ποιά είναι η ορθή αφαιρετικότητα και αργότερα το σωστό μοντέλο, μπορεί να εξαρτηθεί από τη διεργασία. Μπορούμε να πούμε λοιπόν, ότι, ο διαγνωστικός συλλογισμός βασιζόμενος σε μοντέλο, σχετίζεται με τη διάγνωση συστημάτων τα οποία δυσλειτουργούν και βασίζεται σε ένα καθορισμένο μοντέλο με δομή και συμπεριφορά ίδια με αυτή αυτών των συστημάτων [48]. Δόθηκαν πολλοί χαρακτηρισμοί για τη διάγνωση βασιζόμενη σε μοντέλο. Όλες οι εφαρμογές υποθέτουν ότι υπάρχει διαθέσιμο ένα μοντέλο ενός συστήματος στο οποίο γίνεται διάγνωση. Το μοντέλο αυτό, μπορεί να είναι ένα μοντέλο με την ορθή συμπεριφορά του συστήματος, ή ένα μοντέλο με την μη κανονική συμπεριφορά του ή και τα δύο. Δύο επικρατούσες εφαρμογές που υπάρχουν στη διάγνωση βασιζόμενη σε μοντέλο είναι, η διάγνωση βασιζόμενη στη συνέπεια [48] και η απαγωγική διάγνωση. Οι δύο πιο πάνω προσεγγίσεις, ξεχωρίζουν στο τρόπο που αναπαριστούν τη γνώση η οποία αφορά τη λειτουργικότητα και τα σφάλματα και στο πώς διάφορες διαγνώσεις καθορίζονται και υπολογίζονται. Ο διαγνωστικός συλλογισμός έχει χαρακτηριστεί σαν μια μορφή από το μη μονοτονικό συλλογισμό, είτε ως συλλογισμός βασιζόμενος στη συνέπεια, ή απαγωγικός συλλογισμός. Στην πρώτη περίπτωση, ένα σύνολο από υποθέσεις της ορθής συμπεριφοράς πρέπει να απορριφθούν έτσι ώστε να αποκατασταθεί η συνέπεια με τις δυσλειτουργικές παρατηρήσεις. Στη δεύτερη περίπτωση, ένα σύνολο από υποθέσεις της συμπεριφοράς που εμφανίζει δυσλειτουργία πρέπει να εισαχθούν έτσι ώστε να προκύψουν οι παρατηρήσεις που δυσλειτουργούν. Έτσι, η διάγνωση βασιζόμενη σε μοντέλο είναι ένα παράδειγμα απαγωγικού συλλογισμού που χρησιμοποιεί ένα μοντέλο ενός συστήματος. Ένα σχεδιάγραμμα που δείχνει τη βασική λειτουργία του είναι το πιο κάτω:



Σχήμα 2.1 Βασικός τρόπος λειτουργίας της διάγνωσης βασισμένης σε μοντέλο [22]

Το μοντέλο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.1 [22], περιγράφει τη συμπεριφορά του συστήματος. Στην ουσία, είναι μία αφαιρετικότητα της συμπεριφοράς του συστήματος και έτσι μπορεί να μην είναι ολοκληρωμένη. Δεδομένων των παρατηρήσεων του συστήματος, το σύστημα διαγνώσεων προσομοιώνει το σύστημα χρησιμοποιώντας αυτό το μοντέλο και συγκρίνει τις αναμενόμενες αυτές παρατηρήσεις σε σχέση με τις παρατηρήσεις που προβλέφθηκαν από την προσομοίωση. Η μοντελοποίηση μπορεί να απλοποιηθεί χρησιμοποιώντας τους ακόλουθους κανόνες (όπου Ab συμβολίζει το κατηγορημα δυσλειτουργίας):

$$\neg Ab(S) \Rightarrow Int1 \wedge Obs1$$

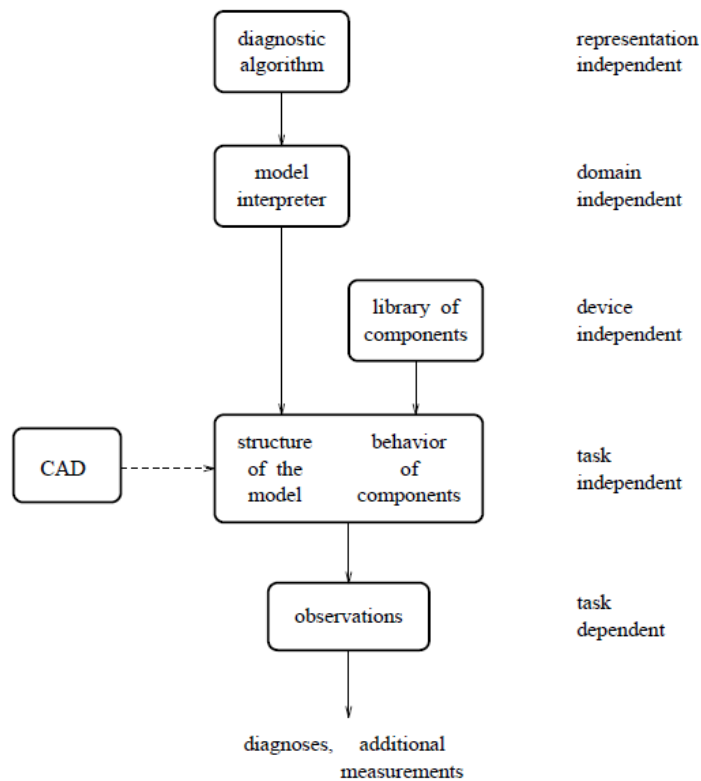
$$Ab(S) \Rightarrow Int2 \wedge Obs2 \text{ (fault model)}$$

Η πιο πάνω φόρμουλα δηλώνει ότι αν η συμπεριφορά του συστήματος είναι φυσιολογική (πχ. αν είναι φυσιολογική), τότε η εσωτερική (μη ορατή) συμπεριφορά θα είναι $Int1$ και η ορατή συμπεριφορά $Obs1$. Ωστόσο, στην περίπτωση που η συμπεριφορά δεν είναι φυσιολογική, δηλαδή το σύστημα δυσλειτουργεί, η εσωτερική συμπεριφορά θα είναι $Int2$ και η ορατή συμπεριφορά $Obs2$. Δοσμένων των

παρατηρήσεων *Obs*, το πρόβλημα είναι να καθοριστεί αν η συμπεριφορά του συστήματος είναι φυσιολογική ή όχι $(\neg Ab(S) \text{ or } Ab(S))$.

Αρχικά, τα διαγνωστικά συστήματα εισήχθηκαν για να υπερνικήσουν τους περιορισμούς των ευρετικών συστημάτων. Ωστόσο, έρευνα σε συστήματα βασιζόμενα σε μοντέλο, αποκάλυψε αμέσως ότι τα “φτωχά” διαγνωστικά συστήματα βασιζόμενα σε μοντέλο ήταν αναποτελεσματικά σε βαθμό που η χρησιμότητα τους ήταν πολύ χαμηλή. Η διάγνωση βασιζόμενη σε μοντέλο, δεν είναι κατά κύριο λόγο ευπειθής και τα τελευταία δέκα χρόνια, έγινε ουσιαστική προσπάθεια για την βελτιστοποίηση των διαγνωστικών αλγορίθμων έτσι ώστε να την κάνουν ευπειθή. Οι περισσότερες εφαρμογές σε αυτό το είδος διάγνωσης, περιγράφουν τη διάγνωση ενός συστήματος ως ένα σύνολο από δυσλειτουργικά συστατικά μέρη τα οποία επεξηγούν τα συμπτώματα. Για το χαρακτηρισμό των τυπικά μεγάλων σε αριθμό διαγνώσεων, συνήθως αναπαριστώνται μόνο τα ελάχιστα σύνολα των δυσλειτουργικών συστατικών μερών.

Η αρχιτεκτονική ενός τυπικού διαγνωστικού συστήματος βασιζόμενο σε μοντέλο παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.2. Η ιδέα είναι ότι ένας διαγνωστικός αλγόριθμος είναι κατά ένα μεγάλο μέρος του ανεξάρτητος περιεχομένων, και ότι πρέπει να είναι σχετικά εύκολο να αναπτυχθεί ένα μοντέλο μιας συσκευής. Ένα μοντέλο καθορίζεται από τη δομή του και τη συμπεριφορά των συστατικών μερών από τα οποία αποτελείται. Η δομή ενός τεχνικού αντικειμένου, είναι κυρίως στη δικαιοδοσία ενός CAD συστήματος, ενώ η συμπεριφορά των στοιχείων σχεδιάζεται από μια γενική βιβλιοθήκη. Έτσι, ένα τέτοιο μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πρόβλεψη, έλεγχο, διαχείριση ή διάγνωση. Ως αποτέλεσμα της διάγνωσης, προσδιορίζονται διαφορετικά σύνολα από λανθασμένα στοιχεία ή προτείνονται επιπλέον διακριτοί υπολογισμοί.



Σχήμα 2.2 Η αρχιτεκτονική ενός διαγνωστικού μοντέλου βασιζόμενου σε μοντέλο [22]

2.6 Απαγωγική διάγνωση βασιζόμενη σε χρονικά αντικείμενα (abductive diagnosis based on time-objects)

Η διαγνωστική επίλυση ενός προβλήματος, στόχο έχει να εξηγήσει τη δυσλειτουργία ενός συστήματος είτε αυτό αντιπροσωπεύει έναν άνθρωπο είτε κάτι άλλο και χρειάζεται να αποτελεί την καλύτερη και πιο εύλογη λύση που θα παρέχει την πιο εύλογη επεξήγηση. Τα ερωτήματα που χρειάζεται να απασχολήσουν τους υπεύθυνους ανάπτυξης ενός διαγνωστικού απαγωγικού συστήματος είναι, πώς σχηματίζονται οι εύλογες λύσεις, ποιό είναι το νόημα μιας εύλογης επεξήγησης και ποιά είναι η καλύτερη λύση προς επιλογή. Τα πιο πάνω ερωτήματα καθώς και η ύπαρξη ισχυρού δεσμού στο διαγνωστικό συλλογισμό μεταξύ του σχηματισμού σημαντικών λύσεων και της αξιολόγησης τους, αποτελούν την ουσία του απαγωγικού συλλογισμού. Υποστηρίζεται ότι ο χρόνος μπορεί πραγματικά να συσχετιστεί με το διαγνωστικό συλλογισμό και ως εκ τούτου πρέπει να αντιμετωπιστεί ως ακέραια πτυχή της γνώσης

και του συλλογισμού ενός διαγνωστικού προβλήματος επίλυσης. Για να γίνει εφικτό το πιο πάνω χρειάζεται να μοντελοποιηθούν όλες οι σχετικές έννοιες ως χρονικά αντικείμενα. Ένα απαγωγικό πλαίσιο το οποίο προτάθηκε [29] για την επίλυση ενός διαγνωστικού προβλήματος χρησιμοποιεί ως φορμαλισμό αναπαράστασης τα χρονικά αντικείμενα. Μέσα από διάφορα ιατρικά πεδία όπως είναι για παράδειγμα οι σκελετικές δυσπλασίες, μπορεί να διαπιστώσει κανείς το πόσο σημαντικός είναι ο χρόνος [29]. Τα χρονικά αντικείμενα, είναι ένας συσχετισμός μεταξύ μιας ιδιότητας και μιας ύπαρξης κατά τον οποίο ορίζεται ένας αριθμός από γενικά κριτήρια αξιολόγησης μέσα από τα οποία ο χρόνος έχει αναπτυχθεί. Στην περίπτωση των σκελετικών δυσπλασιών, οι ενδείξεις για τις οποίες ο χρόνος παίζει πρωτεύοντα ρόλο αποτελούν τα χρονικά αντικείμενα. Ένα παράδειγμα χρονικού αντικειμένου για την πιο πάνω περίπτωση είναι ο εξής συσχετισμός $\langle \text{platyspondyly, from-birth} \rangle$, όπου “platyspondyly” είναι η ιδιότητα και “from-birth” είναι η ύπαρξη. Κάθε ένα από τα βασικά κριτήρια, χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των σημαντικών λύσεων και μπορεί να συνδυαστεί κατάλληλα σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή ώστε να μπορέσει να ορίσει τις εύλογες και τις πιο καλύτερες επεξηγήσεις. Η αναπαράσταση των βασικών κριτηρίων αξιολόγησής χρειάζεται να αναπαριστάται ξεχωριστά και ρητά έτσι ώστε είναι εφικτό να διαφανεί η συνδυασμένη χρήση τους στα διαφορετικά πλαίσια συλλογισμού.

Ο απαγωγικός συλλογισμός βασιζόμενος σε χρονικά αντικείμενα, μοντελοποιεί τις έννοιες (σφάλματα, δυσλειτουργίες, θεραπευτικές ενέργειες, λειτουργικότητα) ως χρονικά αντικείμενα έτσι ώστε να διαμορφώσει μια μεγάλη πτυχή των οντοτήτων αυτού του πεδίου. Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, ένα χρονικό αντικείμενο είναι μια δυναμική οντότητα στην οποία ο χρόνος παίζει καθοριστικό ρόλο και αποτελεί μια συσχέτιση μεταξύ μιας ιδιότητας και μιας ύπαρξης. Τυπικά, ένα χρονικό αντικείμενο έστω τ ορίζεται ως ένα ζευγάρι $\langle \pi\tau, \epsilon\tau \rangle$ όπου $\pi\tau$ είναι η ιδιότητα και $\epsilon\tau$ είναι η συνάρτηση της ύπαρξης. Οι χρονικές υπάρξεις έχουν τη δυνατότητα να εκφραστούν σε σχέση με διαφορετικούς χρονικούς άξονες (χρονικά πλαίσια), με απόλυτους ή σχετικούς όρους και με ή χωρίς αβεβαιότητα. Τα χρονικά αντικείμενα μπορούν να είναι σύνθετα, να αποτελούνται από ένα αριθμό από πιο απλά χρονικά αντικείμενα και να αλληλεπιδρούν με άλλα χρονικά αντικείμενα πχ. μέσω μιας σχέσης αιτιότητας. Ακόμα, μπορούν να αντιμετωπιστούν από διαφορετικές χρονικές ιδιότητες και μέσω των χρονικών, αιτιολογικών και δομημένων σχέσεων τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για

τη ρητή μοντελοποίηση δυναμικών διαδικασιών με φυσικό τρόπο. Επιπρόσθετα, παρέχουν ένα υψηλότερο επίπεδο αφαιρετικότητας σχετικά με τα χρονικά διαστήματα (time-intervals) και τα χρονικά σημεία (time-points) το οποίο διευκολύνει την ακριβή και εννοιολογική μοντελοποίηση της πραγματικότητας. Τέτοιου είδους αφαιρετικότητες αποκαλούνται χρονικές αφαιρετικότητες. Η κεντρική έννοια ενός χρονικού αντικειμένου, προκύπτει από τη χρήση ενός χρονικού άξονα με σκοπό την έκφραση διαφορετικών τύπων περιστατικών όπως για παράδειγμα απλών, ατομικών περιστατικών ή σύνθετων περιστατικών (πχ. περιοδικά περιστατικά ή τάσεις περιστατικών). Ακολουθώντας, τα χρονικά αντικείμενα περιλαμβάνουν τρεις τύπους σχέσεων μεταξύ χρονικών αντικειμένων, τις χρονικές σχέσεις οι οποίες υιοθετήθηκαν και επεκτάθηκαν από το σύνολο που πρότεινε ο Allen [19], τις δομικές σχέσεις, οι οποίες επιτρέπουν τη σύνθεση και αποσύνθεση των χρονικών αντικειμένων και τις αιτιολογικές σχέσεις. Οι πιο πάνω σχέσεις αναπτύχθηκαν έτσι ώστε να είναι εφικτή η έκφραση των πιο πάνω τύπων περιστατικών. Οι δομικές σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων είναι η is-a-component-of με την αντίθετη σχέση contains καθώς και η σχέση variant-component με την αντίθετη σχέση variant-contains. Αντίστοιχα, οι αιτιολογικές σχέσεις είναι η causes, η causality-link και η cause-spec, οι οποίες καθορίζονται σε επίπεδο χρονικών αφαιρετικών αντικειμένων, συγκεκριμένων χρονικών αντικειμένων και αφαιρετικών ιδιοτήτων [30]. Τα χρονικά αντικείμενα όπως επίσης και οι χρονικοί άξονες, μπορεί να είναι αφηρημένα/οι ή και συγκεκριμένα/οι. Για παράδειγμα, τα μοντέλα ασθενειών αποτελούνται από συγκεκριμένα χρονικά αντικείμενα όπως επίσης και τα case histories (ιατρικός φάκελος του ασθενή) αποτελούνται από συγκεκριμένα χρονικά αντικείμενα.

Τα κεντρικά στοιχεία της υιοθετημένης οντολογίας του χρόνου, είναι ο χρονικός άξονας και το χρονικό αντικείμενο τα οποία παρέχουν ένα μοντέλο του χρόνου και αντίστοιχα ένα μοντέλο των περιστατικών [29]. Η πιο πάνω οντολογία, προβλέπει την ομοιόμορφη και απλή ολοκλήρωση της χρονικής, δομικής και αιτιολογικής γνώσης και με την αναγνώριση μιας πρόσθετης θέσης στο χρόνο όσον αφορά τα σχετικά αντικείμενα, μεταχειρίζεται το χρόνο ως ένα σημαντικό στοιχείο της συνολικής αναπαράστασης. Ένας χρονικός άξονας, αντιπροσωπεύει μια περίοδο έγκυρου χρόνου από μια δεδομένη εννοιολογική προοπτική και εκφράζεται ως μια ακολουθία από διακριτές χρονικές τιμές σε σχέση με ένα αρχικό σημείο αναφοράς. Είναι ένας απαγωγικός μηχανισμός για μια

αποτελεσματικότερη εννοιολογική οργάνωση των χρονικών αντικειμένων. Μερικοί τύποι χρονικών αξόνων είναι, ο ατομικός άξονας ο οποίος χρησιμοποιεί μια μονάδα του χρόνου (single granularity) και ο spanning άξονας ο οποίος εκτείνει μια αλυσίδα από άλλους χρονικούς άξονες και χρησιμοποιεί υβριδική μονάδα χρόνου (hybrid granularity). Ένα παράδειγμα ατομικού άξονα είναι η εμβρυική περίοδος και ένα παράδειγμα ενός spanning άξονα, είναι ο συνδυασμός της νηπιακής ηλικίας, της παιδικής ηλικίας, της εφηβείας και της ωριμότητας. Μια εφαρμογή μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα μοναδικό ατομικό άξονα και μια μονάδα του χρόνου ή μια συλλογή από χρονικούς άξονες και πολλαπλές μονάδες του χρόνου.

Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα, ότι ο χρόνος σχετίζεται άμεσα με τα διαγνωστικά προβλήματα και έτσι ο χρονικός συλλογισμός παίζει κεντρικό ρόλο στο σχηματισμό και την αξιολόγηση των σημαντικών διαγνωστικών λύσεων. Ο χρόνος χρειάζεται να αποτελεί μια μεγάλη πτυχή της γνώσης και του συλλογισμού των διαγνωστικών συστημάτων. Σε διαγνωστικά πεδία όπου ο χρόνος κρίνεται πολύ σημαντικός χρειάζεται η ρητή αναπαράσταση του με ολοκληρωμένο τρόπο. Η χρήση των χρονικών αντικειμένων ως το κεντρικό στοιχείο αναπαράστασης, βοηθά στη συμπερίληψη του χρόνου. Επιπλέον, η μοντελοποίηση του χρόνου βοηθά στον πιο ακριβή σχηματισμό των σημαντικών λύσεων καθώς και την πιο ακριβή αξιολόγησή τους. Στον απαγωγικό συλλογισμό, η ανάγκη παραγωγής μιας λύσης η οποία θα αποτελεί την καλύτερη επεξήγηση των παρατηρήσεων αποτελεί την ουσία του απαγωγικού συλλογισμού και φανερώνει το πόσο σημαντικά είναι τα κριτήρια αξιολόγησης. Τα κριτήρια αυτά, χρειάζεται να αναπαριστώνται ξεχωριστά και ρητά έτσι ώστε να επιτρέπεται η ξεκάθαρη συνδυαστική τους χρήση σε διαφορετικά πλαίσια συλλογισμού. Με αυτόν τον τρόπο, επιτρέπεται ο σχηματισμός διαφορετικών εννοιών για το ποιές πρέπει να θεωρούνται εύλογες και καλύτερες επεξηγήσεις. Η μηχανοποίηση του διαγνωστικού συλλογισμού ως ειδική περίπτωση της συμπερασματικής απαγωγής, έχει λάβει ιδιαίτερη προσοχή εντός της κοινότητας της Τεχνητής Νοημοσύνης και συνεχίζει να παρέχει γόνιμο έδαφος προς έρευνα [22].

2.7 Διαχωρισμός και συσχετισμός των πιο πάνω εννοιών

Η διάγνωση βασισμένη στη συνέπεια λοιπόν, με βάση τον Reiter, είναι ένα ελάχιστο σύνολο από δυσλειτουργίες έτσι ώστε οι παρατηρήσεις να είναι συνεπείς με όλα τα άλλα συστατικά μέρη που ενεργούν φυσιολογικά. Η απαγωγική διάγνωση είναι ένα ελάχιστο σύνολο από υποθέσεις η οποία, με τη βοήθεια της γνώσης υπόβαθρου συμπεραίνει τις παρατηρήσεις. Η κύρια διαφορά είναι ότι, στην απαγωγή οι διαγνώσεις συνεπάγονται τις παρατηρήσεις, ενώ στο μοντέλο βασισμένο στη συνέπεια οι παρατηρήσεις συνεπάγονται τις διαξεύξεις των διαγνώσεων. Όπως θα ανέμενε κανείς, το είδος της γνώσης που πρέπει να διευκρινιστεί για την κάθε περίπτωση διάγνωσης είναι διαφορετικό. Ο Poole [46] υποστηρίζει ότι οι απαγωγικές και βασισμένες στη συνέπεια προσεγγίσεις απαιτούν διαφορετική γνώση αλλά λαμβάνουν τις ίδιες διαγνώσεις. Επιπλέον, όταν υποθέτουμε την απουσία των σφαλμάτων στην απαγωγική διάγνωση και στη διάγνωση βασισμένη στη συνέπεια, αν δεν υπάρχουν πληροφορίες για σφάλματα, πρέπει να διαχειριζόμαστε την δυσλειτουργία σαν ένα σφάλμα. Όσον αφορά τις παρατηρήσεις που προκύπτουν, η διάγνωση βασισμένη στη συνέπεια χρειάζεται τις παρατηρήσεις της στην πρώτη μορφή ενώ η απαγωγική διάγνωση τις χρειάζεται στη δεύτερη μορφή. Επιπρόσθετα, μπορούν και τα δύο μοντέλα να διαχειριστούν ιεραρχικά μοντέλα. Ωστόσο, αν το ένα μοντέλο είναι καλύτερο κατά κάποιο τρόπο από το άλλο, αυτό αποτελεί ένα ανοιχτό ερώτημα. Όσον αφορά τις επιστημολογικές υποθέσεις για τη διάγνωση βασισμένη στη συνέπεια, χρειάστηκε ρητά να γίνει μια πλήρης υπόθεση γνώσης. Χρειάστηκε να δηλωθεί ρητά ότι τα γνωστά σφάλματα καλύπτουν όλα τα πιθανά σφάλματα. Δυστυχώς, αυτό συνήθως είναι λάθος. Φυσικά, είναι μια υπόθεση που γίνεται για να κατασκευαστεί η βάση γνώσης, αλλά είναι ανεπιτυχείς καθώς χρειάζεται να δηλωθεί η γνώση που είναι γνωστή γνωρίζοντας ότι είναι λανθασμένη. Για την απαγωγική διάγνωση δεν χρειάζεται να κάνει κανείς μια πλήρη υπόθεση γνώσης σαν μέρος της βάσης γνώσης. Αν θέλουμε να ερμηνεύσουμε το σύνολο των διαγνώσεων ως το σύνολο όλων των πιθανών προβλημάτων, δημιουργείται έτσι μια πλήρης υπόθεση του κλειστού κόσμου για τη βάση γνώσης και δεν είναι μέρος της βάσης γνώσης. Μια άλλη διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στα δύο μοντέλα είναι για τις προσδοκώμενες παρατηρήσεις. Στην απαγωγή, αν πάρουμε μια παρατήρηση που δεν ήταν προσδοκώμενη, δεν υπάρχει διάγνωση καθώς δεν μπορούμε ποτέ να συμπεράνουμε αυτήν την παρατήρηση. Στη διάγνωση βασισμένη στη συνέπεια, οι μη

προσδοκώμενες παρατηρήσεις δεν λαμβάνονται υπόψη καθώς δεν θα είναι μη συνεπής με οποιοδήποτε σύνολο υποθέσεων και είναι ανίκανες να εντοπίσουν πότε η γνώση του συστήματος δεν είναι επαρκής για να δικαιολογήσει τη συγκεκριμένη παρατήρηση. Μια τελευταία διαφορά ανάμεσα στις δύο πιο πάνω μεθόδους είναι στον τρόπο της υλοποίησής τους. Στη διάγνωση βασιζόμενη στη συνέπεια [48,16] μπορεί κανείς να συλλέγει υποθέσεις κανονικής λειτουργικότητας και απουσίας σφαλμάτων. Όταν μια αντίφαση παρουσιαστεί, γνωρίζουμε ότι προκύπτουν μερικά σφάλματα τα οποία προσπαθούμε να αποκλείσουμε αποδεικνύοντας την άρνησή τους. Στην απαγωγική μέθοδο, μπορεί κανείς να συλλέξει τις υποθέσεις που χρειάζονται για να αποδείξει τους στόχους. Προσπαθούμε να αποκλείσουμε τα σφάλματα προσπαθώντας να αποδείξουμε την άρνηση των σφαλμάτων.

Όπως αναφέρθηκε στην υποενότητα 2.5 αυτού του κεφαλαίου δύο επικρατούσες εφαρμογές που υπάρχουν στη διάγνωση βασιζόμενη σε μοντέλο είναι η διάγνωση βασιζόμενη στη συνέπεια [48] και η απαγωγική διάγνωση. Όλες οι προσεγγίσεις υποθέτουν ότι υπάρχει διαθέσιμο ένα μοντέλο του συστήματος. Αυτό το μοντέλο μπορεί να σχετίζεται με τη λειτουργική συμπεριφορά του συστήματος ή με τη μη λειτουργική συμπεριφορά του ή μπορεί ακόμα να σχετίζεται και με τα δύο. Ένα μεγάλο πρόβλημα της διάγνωσης βασιζόμενης σε μοντέλο είναι η εύρεση του σωστού τρόπου αφαιρετικότητας της συμπεριφοράς ενός συστήματος το οποίο θα μοντελοποιηθεί. Το θέμα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς ένα από τα πλεονεκτήματα των συστημάτων βασιζόμενων σε μοντέλο είναι ότι μπορούν να βασιστούν πάνω στο ίδιο μοντέλο ενός συστήματος για διαφορετικές εργασίες συλλογισμού αλλά δυστυχώς εξαρτάται από την εργασία η επιλογή της σωστής αφαιρετικότητας και του σωστού μοντέλου.

2.8 Υπόθεση Μοναδικού Σφάλματος (Single point of failure assumption)

Συνήθως, ένα ‘μοντέλο’ στη διάγνωση που βασίζεται στη συνέπεια αναφέρεται στη θεωρία που διέπει μια λειτουργία και τη σωστή συμπεριφορά. Η λογική για την κατασκευή ενός διαγνωστικού συστήματος με βάση την πιο πάνω αρχή, είναι ότι αυτή η πληροφορία είναι συχνά άμεσα διαθέσιμη μέσω του σχεδιασμού του συστήματος σε αντίθεση με τη γνώση αναφορικά με τα σφάλματα και τις ενδείξεις τους, η οποία εν

μέρει μπορεί να είναι πιο δύσκολο να αποκτηθεί καθώς απαιτεί κάποια εμπειρία με τη συσκευή. Οι απαγωγικές εφαρμογές στη διάγνωση, υποθέτουν την ύπαρξη των μοντέλων ενός σφάλματος, δηλαδή τη γνώση αναφορικά με τα πιθανά σφάλματα ενός συστατικού στοιχείου και των επιπτώσεων της συμπεριφοράς του. Αντιθέτως, οι εφαρμογές οι οποίες βασίζονται στη συνέπεια δεν υποθέτουν αυτή τη μορφή γνώσης η οποία δημιουργεί ένα πρόβλημα και μια ευκαιρία. Το πρόβλημα είναι ότι, χωρίς τα μοντέλα σφάλματος μπορούν να υπάρξουν περισσότερες από τις απαραίτητες διαγνώσεις. Αντίστοιχα, η ευκαιρία είναι ότι υπάρχουν διαφορετικά είδη γνώσης αναφορικά με τα σφάλματα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ατομικά ή μαζί με οποιαδήποτε εφαρμογή διάγνωσης βασισμένη στη λογική.

Ένα διαγνωστικό σύστημα λειτουργεί κάτω από την υπόθεση του μοναδικού σφάλματος, αν σε οποιοδήποτε χρόνο, οποιαδήποτε διαγνωστική λύση περιλαμβάνει το πολύ ένα διαγνωστικό προκείμενο. Αυτό σημαίνει ότι, οι εστιασμένες δυσλειτουργίες έχουν μια μοναδική αιτία [29].

Ένα χρήσιμο κριτήριο για τον έλεγχο μιας διαγνωστικής διαδικασίας είναι η συγκέντρωση σε μικρά υποψήφια σύνολα και συγκεκριμένα σε μοναδικά σφάλματα. Τα μοντέλα σφαλμάτων μπορούν να υποστηρίξουν αρκετά καλά ένα τέτοιο σύστημα ελέγχου. Για παράδειγμα, εάν κάθε μοντέλο σφάλματος ενός συστατικού στοιχείου, C, δεδομένων κάποιων παρατηρήσεων, έρχεται σε αντιπαράθεση με την ορθότητα της υπόθεσης ενός τουλάχιστο άλλου συστατικού στοιχείου τότε, το σφάλμα του C από μόνο του δεν μπορεί να εξηγήσει τις παρατηρήσεις και έτσι το C δεν είναι υποψήφιο για ένα μοναδικό σφάλμα. Τα διαγνωστικά συστήματα που κάνουν διάγνωση των μοναδικών σημείων σφαλμάτων, παράγουν ένα σύνολο από μοναδικά σημεία ύποπτων σφαλμάτων και αργότερα προσπαθούν να εξαλείψουν κάθε υποψία. Οποιαδήποτε υποψία που δεν μπορεί να εξαλειφθεί αναφέρεται στο χρήστη.

2.9 Υπόθεση Πολλαπλών Σφαλμάτων (Multiple points of failure assumption)

Μέχρι τώρα, τα περισσότερα προτεινόμενα διαγνωστικά συστήματα βασίζονται στην υπόθεση του μοναδικού σφάλματος. Ωστόσο, στην περίπτωση της κλινικής διάγνωσης εμφανίζονται συχνά ταυτόχρονα πολλαπλές ασθένειες, ειδικά στην περίπτωση των

ηλικιωμένων ανθρώπων. Έτσι, ένα κλινικά συλλογιστικό σύστημα πρέπει να μπορεί να ανταπεξέλθει με τις περιπτώσεις πολλαπλών ασθενειών. Ένα διαγνωστικό σύστημα λοιπόν, ενεργεί κάτω από την υπόθεση των πολλαπλών σφαλμάτων αν σε οποιοδήποτε χρόνο, οποιαδήποτε διαγνωστική λύση μπορεί να περιλαμβάνει περισσότερα από ένα, ενδεχομένως ανεξάρτητα διαγνωστικά στοιχεία όπως για παράδειγμα, περισσότερα από ένα ανεξάρτητα αιτιολογικά προκείμενα. Επομένως, κάτω από αυτή την υπόθεση, οι εστιασμένες δυσλειτουργίες μπορούν να χωριστούν μεταξύ ξεχωριστών, ανεξάρτητων αιτιών [29].

2.10 Σύνθετες Υποθέσεις

Στα κλινικά πεδία, οι διαγνωστικές υποθέσεις δεν συνεπάγονται όλες τις παρατηρήσεις δυσλειτουργιών αλλά ούτε και επιδεικνύουν πλήρη συνέπεια με ολόκληρη τη σχετική παρελθοντική και τωρινή ιστορία ενός ασθενή. Όσον αφορά τον παραγωγικό διαγνωστικό συλλογισμό, αυτός περιλαμβάνει την παραγωγή και αξιολόγηση των διαγνωστικών υποθέσεων σαν δύο διαφορετικά αλλά στενά συνδεδεμένα βήματα. Ο συλλογισμός εκτελείται κάτω από την υπόθεση μιας μοναδικής ασθένειας ή πολλαπλών ασθενειών, δίνοντας έτσι αφορμή στη δημιουργία απλών ή σύνθετων υποθέσεων. Ο πυρήνας μιας σύνθετης υπόθεσης για ένα συγκεκριμένο ασθενή, κατασκευάζεται με τη συγκέντρωση του συνόλου των δυσλειτουργικών καταστάσεων όπως για παράδειγμα είναι, η πνευμονική ανεπάρκεια και η υπέρταση. Οι πιο πάνω δυσλειτουργικές καταστάσεις αποτελούν τη γενική κλινική εικόνα. Σε αυτόν τον πυρήνα, προστίθενται οι πιθανές αιτίες και οι μηχανισμοί που επιφέρουν τις κλινικές εκδηλώσεις.

Κεφάλαιο 3

Έννοιες που εμπλέκουν το χρόνο στην επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων

3.1	Μοντελοποίηση χρονικών εννοιών	20
3.1.1	Μοντελοποίηση της έννοιας του χρόνου	21
3.1.1.1	Στιγμιότυπα και διαστήματα	21
3.1.1.2	Γραμμικοί, διακλαδωμένοι και κυκλικοί χρόνοι	22
3.1.1.3	Σχεσιακοί και απόλυτοι χρόνοι	22
3.1.1.4	Μοντελοποίηση χρονικών συσχετίσεων	23
3.2	Παράγοντας ‘Χρόνος’ στην επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων	23
3.2.1	Παράγοντας ‘Γνώση’ στην επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων	25
3.3	Χρονικός Συλλογισμός (Temporal reasoning)	27
3.4	Χρονική Απαγωγική Διάγνωση (Temporal abductive diagnosis)	31
3.5	Χρονική Αφαιρετικότητα Δεδομένων (Temporal data abstraction)	33
3.6	Χρονική Αβεβαιότητα (Temporal uncertainty)	37
3.7	Πολλαπλές Μονάδες Χρόνου (Multiple granularity)	39
3.8	Χρονική Συνέπεια (Temporal consistency)	41
3.9	Χρονικοί Περιορισμοί (Temporal Constraints)	42

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια αναφορά στη σημασία της ύπαρξης του χρόνου στην επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων και παρουσιάζονται οι έννοιες ‘μοντελοποίηση του χρόνου’, ‘χρονικός συλλογισμός’, ‘χρονική απαγωγική διάγνωση’, ‘χρονική αφαιρετικότητα δεδομένων’, ‘χρονική αβεβαιότητα’, ‘πολλαπλές μονάδες χρόνου’, ‘χρονική συνέπεια’ και ‘χρονικοί περιορισμοί’.

3.1 Μοντελοποίηση χρονικών εννοιών

Ένας κοινός στόχος αναφορικά με το χρονικό συλλογισμό και συγκεκριμένα τη χρονική αφαιρετικότητα των κλινικών δεδομένων και τη μοντελοποίηση και διαχείριση των κλινικών δεδομένων, είναι ο ορισμός ή η υιοθέτηση ενός συνόλου βασικών εννοιών που επιτρέπει μια περιγραφή από χρονικής άποψης του κλινικού κόσμου με σαφή τρόπο.

3.1.1 Μοντελοποίηση της έννοιας του χρόνου

Για τη μοντελοποίηση του χρόνου με σκοπό τη διαχείριση των χρονικά προσανατολισμένων κλινικών δεδομένων ή την επίτευξη συλλογισμού για αυτά τα δεδομένα, χρειάζεται να γίνουν πολλές βασικές επιλογές ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε πεδίου.

3.1.1.1 Στιγμιότυπα και διαστήματα

Συνήθως, οι έννοιες *χρονικό σημείο* (ή *στιγμιότυπο*) και *χρονικό διάστημα* χρησιμοποιήθηκαν στη βιβλιογραφία της ιατρικής-πληροφορικής για την αναπαράσταση του χρόνου [35]. Αυτές οι έννοιες, συνήθως, σχετίζονται με στιγμιαία περιστατικά (πχ. μυοκαρδιακό έμφραγμα), ή με καταστάσεις που διαρκούν για ένα χρονικό διάστημα (πχ. θεραπεία αποτοξίνωσης από τα ναρκωτικά). Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στον τρόπο συσχέτισης αυτών των εννοιών με κλινικές οντότητες, όπως τα συμπτώματα, τις θεραπείες και τις παθολογίες. Για παράδειγμα, ένα μυοκαρδιακό έμφραγμα, μπορεί να θεωρηθεί ως ένα στιγμιαίο συμβάν σε σχέση με τη συνολική κλινική ιστορία του ασθενούς, ή μια έννοια βασισμένη σε διαστήματα, αν παρατηρείται κατά τη διάρκεια μιας διαμονής του ασθενή στην εντατική μονάδα παρακολούθησης. Για τον καθορισμό των βασικών χρονικών οντοτήτων, συχνά υιοθετούνται τα χρονικά σημεία (πχ., στιγμιότυπα). Τα διαστήματα παρουσιάζονται με τα υψηλότερα και χαμηλότερα όρια τους (αρχικά και τελικά χρονικά σημεία). Πρακτικά, οι περισσότερες εφαρμογές στον τομέα της ιατρικής-πληροφορικής, χρησιμοποίησαν μια προσέγγιση βασισμένη σε χρονικά σημεία, παρόμοια με τα σημεία του McDermott [40], παρά τη χρήση παλαιότερα των χρονικών διαστημάτων όπως

προτάθηκαν από τον Allen [1]. Υπάρχουν πολλές παραλλαγές. Έτσι, ο Shahar [56] καθόρισε ένα σύνολο χρονικών αρχών, τα οποία ονομάζονται *time stamps*. Ωστόσο, επισήμανε ότι τέτοιες τιμές κλινικών παραμέτρων, μπορούν μόνο να διερμηνευτούν με χρονικά διαστήματα, τα οποία ορίζονται σαν διαταγμένα ζευγάρια *time stamps* (συμπεριλαμβανομένων των στιγμιότυπων, τα οποία έχουν μηδενικό μήκος). Συνήθως, τα χρονικά σημεία χαρακτηρίζονται από πιθανές εκτεταμένες ιδιότητες διακριτών αριθμών.

Έτσι, παρατηρούμε δύο κύριες μεθόδους που συσχετίζουν το χρόνο με χρονικές οντότητες. Η πρώτη έχει να κάνει με μία οντότητα που σχετίζεται με στιγμιότυπα καθώς και με οντότητες που σχετίζονται με χρονικά διαστήματα [35] ενώ η δεύτερη συσχετίζει τις κλινικές οντότητες μόνο με μια ορισμένου τύπου χρονική έννοια, συνήθως το χρονικό διάστημα και μπορεί ακόμα να ανταπεξέλθει με ομοιογενή τρόπο με χρονικά διαστήματα που τείνουν να μετατραπούν σε χρονικά μοναδικά διαστήματα.

3.1.1.2 Γραμμικοί, διακλαδωμένοι και κυκλικοί χρόνοι

Διαφορετικές ιδιότητες μπορούν να συσχετιστούν με ένα άξονα χρόνου ο οποίος συντίθεται από στιγμιότυπα. Συνήθως, στις βάσεις δεδομένων οι οποίες στηρίζονται σε κλινικά δεδομένα, ο χρόνος είναι *γραμμικός*. Το σύνολο των χρονικών σημείων είναι εντελώς διαταγμένο [8]. Ωστόσο, για το έργο της διάγνωσης, της προβολής ή της πρόβλεψης (όπως για παράδειγμα την πρόβλεψη μιας κλινικής εξέλιξης κατά τη διάρκεια του χρόνου), είναι χρήσιμος ένας *διακλαδωμένος* χρόνος για να επιτρέπεται η αναπαράσταση πολλαπλών εναλλακτικών εξελίξεων τόσο στο παρελθόν, όσο και στο μέλλον. Ο *κυκλικός* χρόνος χρειάζεται όταν πρέπει να περιγράψουμε επαναλαμβανόμενα περιστατικά, όπως για παράδειγμα «έλεγχος της κανονικής ινσουλίνης κάθε πρωί».

3.1.1.3 Σχεσιακοί και απόλυτοι χρόνοι

Η θέση ενός διαστήματος ή ενός στιγμιότυπου πάνω στον άξονα του χρόνου μπορεί να δοθεί σαν μια απόλυτη θέση, όπως για παράδειγμα η τοποθέτηση του ημερολογιακού χρόνου σε ένα άξονα χρόνου (πχ. «Ταχυκαρδία τον Νοέμβριο, 3 1996»). Αυτή είναι

μια κοινή εφαρμογή που υιοθετήθηκε από μοντέλα δεδομένων υπογραμμίζοντας έτσι τις χρονικές κλινικές βάσεις δεδομένων. Ωστόσο, στην ιατρική είναι επίσης κοινός ο συλλογισμός με σχετικές χρονικές αναφορές όπως είναι για παράδειγμα: «πολλαπλά επεισόδια πονοκεφάλου κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης» ή «συνάχι μετά από ένα μεγάλης διάρκειας περπάτημα». Η ενσωμάτωση καθαρά χρονικά σχετικών, βασισμένων σε διαστήματα πληροφοριών, ειδικά διαζεύξεων όπως για παράδειγμα «ο ασθενής έκανε εμετό πριν ή κατά τη διάρκεια ενός επεισοδίου διάρροιας» μέσα σε ένα πρότυπο μιας χρονικής βάσης δεδομένων, είναι ακόμα δύσκολο έργο. Περισσότερα θα αναφερθούν για αυτό το δύσκολο θέμα όταν θα γίνει αναφορά στη μονάδα του χρόνου (time granularity) και την αβεβαιότητα (uncertainty).

Σχετικές με το θέμα των σχετικών χρόνων (relative times) είναι πολλές προτάσεις οι οποίες υιοθετούν έμμεσα ή άμεσα χρονικά περιεχόμενα, τα οποία υποστηρίζουν την αναπαράσταση συσχετισμένων ή ευαίσθητων στα περιεχόμενα χρονικών κλινικών πληροφοριών ή τη γνώση.

3.1.1.4 Μοντελοποίηση χρονικών σχέσεων

Για τη μοντελοποίηση χρονικών σχέσεων, χρησιμοποιήθηκε ευρέως στην ιατρική-πληροφορική η άλγεβρα του Allen που αφορά τα διαστήματα [22]. Προτάθηκαν επίσης, επεκτάσεις των δεκατριών βασικότερων σχέσεων διαστημάτων του Allen [8]. Οι χρονικές σχέσεις περιλαμβάνουν δύο κύριους τύπους: ποιοτικός (συνάχι πριν από τον πονοκέφαλο) και ποσοτικός (συνάχι δύο ώρες πριν τον πονοκέφαλο). Πολλοί γενικοί φορμαλισμοί και εφαρμογές [16,19] έχουν υιοθετηθεί αποτελεσματικά για την ικανοποίηση των διαφόρων αναγκών που παρουσιάστηκαν για τη μοντελοποίηση των χρονικών σχέσεων σε κλινικά δεδομένα.

3.2 Παράγοντας 'Χρόνος' στην επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων

Ο χρόνος είναι μια σημαντική και κυρίαρχη έννοια στον πραγματικό κόσμο και χρειάζεται να τη διαχειριζόμαστε με πολλούς διαφορετικούς τρόπους κάθε φορά. Για παράδειγμα, διάφορα περιστατικά εμφανίζονται σε μερικά χρονικά σημεία, μερικά γεγονότα επικρατούν για μια χρονική περίοδο και μεταξύ των γεγονότων και/ή

περιστατικών υπάρχουν χρονικές σχέσεις [43]. Ο χρόνος πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν αναπαριστώνται πληροφορίες σε υπολογιστικά συστήματα [7], όταν υπάρχει συζήτηση για πληροφορίες που αφορούν χρονικά χαρακτηριστικά του αναπαριστάμενου πραγματικού κόσμου [59] και όταν γίνεται συλλογισμός για δεδομένα που εμπλέκουν τον χρόνο [42].

Η διαδικασία της επίλυσης ενός διαγνωστικού προβλήματος είναι μια σύνθετη διαδικασία συλλογισμού, ειδικά για τα κλινικά διαγνωστικά προβλήματα. Ο χρόνος είναι πολύ κρίσιμος σε μια κλινική διάγνωση και για αυτό το λόγο θα πρέπει να έχει κεντρικό ρόλο στη διαδικασία συλλογισμού σε σχέση με το σχηματισμό διαγνωστικών υποθέσεων και την αξιολόγησή τους. Χρονικά αστήρικτες υποθέσεις δεν θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη. Η αυτοματοποίηση της διαδικασίας επίλυσης διαγνωστικών προβλημάτων παρουσιάζει μέχρι σήμερα διάφορες προκλήσεις. Μια τέτοια πρόκληση είναι η μοντελοποίηση του χρόνου. Τα κλινικά διαγνωστικά προβλήματα αποτελούν ιδιαίτερη πρόκληση δεδομένης της έμφυτης πολυπλοκότητας της ιατρικής γνώσης και των δεδομένων των ασθενών. Η μοντελοποίηση του χρόνου, επιτρέπει έναν πιο ακριβή σχηματισμό των πιθανών λύσεων. Για παράδειγμα, η παρουσίαση μιας ανωμαλίας, μπορεί να μην είναι διαγνωστικά σημαντική, αλλά το συγκεκριμένο πρότυπο παρουσίας (specific pattern) της να είναι. Επιπλέον, επιτρέπει την πιο ακριβή αξιολόγηση των εξεταζόμενων λύσεων. Για παράδειγμα, η αναμενόμενη εικόνα μιας ασθένειας/δυσλειτουργίας είναι διαφορετική κάθε φορά καθώς εξαρτάται σε πιο στάδιο της εξέλιξης της βρίσκεται.

Στον κλάδο της ιατρικής, ο χειρισμός εννοιών που σχετίζονται χρονικά μεταξύ τους είναι σημαντικός. Κατά τη φάση μιας διάγνωσης θεωρείται σημαντικό να γνωρίζει ο γιατρός τη χρονική σειρά με την οποία εμφανίζονται τα συμπτώματα ή για πόσο καιρό διαρκούν. Για πολλά λοιπόν διαγνωστικά προβλήματα, είναι σημαντικός ο τρόπος των αλλαγών έτσι ώστε να επιτευχθεί μια διάγνωση παρά μια περιγραφή στιγμιότυπων της παρούσας κατάστασης που επικράτησε σε ένα συγκεκριμένο χρόνο. Επιπλέον, η διαδικασία της επίλυσης ενός προβλήματος δεν αποτελεί μια στιγμιαία δραστηριότητα αλλά μια δραστηριότητα που εξελίσσεται κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι γιατί οι πληροφορίες που χρειάζονται για να γίνει μια διάγνωση μπορεί να μην είναι άμεσα διαθέσιμες και ίσως χρειάζεται να παρθούν μέσω

της εκτέλεσης χρονοβόρων διαδικασιών ή απλά κάποιος πρέπει να περιμένει να δει πώς εξελίσσεται η κατάσταση ενός ασθενή πριν να φτάσει σε τελικά συμπεράσματα. Τα ακριβή συμπεράσματα οδηγούν σε αποτελεσματικές θεραπείες. Κρίνεται έτσι σημαντικό να διατυπώνονται διαγνωστικά συμπεράσματα όσο πιο έγκαιρα γίνεται έτσι ώστε να δίνεται αρκετός χρόνος για την εφαρμογή μίας κατάλληλης θεραπείας. Ένα διαγνωστικό πρόβλημα επίλυσης έχει σκοπό να εξηγήσει μια δυσλειτουργία ενός συστήματος (ανθρώπινη ή όχι). Οποιαδήποτε εύλογη διαγνωστική λύση πρέπει να ικανοποιεί κάποια ελάχιστα κριτήρια σχετικά με την εφαρμογή. Συχνά θα υπάρχουν πολλαπλές εύλογες λύσεις και επομένως εφαρμόζονται επιπλέον κριτήρια για να επιλεγεί η καλύτερη επεξήγηση. Μια αποδεκτή λοιπόν διαγνωστική λύση σε ένα πρόβλημα πρέπει να παρέχει μια εύλογη επεξήγηση και πρέπει να είναι η καλύτερη ανάμεσα στις εύλογες λύσεις.

3.2.1 Παράγοντας ‘Γνώση’ στην επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων

Ερευνητικές ομάδες απόδειξαν ότι για την επίλυση προβλημάτων η γνώση παίζει καθοριστικό ρόλο και ότι αποτελεί το θεμέλιο λίθο της τεχνολογίας των έμπειρων συστημάτων, η έναρξη της οποίας χρονολογείται στις αρχές της δεκαετίας του 70. Ο κεντρικός στόχος είναι η αυτοματοποίηση της εξειδικευμένης γνώσης. Η αυτοματοποίηση της γνώσης μέσα στα πλαίσια ευφυών υπολογιστικών συστημάτων συνεπάγεται την αναπαράσταση της με τυπικό, συμβολικό τρόπο. Η γνώση του ανθρώπου δεν είναι στατική αλλά συνεχώς βελτιώνεται μέσω ενημέρωσης και εμπειρίας. Αυτή λοιπόν η ικανότητα του ανθρώπου πρέπει να ενσωματωθεί σε ένα σύστημα βασισμένο στη γνώση (knowledge-based system). Η έρευνα στον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) καλύπτει ένα ευρύ φάσμα θεμάτων. Σε θεωρητικό επίπεδο η έρευνα εστιάζεται κυρίως στην αξιωματοποίηση και αυτοματοποίηση συλλογισμού. Μερικά από τα ειδικά θέματα στα οποία έδειξαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι για παράδειγμα η ανάπτυξη διαφόρων λογισμών για την αναπαράσταση γνώσης και συλλογισμού, όπως είναι για παράδειγμα ο περιγραφικός λογισμός, ο μη αθροιστικός λογισμός, ο λογισμός με πιθανότητες, ο χρονικός λογισμός, κτλ. Συνοψίζοντας, η ευφυΐα χρειάζεται γνώση και η επεξεργασία της γνώσης γίνεται σε συμβολική μορφή. Η γνώση αποτελεί αναπόσπαστο μέρος των συστημάτων TN και έτσι οι τεχνικές της TN είναι μέθοδοι που αξιοποιούν γνώση. Η αναπαράσταση λοιπόν της γνώσης

(knowledge representation) είναι σημαντική για την ΤΝ σε σχέση με τα είδη γνώσης που απαρτίζουν κάποια εμπειρογνωμοσύνη. Οι τέσσερις βασικοί φορμαλισμοί αναπαράστασης της γνώσης είναι η κατηγορηματική λογική, τα δίκτυα συσχέτισης, τα πλαίσια και οι κανόνες παραγωγής. Συγκρίνοντας τα δεδομένα, την πληροφορία και τη γνώση, τα δεδομένα είναι στατικά, πολύ συγκεκριμένα και περιορισμένης χρησιμότητας από μόνα τους, η πληροφορία είναι δυναμική, συνοψίζει δεδομένα, βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο αφαιρετικότητας από τα δεδομένα και είναι συγκεκριμένη, ενώ η γνώση είναι επίσης δυναμική, καθολικής εμβέλειας και βρίσκεται σε πιο αφηρημένο επίπεδο, αφού περιλαμβάνει πεποιθήσεις που επεξηγούν την πληροφορία που εξηγείται από συγκεκριμένα δεδομένα.

Ο λόγος για τον οποίο θέλουμε να αναπαραστήσουμε ένα σώμα γνώσης είναι για να μπορούμε να διεξάγουμε συλλογισμό αναφορικά με αυτή τη γνώση με στόχο την επίλυση σχετικών προβλημάτων. Η ικανότητα λοιπόν αποδοτικού και αποτελεσματικού συλλογισμού κρίνεται εξίσου σημαντική εάν όχι πιο σημαντική από την ικανότητα να εκφράσουμε την εν λόγω γνώση. Είναι σημαντικό η αναπαράσταση να κατανοείται εύκολα από τους ανθρώπους και να επιτρέπει την επιθεώρηση της γνώσης ακόμη και αν κάποιος δεν γνωρίζει πώς αυτή θα χρησιμοποιηθεί. Η σύζευξη ανάμεσα σε ένα συμβολικό τρόπο έκφρασης της γνώσης και ένα σύνολο μηχανισμών συλλογισμού αποτελεί ένα φορμαλισμό αναπαράστασης της γνώσης και για την υλοποίηση του χρειάζεται να δοθεί στο συμβολικό τρόπο έκφρασης τυπική σύνταξη και σημασιολογία. Μια αναπαράσταση γνώσης αξιολογείται με κριτήρια που αφορούν τις πρακτικές και θεωρητικές ιδιότητες της αναπαράστασης. Οι πρακτικές ιδιότητες μιας αναπαράστασης της γνώσης είναι η λογική επάρκεια (δίνονται όλοι οι σημασιολογικοί διαχωρισμοί σε μια αναπαράσταση), η διευκόλυνση συμβολισμού ή αποδοτικότητα απόκτησης που αφορούν την δημιουργία και συντήρηση μιας βάσης γνώσης (πόσο κοντά είναι το συμβολικό επίπεδο της αναπαράστασης με το ιδεατό επίπεδο της γνώσης) και η ευρετική επάρκεια που αφορά τη χρήση της βάσης γνώσης για την επίλυση προβλημάτων (πόσο αποδοτικοί είναι οι μηχανισμοί συλλογισμού της αναπαράστασης). Οι θεωρητικές ιδιότητες μιας αναπαράστασης της γνώσης αφορούν το δυναμικό της μέρος, το μηχανισμό συλλογισμού ή τους κανόνες εξαγωγής συμπερασματικών πορισμάτων. Οι ιδιότητες αυτές καθορίζουν την εγκυρότητα καθώς ένας έγκυρος μηχανισμός συλλογισμού δεν μπορεί να δώσει αναληθή συμπεράσματα από μια αληθή

βάση γνώσης, την πληρότητα όταν μπορεί να εξαχθεί κάθε έγκυρο αποτέλεσμα και την αποφασιστικότητα όταν οποιοδήποτε ερώτημα επαλήθευσης μπορεί να απαντάται θετικά ή αρνητικά. Μια αναπαράσταση μπορεί να είναι περιγραφική ή διαδικασιακή. Σε μια περιγραφική αναπαράσταση περιγράφεται η γνώση για τον “κόσμο”, και ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτή η γνώση δεν είναι σημαντικός. Αντίθετα, σε μια διαδικαστική αναπαράσταση, οι διαδικασίες διατυπώνουν πως χρησιμοποιείται η γνώση και όχι ποιά είναι η γνώση. Ωστόσο, η περιγραφική αναπαράσταση έχει επικρατήσει καθώς τα πλεονεκτήματά της είναι περισσότερα από αυτά της διαδικασιακής.

3.3 Χρονικός Συλλογισμός (Temporal reasoning)

Ο χρονικός συλλογισμός για την πιθανή σειρά των διαφόρων δραστηριοτήτων ή των χρονικών ορίων είναι αναπόφευκτα ένας καθημερινός στόχος στη ζωή μας. Αναλόγως, η έρευνα στον κλάδο της Πληροφορικής που αφορά χρονικά συσχετιζόμενα θέματα αυξάνεται σταθερά τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Στις προηγούμενες γενεές των διαγνωστικών, βασισμένων στη γνώση, συστημάτων, δεν δόθηκε στη χρονική διάσταση η θέση που της άξιζε. Η σχετική τεχνολογία δεν υπήρχε έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί η τόσο σημαντική έννοια του χρονικού συλλογισμού. Σήμερα όμως δεν ισχύει αυτό. Η αναπαράσταση του χρόνου και ο συλλογισμός αποτελούν ερευνητικό πεδίο και τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας έχουν εφαρμοστεί επιτυχώς σε διάφορα προβλήματα. Επιπλέον, η μοντελοποίηση του χρόνου και άρα της αλλαγής χρειάζεται να είναι ένα σημαντικό, αναπόσπαστο στοιχείο της καινούργιας γενεάς των διαγνωστικών συστημάτων που βασίζονται στη γνώση (knowledge-based systems).

Η δυνατότητα συλλογισμού για τον χρόνο και τις χρονικές σχέσεις είναι απαραίτητη για οποιαδήποτε σχεδόν έξυπνη οντότητα που χρειάζεται να πάρει αποφάσεις. Ο πραγματικός κόσμος δεν περιλαμβάνει μόνο στατικές περιγραφές αλλά επίσης δυναμικές διαδικασίες όπως είναι για παράδειγμα οι καταστάσεις που εξελίσσονται και η λήψη μέτρων. Με βάση τις δύο πιο πάνω δυναμικές διαδικασίες, μοντελοποιείται η αλλαγή και κατά συνέπεια ο χρόνος. Ο χρονικός συλλογισμός έχει χρησιμοποιηθεί σε ιατρικά πεδία σαν μέρος μιας μεγάλης ποικιλίας γενικών διεργασιών όπως για παράδειγμα της διάγνωσης (ή, γενικότερα, της αφαιρετικότητας ή της ερμηνείας), του

ελέγχου, της πρόβλεψης, της προβολής και του προγραμματισμού. Οι πιο πάνω διεργασίες είναι συνήθως αλληλοεξαρτώμενες. Η *προβολή* είναι μια διεργασία υπολογισμού των πιθανών επιπτώσεων ενός συνόλου συνθηκών ή ενεργειών, που συχνά δίνονται σαν ένα σύνολο σχέσεων του τύπου «αιτία-επίπτωση». Η προβολή είναι ιδιαίτερα σχετική με τη διαδικασία προγραμματισμού (πχ. όταν χρειαζόμαστε να αποφασίσουμε πώς θα είναι η κατάσταση του ασθενή μετά που θα χορηγήσουμε στον ασθενή ένα συγκεκριμένο φάρμακο του οποίου οι παρενέργειες είναι γνωστές). Η *πρόβλεψη* αφορά την πρόβλεψη συγκεκριμένων μελλοντικών τιμών για διάφορες παραμέτρους, με βάση ένα δεδομένο διάνυσμα παλαιών και ενεργών υπολογιζόμενων χρονοπροσδιοριζόμενων (time-stamped) τιμών. Ο *προγραμματισμός*, αφορά την παραγωγή μιας σειράς ενεργειών για ένα νοσηλευτή, δοσμένης της αρχικής κατάστασης του ασθενή και μιας κατάστασης στόχου, ή ενός συνόλου καταστάσεων, έτσι ώστε αυτή η σειρά ενεργειών να κατορθώσει μια από τις καταστάσεις στόχου του ασθενή. Οι πιθανές ενέργειες είναι συνήθως λειτουργίες με προκαθορισμένες σίγουρες ή πιθανολογικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αυτές οι ενέργειες μπορεί να χρειάζονται ένα σύνολο από διευκολύνσεις προϋποθέσεων για να είναι εφικτές ή αποτελεσματικές. Η επίτευξη μιας κατάστασης στόχου, όπως επίσης και μερικών προϋποθέσεων, μπορεί να εξαρτάται ως ένα σημείο από τη σωστή προβολή των ενεργειών, έτσι ώστε να καθοριστεί αν οι προϋποθέσεις ισχύουν όταν απαιτούνται. Η *ερμηνεία* εμπλέκει την αφαιρετικότητα ενός συνόλου από χρονικά προσανατολισμένα δεδομένα ενός ασθενή, είτε σε ένα ενδιάμεσο επίπεδο κατανοητών χρονικών προτύπων, όπως είναι και στη διεργασία της χρονικής-αφαιρετικότητας ή στη διεργασία ελέγχου, ή στο επίπεδο μιας καθορισμένης διάγνωσης ή ενός συνόλου διαγνώσεων τα οποία εξηγούν ένα σύνολο από γεγονότα και συμπτώματα, ή στη διεργασία μιας διάγνωσης. Η ερμηνεία, αντίθετα με την πρόβλεψη και την προβολή, εμπλέκει συλλογισμό που αφορά παλαιά και τωρινά δεδομένα και όχι μελλοντικά.

Από μεθοδολογικής άποψης, ένα γενικό κριτήριο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν η έρευνα η οποία ταξινομείται εφαρμόζεται στο χρονικό συλλογισμό σε κλινικά δεδομένα είναι το γεγονός αν χρησιμοποιεί μια αιτιοκρατική ή πιθανολογική μέθοδο [25].

Η πιθανολογική μέθοδος τυπικά συσχετίζεται με τις διεργασίες της ερμηνείας ή της πρόβλεψης των time-stamped κλινικών δεδομένων των οποίων οι τιμές επηρεάζονται

από διαφορετικές πηγές αβεβαιότητας [39]. Ο Dagum και οι συνεργάτες του [13, 14] ανέπτυξαν τη Dynamic Network Model (DNMs) μεθοδολογία, μια σύνθεση μοντέλων δικτύου αποφάσεων και κλασικών μοντέλων χρονοσειρών και τα εφάρμοσαν με ενθαρρυντικά αποτελέσματα σε πεδία όπως για παράδειγμα στην πρόβλεψη της έκβασης της πορείας κρίσιμα άρρωστων ασθενών εντατικής παρακολούθησης [13] και στην πρόβλεψη επεισοδίων ασφυξίας σε ασθενείς κατά την διάρκεια του ύπνου τους [14]. Τα αιτιολογικά πιθανολογικά δίκτυα (Causal Probabilistic Networks – CPNs) είναι ένας γραφικός φορμαλισμός, ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως σε πιθανολογικά συστήματα τα οποία εφαρμόζονται σε κλινικά προβλήματα [39]. Πολλές έρευνες εξετάζουν την επέκταση των CPN και άλλων φορμαλισμών, έχοντας υπόψη το χρόνο για κλινικά προβλήματα [37]. Ο Aliferis και άλλοι χρησιμοποίησαν για την ανάλυση της χρονικής αφαιρετικότητας, ένα πλαίσιο το οποίο όρισαν προηγουμένως και ονομάζεται Modifiable Temporal Belief Networks (MTBNs), ενώ ο Ngo και άλλοι προτείνουν μια γλώσσα για την αναπαράσταση χρονικής πιθανολογικής γνώσης εξαρτώμενης από τα συμφραζόμενα, η οποία βασίζεται σε ένα πρότυπο φορμαλισμού για την αναπαράσταση δικτύων πεποιθήσεων.

Με βάση την αιτιοκρατική μέθοδο, χρησιμοποιήθηκαν διάφορα πλαίσια. Μερικά από αυτά βασίζονται σε γνωστούς φορμαλισμούς από τον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης. Μερικοί άλλοι όμως φορμαλισμοί βασίζονται σε *ad-hoc* κανόνες και/ή οντολογίες [26].

Ένα παράδειγμα διαγνωστικού συστήματος υποστήριξης είναι το έμπειρο σύστημα Skeletal Dysplasias Diagnosis (SDD) και το χρονικά συλλογιστικό του πλαίσιο, το οποίο περιγράφεται από την Κεραυνού και τον Washbrook [27]. Το SDD σύστημα είναι σχεδιασμένο για να παρέχει υποστήριξη στη διαδικασία διάγνωσης σκελετικής δυσπλασίας και συνδρόμων. Το χρονικό συλλογιστικό στοιχείο στο σύστημα SDD έχει μια επίπεδη αρχιτεκτονική και είναι ικανό να εξετάζει ευρήματα και χαρακτηριστικά γνωρίσματα έτσι ώστε να παρέχει στο χρήστη υψηλότερου επιπέδου αναπαραστάσεις ευρημάτων και προσδοκιών εύρεσης δυσπλασίας για το συγκεκριμένο ασθενή. Ακόμα και αν το χρονικό πλαίσιο του SDD συστήματος έχει κάπως πρακτικό προσανατολισμό, πρέπει να δοθεί έμφαση [27] στην επιρροή της θεωρίας που εμπλέκει τον υπολογισμό ενός γεγονότος (event calculus theory) [34].

Μια διαφορετική μεθοδολογική προσέγγιση χρονικού συλλογισμού είναι το Case Based Reasoning (CBR). Το CBR είναι ένας ερευνητικός τομέας τα προβλήματα του οποίου σχετίζονται με την απόκτηση του τομέα γνώσης. Τα προβλήματα αυτά αποφεύγονται όταν εξετάζεται μια καινούργια περίπτωση με τη χρήση προηγούμενων γνωστών και λυμένων περιπτώσεων [4]. Η περίπτωση του ασθενή που εξετάζεται και που είναι σχετικά προσιτή, συγκρίνεται με παρόμοιες προηγούμενες περιπτώσεις γενικών και χρονικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων.

Τα τελευταία χρόνια, τέθηκε ως στόχος των κλινικών πεδίων, ένας αριθμός από ερευνητικές προσπάθειες για την επέκταση και τη γενίκευση διαφόρων αποτελεσμάτων και ιδιοτήτων των συστημάτων χρονικού συλλογισμού. Διακρίνονται δύο διαφορετικές μέθοδοι. Η πρώτη μέθοδος αφορά το γεγονός ότι πολλοί ερευνητές προσπαθούν να καθορίσουν ένα γενικό πλαίσιο, έχοντας υπόψη τις διαφορετικές ανάγκες που προκύπτουν από διαφορετικές κλινικές εφαρμογές [56,26,55,24]. Η δεύτερη μέθοδος αφορά το γεγονός ότι άλλοι ερευνητές προσπαθούν αντί της προηγούμενης μεθόδου, να εφαρμόσουν γενικές θεωρίες από το πεδίο του χρονικού συλλογισμού στην περιοχή της τεχνητής νοημοσύνης, όπως για παράδειγμα τον υπολογισμό ενός γεγονότος (event calculus), το συλλογισμό που βασίζεται σε περιπτώσεις, τα χρονικά περιορισμένα δίκτυα και τα δίκτυα πεποιθήσεων έτσι ώστε να επιλύσουν κλινικά προβλήματα [33,11,6] .

Στο χρονικό συλλογισμό υπάρχουν δύο αλληλένδετα θέματα: πώς μοντελοποιείται ο χρόνος και πώς μοντελοποιούνται τα περιστατικά (occurences). Ο όρος ‘περιστατικό’ χρησιμοποιείται με την ευρεία έννοια καθώς καλύπτει γεγονότα, συμβάντα, ενέργειες κτλ. Είναι δύσκολο να διαφοροποιηθούν οι δύο ποιο πάνω τρόποι μοντελοποίησης του χρόνου. Ωστόσο, κρίνεται σημαντική η εύρεση του τρόπου διαφοροποίησης τους. Για να επιτευχθεί αυτό, ο χρόνος πρέπει να αντιμετωπιστεί ως αναπόσπαστο μέρος ενός περιστατικού. Για παράδειγμα, οι χρονικοί περιορισμοί που συσχετίζονται με την εσωτερική δομή των σύνθετων περιστατικών μπορούν μόνο να επεξηγηθούν αν αυτά τα περιστατικά ενσωματώνουν ως σημαντικό στοιχείο το χρόνο. Αν τα περιστατικά (είτε είναι αφαιρετικά είτε πραγματικά) κρίνεται σημαντικό να είναι δυναμικές οντότητες, τότε χρειάζεται να ενσωματώνουν οπωσδήποτε το χρόνο.

Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι, ο χρόνος είναι συχνά μεγάλης σημασίας στην επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων. Η κύρια αρχή είναι όταν ο χρόνος είναι διαγνωστικά σημαντικός, πρέπει να μοντελοποιείται ρητά έτσι ώστε να επιτρέπει την πιο ακριβή διατύπωση και αξιολόγηση των διαγνωστικών λύσεων. Ένα πρόγραμμα θεραπείας κρίνεται αποτελεσματικό όταν τα διάφορα στάδια της θεραπείας εφαρμόζονται με ακριβή σειρά και συχνότητα και για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, μερικές δημοσιεύσεις-κλειδιά που ασχολούνται με το θέμα του χρονικού συλλογισμού για υποστήριξη αποφάσεων υποστηρίζουν ότι, τα τρία σημαντικά στάδια μιας θεραπείας ενός ασθενούς που χρειάζονται υποστήριξη απόφασης είναι η διάγνωση, η πρόγνωση και ο χρονοπρογραμματισμός της θεραπείας. Στο διαγνωστικό συλλογισμό υπάρχει ένας ισχυρός δεσμός μεταξύ του σχηματισμού σημαντικών λύσεων και της αξιολόγησής τους. Αυτή είναι η ουσία του απαγωγικού συλλογισμού.

3.4 Χρονική Απαγωγική Διάγνωση (Temporal abductive diagnosis)

Η χρονική απαγωγική διάγνωση εστιάζεται στην ενσωμάτωση του χρόνου σε ένα απαγωγικό διαγνωστικό πλαίσιο. Η ενσωμάτωση αυτή μπορεί να επιτευχθεί με το χειρισμό του χρόνου ως αναπόσπαστη πτυχή των οντοτήτων που αποτελούν τα επεξεργασμένα στοιχεία των συστημάτων. Οι θεωρίες που περιβάλλουν τη χρονική απαγωγική διάγνωση, στόχο έχουν να δώσουν τις καλύτερες εξηγήσεις για τις μη χρονικές καταστάσεις. Οι περισσότερες προσεγγίσεις στη χρονική απαγωγική διάγνωση, δίνουν έμφαση στην ενσωμάτωση χρονικών περιορισμών στις αιτιολογικές σχέσεις, όπου η διαγνωστική γνώση μοντελοποιείται σε σχέση με ένα μοναδικό αιτιολογικό δίκτυο, ή στην ενσωμάτωση χρονικών περιορισμών στα χρονικά όρια των περιστατικών, όπου η κάθε διαδικασία μοντελοποιείται ξεχωριστά μέσω της δικής της χρονικής γραφικής παράστασης ή του μοντέλου που περιγράφει την κατάσταση (state description model). Η χρονική αβεβαιότητα αναγνωρίζεται ως απαραίτητη πτυχή αναπαράστασης και εκφράζεται είτε με απόλυτο τρόπο (διαστήματα καθυστερήσεων, διάρκειες, ή χρονικοί βαθμοί) είτε με σχετικό τρόπο (διαζεύξεις χρονικών σχέσεων μεταξύ δύο διαστημάτων). Τα περιστατικά σε όλες τις πιο πάνω εφαρμογές αντιμετωπίζονται ως στατικές οντότητες και όχι ως δυναμικές οντότητες που ενσωματώνουν το χρόνο ως μια αναπόσπαστη πτυχή και που αλληλεπιδρούν μεταξύ

τους. Ο χρόνος συνδέεται αόριστα με τα πιο πάνω περιστατικά με την συσχέτιση μιας μη χρονικής οντότητας με ένα χρονικό διάστημα. Δεν εξετάζονται επαναλαμβανόμενα φαινόμενα, περιοδικότητα και χρονικές τάσεις καθώς αυτά απαιτούν την ύπαρξη σύνθετων περιστατικών.

Μια διαφορετική προσέγγιση της χρονικής απαγωγικής διάγνωσης, υποστηρίζει ότι η ουσιαστική χρήση του χρόνου επιτυγχάνεται με τη μοντελοποίηση των σφαλμάτων, δυσλειτουργιών και θεραπευτικών ενεργειών ως χρονικά αντικείμενα. Επιπρόσθετα, υποστηρίζονται τα σύνθετα περιστατικά και προτείνεται η μοντελοποίηση των δυσλειτουργιών σε σχέση με αιτιολογικά δίκτυα χρονικών αντικειμένων [31]. Μια απαγωγική διαγνωστική θεωρία, περιλαμβάνει δυσλειτουργικά μοντέλα για όλες τις γνωστές δυσλειτουργίες που περιλαμβάνονται σε ένα πλαίσιο εφαρμογής. Τυπικά, μια δυσλειτουργία είναι μια μη αισθητή δυσλειτουργία η οποία ανακαλύπτεται σε μια κατάσταση μέσω των αισθητών εκδηλώσεων της, δηλαδή, μέσω των σχετικών της σφαλμάτων. Στο [31], δηλώνεται ως υπόθεση ότι οι δυσλειτουργίες καθορίζουν τις διαγνώσεις. Ένα τυπικό μοντέλο μιας δυσλειτουργίας είναι μία μη κυκλική (acyclic) αιτιολογική δομή η οποία συμπεριλαμβάνει ένα αριθμό από αιτιολογικά μονοπάτια τα οποία προέρχονται από ένα κόμβο που δηλώνει τη δυσλειτουργία και τερματίζει σε εκείνους τους κόμβους που συνήθως δηλώνουν τα φανερά σφάλματα. Συνήθως, οι ενδιάμεσοι κόμβοι σε τέτοιου είδους μονοπάτια δηλώνουν εσωτερικές, μη φανερές, αιτιολογικές καταστάσεις. Η πιο πάνω αιτιολογική δομή εκφράζεται ως μια συλλογή από αφαιρετικά χρονικά αντικείμενα όπου ο κάθε κόμβος αντιστοιχεί σε ένα χρονικό αντικείμενο και το κάθε τόξο αντιστοιχεί στη σχετική περίπτωση της σχέσης 'causes'.

Οι Gamper και Nejd, ανέπτυξαν ένα πλαίσιο βασιζόμενο στη λογική για την αφηρημένη χρονική διάγνωση (Abstract temporal diagnosis -ATD) το οποίο εφαρμόσαν με υποσχόμενα αποτελέσματα στο πεδίο της ηπατίτιδας Β. Το πιο πάνω πλαίσιο, δίνει έμφαση στην αυτόματη παραγωγή αφηρημένων παρατηρήσεων μέσω των χρονικών διαστημάτων από άμεσες παρατηρήσεις σε χρονικά σημεία. Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο του πλαισίου. Ακόμα, πέραν της εφαρμογής πλαισίου για έλεγχο ενός ασθενή, σημαντική είναι η δήλωση της ουσίας της χρονικής αφαιρετικότητας δεδομένων σε διαγνωστικά πλαίσια. Η χρονική λογική του Allen έχει ως πρωτεύον στοιχείο το χρονικό διάστημα και συγκεκριμένα το χωρίς διακοπές χρονικό διάστημα

(convex time-interval). Υποθέτεται μια χρονική γραμμή η οποία αποτελεί μια γραμμική και πυκνή χρονική δομή που είναι απεριόριστη και στις δύο κατευθύνσεις παρελθόν και μέλλον και περιλαμβάνει πραγματικούς αριθμούς. Έτσι, τα διαστήματα έχουν ρητά αρχικά και τελικά σημεία, $[A, T]$. Στην ATD, η διαγνωστική γνώση αναπαριστάται ως ένα σύνολο από περιγραφές μιας διεργασίας, μια από τις οποίες αντιστοιχεί σε λειτουργική συμπεριφορά ενώ οι άλλες αναπαριστούν διαφορετικές δυσλειτουργικές συμπεριφορές. Η ATD είναι ένα απαγωγικό πλαίσιο βασιζόμενο στη λογική, για την παραγωγή επεξηγήσεων και έτσι είναι απαραίτητο να καθορίζει το σύνολο των απαγωγικών στοιχείων, αυτών δηλαδή των κυριολεκτικών που είναι αποδεκτά ως επεξηγήσεις. Μια επεξήγηση για μια πληροφορία ενός ασθενή, είναι μια σύζευξη από απαγωγικά στοιχεία τα οποία μαζί με τη διαγνωστική γνώση, συμπεραίνουν τις αφαιρετικές παρατηρήσεις που δηλώνουν τη δυσλειτουργία και είναι συνεπείς με όλες τις αφαιρετικές πληροφορίες. Τα πιο πάνω, αποτελούν ένα τυπικό, βασισμένο στη λογική ορισμό της διάγνωσης [32].

3.5 Χρονική Αφαιρετικότητα Δεδομένων (Temporal data abstraction)

Ο χρόνος, υπεισέρχεται σε πολλά πεδία ενός ιατρικού προβλήματος καθώς αναγνωρίζεται ως αναπόσπαστο στοιχείο της επίλυσής τους. Ως αποτέλεσμα του πιο πάνω, ο χρόνος σχετίζεται άμεσα με την ιατρική γνώση και τα δεδομένα ενός ασθενή. Σε μερικά πεδία όπως είναι για παράδειγμα, οι διεργασίες μιας αρρώστιας, οι ιατρικοί φάκελοι οι οποίοι περιέχουν το ιστορικό των ασθενών και οι θεραπευτικές ενέργειες, ο χρόνος πρέπει να αντιπροσωπευθεί ρητά και να αποτελεί μέρος τους συλλογισμού. Ο φάκελος ενός ασθενή μπορεί να θεωρηθεί ως μια ιστορική βάση δεδομένων η οποία μπορεί να δώσει πληροφορίες για το παρελθόν, το παρόν ακόμα και προβλέψεις για το μέλλον ενός ασθενή. Μια περισσότερο ρεαλιστική αναπαράσταση λοιπόν, είναι αυτή που θεωρεί τα δεδομένα ενός ασθενή ως χρονικά αντικείμενα όπου, ένα χρονικό αντικείμενο είναι μια συσχέτιση μεταξύ ενός αντικειμένου πληροφορίας και του χρόνου. Η μοντελοποίηση του χρόνου, επιτρέπει έναν ακριβέστερο σχηματισμό πιθανών λύσεων και μια ακριβέστερη αξιολόγηση αυτών των λύσεων. Όταν ο χρόνος μετατραπεί σε μια ρητή και έμφυτη διάσταση των δεδομένων ενός ασθενή και της ιατρικής γνώσης τότε παίζει έναν κεντρικό ρόλο στην αφαιρετικότητα δεδομένων εξού και το όνομα της χρονικής αφαιρετικότητας δεδομένων.

Οι αφαιρετικότητες για τις οποίες ο χρόνος παίζει κεντρικό ρόλο αποκαλούνται χρονικές αφαιρετικότητες. Ο παράγοντας χρόνος προσθέτει μια καινούργια πτυχή πολυπλοκότητας στην παραγωγή χρονικών αφαιρετικοτήτων και αποτελεί μια συλλογή χρονοπροσδιοριζόμενων (time-stamped) δεδομένων η οποία σχετίζεται με ένα αφαιρετικό χρονικό στοιχείο. Η χρονική αφαιρετικότητα είναι “εννοιολογική και χρονική αφαιρετικότητα” δηλαδή, πηγαίνει από μια συγκεκριμένη έννοια σε μια περισσότερο αφηρημένη έννοια μεταβαίνοντας από διακριτά χρονικά σημεία (χρησιμοποιούνται στην έκφραση των μη επεξεργασμένων δεδομένων των ασθενών) σε χρονικά διαστήματα. Η χρονική αφαιρετικότητα λοιπόν, μπορεί να αποσυνδεθεί σε εννοιολογική αφαιρετικότητα, πχ., μη χρονική αφαιρετικότητα δεδομένων ακολουθούμενη από χρονική αφαιρετικότητα. Επιπρόσθετα, η χρονική αφαιρετικότητα απαιτεί χρονικό συλλογισμό κοινής λογικής (πχ. χειρισμός των πολλαπλών μονάδων του χρόνου και των χρονικών σχέσεων όπως είναι για παράδειγμα, οι χρονικές σχέσεις ‘πριν’, ‘επικαλύψεις’, ‘διάζευξη’ κτλ.).

Η διαδικασία της χρονικής αφαιρετικότητας δεδομένων, παίρνει μη επεξεργασμένα ή προ-επεξεργασμένα δεδομένα σαν εισόδους και παράγει συμφραστικά εξαρτώμενες και ποιοτικές αναπαραστάσεις οι οποίες βασίζονται στο χρονικό διάστημα. Η πιο πάνω διαδικασία, χρειάζεται έτσι ώστε οι συμβολικές στρατηγικές συλλογισμού να είναι σε θέση να προχωρήσουν και να αποτελέσουν ένα πρώτο σημείο εισόδου για γνώση μέσα σε ένα σύστημα ανάλυσης δεδομένων. Με τον πιο πάνω τρόπο, οι χρονικές αφαιρετικότητες μπορούν αργότερα να ερμηνευτούν ως το ταίριασμα έναντι προ-καθορισμένων προτύπων ή οδηγιών [54,8,21] ή να αιτιολογηθούν σε υψηλότερο πλαίσιο. Ο Shahar [57], καθορίζει το έργο της χρονικής αφαιρετικότητας ως μια διαδικασία η οποία, δεδομένου ενός συνόλου χρονοπροσδιοριζόμενων (time-stamped) παραμέτρων, εξωτερικών γεγονότων και στόχων για αφαιρετικότητα, παράγει αφαιρετικότητες δεδομένων οι οποίες ερμηνεύουν παλαιές και σημερινές καταστάσεις και τάσεις σχετικές με το δεδομένο σύνολο εργασιών. Έτσι, η χρονική αφαιρετικότητα, προς το παρόν, προσελκύει ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον ως μια θεμελιώδης ενδιάμεση διαδικασία συλλογισμού για την ευφυή διερμηνεία χρονικών δεδομένων προς υποστήριξη εργασιών όπως για παράδειγμα της διάγνωσης, του ελέγχου κτλ. Μερικά παραδείγματα σημαντικών τύπων χρονικής αφαιρετικότητας είναι τα πιο κάτω. Ένας τύπος χρονικής αφαιρετικότητας είναι η αφαιρετικότητα συγχώνευσης (merge

abstraction) ή αλλιώς αφαιρετικότητα κατάστασης (state abstraction) κατά την οποία στόχος είναι η εξόρυξη μεγίστων διαστημάτων πάνω στα οποία δεν υπάρχει καμία αλλαγή στην κατάσταση μερικών παραμέτρων επομένως, ισχύει μια ενοποιησιμη ιδιότητα. Επιπλέον, αυτός ο τύπος χρονικής αφαιρετικότητας, παρουσιάζει ευαισθησία στα διάφορα πλαίσια αναφοράς (context-sensitive). Ακολουθώς, η αφαιρετικότητα εύλογης ύπαρξης (persistence abstraction) είναι ένας άλλος τύπος χρονικής αφαιρετικότητας που στόχο έχει πάλι την εξόρυξη μεγίστων διαστημάτων για τα οποία ισχύει κάποια ιδιότητα. Για κάθε ιδιότητα υπάρχει μόνο ένα δεδομένο που την αφορά. Η αφαιρετικότητα εύλογης ύπαρξης είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για δεδομένα στα οποία υπάρχουν κενά για οποιοδήποτε λόγο και παρουσιάζει ευαισθησία στα διάφορα πλαίσια αναφοράς. Επιπλέον, υπάρχει η αφαιρετικότητα τάσης (trend abstraction) που στόχο έχει την παραγωγή σημαντικών αλλαγών στην πορεία εξέλιξης κάποιας παραμέτρου και του ρυθμού με τον οποίο αυτές γίνονται. Τέλος, υπάρχει η αφαιρετικότητα περιοδικότητας κατά την οποία παράγονται επαναλαμβανόμενα περιστατικά με αξιόπιστο τρόπο και με κάποια τακτικότητα στο μοτίβο της επανάληψης. Χαρακτηρίζεται από το επαναληπτικό στοιχείο δηλαδή, το περιστατικό σύνθετο ή απλό του οποίου η εμφάνιση επαναλαμβάνεται, το μοτίβο επανάληψης που είναι στην ουσία ένας αλγόριθμος που όταν του δοθεί κάποιο στιγμιότυπο ύπαρξης του επαναληπτικού στοιχείου καθορίζει την επόμενη εμφάνιση του και το μοτίβο προόδου που είναι μια περιγραφή του τρόπου με τον οποίο οι επαναλήψεις της εμφάνισης του επαναληπτικού στοιχείου εξελίσσονται.

Η αφαιρετικότητα δεδομένων ασχολείται με την ευφυή διερμηνεία δεδομένων των ασθενών κατά τρόπο συμφραστικά εξαρτώμενο και την παρουσίαση τέτοιων διερμηνειών σε μια οπτική ή συμβολική μορφή, όπου η χρονική διάσταση είναι πρωταρχικής σπουδαιότητας. Πρόσφατα, οι μέθοδοι χρονικής αφαιρετικότητας δεδομένων αφορούν κυρίως την διερμηνεία χρονικών δεδομένων (χρονική αφαιρετικότητα δεδομένων) όπου χρονικές τάσεις και περισσότερο σύνθετα χρονικά πρότυπα αποτελούν τους κύριους τύπους τέτοιων αφαιρετικοτήτων. Η ποιοτική αξιολόγηση των πιο πάνω μεθόδων, βασίζεται στην απόδοση καθώς ο πρωταρχικός τους στόχος είναι η διαδικτυακή υποστήριξη αποφάσεων. Για παράδειγμα, τίθεται το ερώτημα αν μια μέθοδος παρέχει επαρκή στήριξη για το διαγνωστικό συλλογισμό. Από αυτή λοιπόν την άποψη, η απεικόνιση των δεδομένων είναι υπερβολικά σημαντική

στην υποστήριξη δημιουργίας αποφάσεων ακόμα και ανεκτίμητη για την επιτυχή εκτέλεση ενός προβλήματος επίλυσης μιας εργασίας. Επιπλέον, η ανίχνευση σύνθετων μοντέλων μέσα στα δεδομένα ενός χρήστη απαιτεί υψηλότερα επίπεδα χρονικής αφαιρετικότητας σε σχέση με τα υφιστάμενα επίπεδα χρονικής αφαιρετικότητας [60]. Η χρονική αφαιρετικότητα, προσφέρει τα μέσα για την επίτευξη ακριβών ποιοτικών περιγραφών δεδομένων. Οι πιο πάνω περιγραφές μπορούν αργότερα να χρησιμοποιηθούν σαν είσοδοι σε μια μηχανή συλλογισμού όπου αξιολογούνται έναντι μιας βάσης γνώσεων έτσι ώστε να καταλήξουν σε κλινικές υποθέσεις. Κύριος στόχος μιας χρονικής αφαιρετικότητας δεδομένων, είναι η μετατροπή των δεδομένων ενός ασθενή από ένα χαμηλό επίπεδο ποσοτικής μορφής στο οποίο συνήθως βρίσκονται, σε υψηλότερου επιπέδου ποιοτικές περιγραφές οι οποίες είναι πιο κοντά στη γλώσσα των νοσοκομειακών γιατρών [61]. Όπως η Miksch και οι υπόλοιποι συγγραφείς [41] αναφέρουν, όταν τα δομημένα-λειτουργήσιμα μοντέλα δεν είναι πολύ κατανοητά, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση της ιατρικής, είναι σχεδόν αδύνατο να κατασκευαστούν ποσοτικά μοντέλα για σκοπούς ανάλυσης. Επιπλέον, το περιεχόμενο της ανάλυσης αλλάζει λόγω της αλλαγής των φαρμάκων και της προόδου των καταστάσεων μιας ασθένειας, εννοώντας ότι οι τιμές των δεδομένων που θεωρούνταν φυσιολογικές σε κάποια στιγμή στο χρόνο ή σε ένα συγκεκριμένο περιεχόμενο, μπορεί να είναι μη φυσιολογικές σε ένα άλλο.

Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι, λόγω του μεγάλου όγκου ιατρικών δεδομένων τα οποία περιλαμβάνουν διαφορετικές συχνότητες παρατηρήσεων, διαφορετικές τακτικότητες, διαφορετικούς τύπους και θόρυβο καθώς και λόγω του κενού που υπάρχει μεταξύ συλλογής και κατανόησης δεδομένων, υπάρχει έντονη ανάγκη για εύρεση εργαλείων και μεθοδολογιών επεξεργασίας και μετασχηματισμού δεδομένων, αλλά, αντίστοιχα και για εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών από δεδομένα και παρουσίαση τους σε αφαιρετικό επίπεδο. Οι αφαιρετικότητες δεδομένων είναι περιγραφές ιατρικών δεδομένων των ασθενών σε τέτοιο επίπεδο που να είναι κοντά στο επίπεδο γνώσης των ιατρών και έτσι η διαδικασία της αφαιρετικότητας δεδομένων βασίζεται στη γνώση και χρησιμοποιεί ευρετικές μεθόδους για την παραγωγή των αφαιρετικοτήτων. Έτσι, οι μέθοδοι αφαιρετικότητας δεδομένων προορίζονται για την υποστήριξη συγκεκριμένων δραστηριοτήτων που βασίζονται στη γνώση για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων (διερμηνεία δεδομένων, διάγνωση, έλεγχος, κτλ) με

την εξαγωγή χρήσιμων αφαιρετικοτήτων από τα ακατέργαστα, συνήθως αριθμητικά δεδομένα. Αντίστοιχα, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη χρονική αφαιρετικότητα δεδομένων αντιπροσωπεύουν μια σημαντική υποομάδα όπου τα επεξεργασμένα δεδομένα είναι χρονικά. Η παραγωγή αφαιρετικοτήτων γίνεται συχνά κατά τρόπο συμφραστικά εξαρτώμενο ή/και κατανεμημένο και ισχύει για τις συνεχείς παροχές των δεδομένων. Χρήσιμοι τύποι χρονικών αφαιρετικοτήτων είναι οι τάσεις, τα περιοδικά συμβάντα και άλλα χρονικά πρωτότυπα. Οι χρονικές αφαιρετικότητες μπορούν να ανακαλυφθούν μέσω μιας απεικόνισης. Η αφαιρετικότητα μπορεί να εκτελεσθεί πάνω σε μία μοναδική περίπτωση όπως για παράδειγμα, σε ένα μοναδικό ασθενή ή πάνω σε συλλογή περιπτώσεων.

3.6 Χρονική Αβεβαιότητα (Temporal uncertainty)

Ο χρονικός συλλογισμός με αβεβαιότητα έχει λάβει αυξανόμενη σημασία κατά τη διάρκεια των προηγούμενων χρόνων. Ο συλλογισμός με αβέβαιες χρονικές πληροφορίες και αβέβαια γεγονότα είναι μια διαδικασία που με δυσκολία μπορεί να εξετάσει κανείς. Με τον όρο χρονική αβεβαιότητα, αναφερόμαστε στην ανακρίβεια που υπάρχει στη μέτρηση του χρόνου σε σχέση με δεδομένα και ιατρική γνώση. Πολλές εφαρμογές χρειάζονται τη ρητή αναπαράσταση των αβέβαιων γεγονότων καθώς και της χρονικής αβεβαιότητας. Ένα παράδειγμα χρονικής αβεβαιότητας στο ιατρικό πεδίο είναι, όταν ένας ασθενής μπορεί να δώσει πληροφορίες για συμπτώματα μιας ασθένειας από την οποία παλαιότερα υπέφερε και οι πληροφορίες αυτές να μην είναι χρονολογικά ακριβείς.

Η χρονική αβεβαιότητα (ανακρίβεια σε σχέση με το χρόνο μιας μέτρησης) αφορά την εμφάνιση μιας πρότασης στο χρόνο σε αντίθεση με την αβεβαιότητα σε γεγονότα (ανακρίβεια που υπάρχει σε μια μέτρηση) η οποία αφορά τα διαθέσιμα στοιχεία που υπάρχουν για μια πρόταση. Είναι επιθυμητό να γνωρίζει κανείς σε ποιο βαθμό μια πρόταση θεωρείται αβέβαιη ως αποτέλεσμα της αβεβαιότητας των γεγονότων που συμβαίνουν και σε ποιο βαθμό εμπλέκεται η χρονική αβεβαιότητα. Με άλλα λόγια, είναι επιθυμητή η ρητή αναπαράσταση της αβεβαιότητας γεγονότων καθώς και της χρονικής αβεβαιότητας. Επομένως, όταν γίνεται συλλογισμός χρησιμοποιώντας το χρόνο, όλες οι καθορισμένες προτάσεις σε ένα σύστημα πρέπει να εξαρτώνται από το

χρόνο. Για παράδειγμα, η πρόταση ‘χρώμα(σπίτι)’ μετατρέπεται σε ‘χρώμα(σπίτι στο χρόνο t1)’, με τον τρόπο αυτό όλες οι προτάσεις τοποθετούνται στο χρόνο. Σύμφωνα με το άρθρο [17], στόχος είναι η ανεξάρτητη αναπαράσταση της αβεβαιότητας που αφορά το χρόνο με αυτής που αφορά τα γεγονότα και ο συσχετισμός αυτών των αβεβαιοτήτων με μια σχέση. Οι χρονικά αβέβαιες πληροφορίες καθώς και τα αβέβαια γεγονότα θα ονομάζονται χρονικά αντικείμενα. Επιπλέον, η πιο πάνω αναπαράσταση θα πρέπει να υποστηρίζει τον ορισμό χρονικά αβέβαιων σχέσεων όπως είναι για παράδειγμα, οι σχέσεις ‘κάπως μετά/πριν’ και την αναφορά σε αβέβαια γεγονότα.

Η χρονική αβεβαιότητα, αναγνωρίζεται ως μια απαραίτητη πτυχή αντιπροσώπευσης η οποία εκφράζεται είτε με απόλυτο τρόπο (σειρές για τις καθυστερήσεις, διάρκειες ή χρονικά μεγέθη), είτε με σχετικό τρόπο (διάξευξη των χρονικών σχέσεων μεταξύ δύο χρονικών διαστημάτων) και αφορά δεδομένα και κατά επέκταση την ιατρική γνώση. Ένα παράδειγμα της απόλυτης χρονικής αβεβαιότητας, είναι το σύνδρομο της δυσμορφίας Morquio το οποίο αναμένει ότι η άνω επίφυση μηριαίου οστού ήταν επίπεδη από την ηλικία περίπου των 2 χρονών μέχρι την ηλικία περίπου των 10 χρονών και ότι η οστεοποίηση του άνω μηριαίου οστού θα απουσίαζε από την ηλικία περίπου των 10 χρονών μέχρι περίπου την ηλικία των 15 χρονών [28]. Αντίστοιχα παραδείγματα σχετικής αβεβαιότητας είναι αυτό της σκελετικής δυσπλασίας ‘Metatropic Dwarfism’ κατά το οποίο ο θώρακας αναμένεται να είναι στενός από τη γέννηση μέχρι την εμφάνιση του περιστατικού της κυφοσκολίωσης και από έπειτα και μετά αναμένεται να εμφανίζεται σχετικά φυσιολογικός καθώς επίσης και το γεγονός ότι η διάρκεια ενός επεισοδίου είναι μεν καθορισμένη όμως η έναρξή του εκφράζεται σε σχέση με άλλα επεισόδια [28]. Ένα διάστημα λοιπόν, έστω το $I=[I-,I+]$, είναι ένα μη κενό, κυρτό σύνολο από χρονικά σημεία όπου το $I-$ είναι η ελάχιστη επέκταση και $I+$ είναι η μέγιστη επέκταση. Στην περίπτωση που το $I-$ ισοδυναμεί με το $I+$, δηλαδή, $I- = I+$, τότε δεν υπάρχει αβεβαιότητα.

Οι περισσότερες προσεγγίσεις που εξετάζουν την αβεβαιότητα στο χρονικό συλλογισμό, αρχίζουν είτε με τυπικές χρονικές θεωρίες είτε με ασαφή λογική (fuzzy logic). Συχνά, η κύρια προσπάθεια που γίνεται σε ένα συλλογισμό που αφορά τη χρονική αβεβαιότητα, είναι ο περιορισμός των χρονικών σχέσεων μεταξύ γεγονότων και συμβάντων. Μελλοντικά, ο στόχος είναι η επίτευξη ενός συνεπούς συνόλου

χρονικών σχέσεων. Έτσι, οι περισσότερες προσεγγίσεις που έχουν να κάνουν με χρονική αβεβαιότητα βασίζονται σε χρονικά δίκτυα και γραφήματα [17].

Συνοψίζοντας, μέσα από τη βιβλιογραφική μελέτη άρθρων, διαπιστώνεται ότι οι χρονικές αναπαραστάσεις δεν αναπαριστούν ρητά τη χρονική αβεβαιότητα και την αβεβαιότητα γεγονότων. Επιπλέον, δεν αντιμετωπίστηκε ο ταυτόχρονος συλλογισμός με αβέβαια γεγονότα και αβέβαιο χρόνο και οι παρούσες χρονικές αναπαραστάσεις δεν επεκτάθηκαν εύκολα έτσι ώστε η αβεβαιότητα για το χρόνο και τα γεγονότα να μπορούν ακόμα να ξεχωρίζουν. Επίσης, η χρονική αναπαράσταση που επιλέχθηκε περιορίζει το συλλογισμό σε σχέση με μερικούς συμπερασματικούς τρόπους. Για την αντιμετώπιση των πιο πάνω προβλημάτων και περιορισμών, κρίθηκε καθοριστική η αναπαράσταση της χρονικής αβεβαιότητας και της αβεβαιότητας γεγονότων με ασαφή χρονικά αντικείμενα. Στα χρονικά αντικείμενα, οι πιο πάνω αβεβαιότητες αναπαριστώνται ξεχωριστά. Επιπλέον, ο συλλογισμός με τη χρήση χρονικών αντικειμένων δεν απαγορεύεται μέσω της αναπαράστασης και η αβεβαιότητα σε γεγονότα και χρόνο μπορεί να προκύψει ξεχωριστά [17].

3.7 Πολλαπλές Μονάδες Χρόνου (Multiple granularities)

Η κατανομή του χρόνου (time-granularity) ή η αναπαράσταση πληροφοριών παίζουν σημαντικό ρόλο στην αυτοματοποίηση των αποφάσεων υποστήριξης σε μια διάγνωση, πρόγνωση ή θεραπεία. Η έννοια της κατανομής του χρόνου είναι πανταχού παρούσα σε κάθε χρονικό σύστημα και οι αποφάσεις που λαμβάνονται σε τέτοιο επίπεδο επηρεάζουν τη λειτουργία του συστήματος. Η κατανομή του χρόνου παρέχει στην ουσία τρόπους για ασφαλή μετατροπή χρονικών αναφορών σε διαφορετικές χρονικές μονάδες. Είτε σε μια διάγνωση είτε σε μια θεραπεία, υπάρχει πάντοτε η ανάγκη συσχέτισης των διαδικασιών που αναπτύσσονται με βάση μια καθορισμένη κατανομή χρόνου με αυτές που αναπτύσσονται με βάση μια διαφορετική κατανομή χρόνου. Στην ιατρική, το πρόβλημα του άνετου και αποτελεσματικού χειρισμού της κατανομής του χρόνου είναι περισσότερο από μια μετατροπή των σχετικών ημερολογιακών μονάδων (calendric-related unit). Για παράδειγμα, μερικές φορές τα συμπτώματα αναγνωρίζονται όταν ένα φαινόμενο εμφανίζεται κάθε μέρα για μια εβδομάδα ή και περισσότερο. Άλλες φορές, ένα φαινόμενο που παρουσιάζεται εδώ και εβδομάδες μπορεί να συνδέεται με

μια εποχή όπως για παράδειγμα όταν γίνεται διάγνωση για υψηλό πυρετό. Για τον καλύτερο χειρισμό της κατανομής του χρόνου σε ιατρικά συστήματα, εισάγονται τα χρονικά-αντικείμενα (time-objects) τα οποία έχουν χρονική ύπαρξη στο σύστημα και είναι εννοιολογικά συγκεντρωμένα μέσω των χρονικών αξόνων. Τα χρονικά αντικείμενα, μέσω των χρονικών, αιτιολογικών και δομικών τους συσχετίσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μοντελοποιήσουν ρητά δυναμικές διαδικασίες με φυσικό τρόπο. Τα χρονικά αντικείμενα λοιπόν, μια συσχέτιση μιας ιδιότητας και μιας ύπαρξης, χρησιμοποιούνται ως ένα πλαίσιο αναπαράστασης και καθορίζεται ένας αριθμός αρχικών γενικών κριτηρίων αξιολόγησης μέσα στον οποίο ο χρόνος έχει ενσωματωθεί. Ένα χρονικό αντικείμενο μπορεί να είναι σύνθετο καθώς μπορεί να αποτελείται από ένα αριθμό πιο απλοποιημένων αντικειμένων. Ξέροντας ότι αποτελεί μια δυναμική οντότητα μπορεί να αλληλεπιδρά με άλλα χρονικά αντικείμενα όπως για παράδειγμα μέσω του συλλογισμού ή της αιτιότητας.

Η μονάδα του χρόνου, είναι ένα εργαλείο αφαιρετικότητας για την αποφυγή συσσώρευσης περιττής λεπτομέρειας ή την απόκρυψη χασμάτων πληροφορίας έτσι ώστε να επιτευχθεί μία αποτελεσματική επίλυση ενός προβλήματος. Οι πολλαπλές μονάδες χρόνου παρέχουν τις προοπτικές για τη διερεύνηση διαφόρων περιστατικών. Για διαφορετικούς τύπους περιστατικών, η κατάλληλη μονάδα του χρόνου μπορεί να είναι διαφορετική και έτσι υπεισέρχεται η ανάγκη για πολλαπλές μονάδες χρόνου οι οποίες είναι γενικά αναγνωρίσιμες. Ένα ανοικτό ερώτημα που τίθεται κυρίως σε ένα μοντέλο ενός περιστατικού, είναι πώς πρέπει να συμπεριληφθεί η πολλαπλότητα των μονάδων του χρόνου. Ο χρόνος για παράδειγμα, μοντελοποιείται σαν μια μοναδική, γραμμική, διακριτή, χρονική γραμμή και είναι εκφραζόμενος σε σχέση με μια μονάδα του χρόνου. Οι ολικές (grosser) μονάδες του χρόνου ορίζονται σε σχέση με αυτή τη μονάδα του χρόνου. Τα περιστατικά εκφράζονται σε σχέση με την πιο εφικτή, απλή μονάδα του χρόνου και τέτοιες εκφράσεις μπορούν να μεταφραστούν σε ολικότερα (grosser) επίπεδα χρησιμοποιώντας τις σχέσεις μεταξύ των διαφορετικών μονάδων του χρόνου. Κατά συνέπεια, η πολλαπλότητα των μονάδων του χρόνου δεν είναι μάλλον όμοια με το μοντέλο του χρόνου ανά δευτερόλεπτο. Στον ιατρικό χρονικό συλλογισμό, η ανάγκη ύπαρξης πολλαπλών μονάδων χρόνου προκύπτει σε σχέση με ένα μοντέλο χρόνου. Οι πολλαπλές μονάδες χρόνου μπορούν να ενσωματωθούν ρητά στο μοντέλο του χρόνου, αν το τελευταίο υποστηρίζει πολλαπλότητα εννοιολογικών χρονικών

πλαισίων όπως για παράδειγμα, πολλαπλότητα ονομαζόμενων χρονικών αξόνων. Η έννοια λοιπόν ενός χρονικού άξονα δίνει μια πλούσια και πολυδιάστατη δομή στο χρόνο με την διευκόλυνση της μοντελοποίησης των εννοιολογικών χρονικών πλαισίων και πολλαπλών μονάδων χρόνου. Επιπλέον, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η ανάγκη χρήσης πολλαπλών μονάδων χρόνου διαφαίνεται κατά τη διαδικασία επίλυσης διαγνωστικών προβλημάτων. Ένα ιατρικό διαγνωστικό σύστημα ίσως χρειαστεί να επιλύσει ένα πρόβλημα σε μια περίοδο η οποία καλύπτει χρονολογικά διαφορετικές διαβουλευτικές περιόδους. Έτσι, για να είναι μια χρονική οντότητα ικανοποιητική για την ιατρική διαγνωστική επίλυση ενός προβλήματος, χρειάζεται να υποστηρίζει περιόδους, χρονική αβεβαιότητα και πολλαπλές μονάδες χρόνου. Τα πιο πάνω χαρακτηριστικά είναι σχετικά με την ιατρική γνώση και τα δεδομένα του ασθενή.

3.8 Χρονική Συνέπεια (Temporal consistency)

Σύμφωνα με το [23], ορίζονται διάφορες μετρήσεις της συνέπειας μεταξύ ενός μοντέλου μιας ασθένειας και των πληροφοριών ενός ασθενή. Μια από αυτές τις μετρήσεις είναι η χρονική συνέπεια που υπολογίζεται με βάση τις αναμενόμενες και πραγματικές χρονικές αποστάσεις μεταξύ ζευγαριών γεγονότων. Συγκεκριμένα, για κάθε ζευγάρι γεγονότων στις πληροφορίες ενός ασθενή που επίσης περιλαμβάνεται στο ελάχιστο χρονικό δίκτυο του μοντέλου ασθένειας, υπολογίζεται το ύψος της διατομής του δεδομένου ζευγαριού διαστημάτων. Η χρονική συνέπεια λοιπόν, είναι το ελάχιστο μεταξύ των αποκτηθέντων υψών. Έτσι, η χρονική συνέπεια που έχει τιμή 1, σημαίνει ότι οι πραγματικές και οι αναμενόμενες χρονικές αποστάσεις κάθε ζευγαριού από σχετικά γεγονότα αντιστοιχούν σε μια χαρακτηριστική τιμή. Αντίστοιχα, η χρονική συνέπεια που έχει τιμή 0, σημαίνει ότι για τουλάχιστο ένα ζευγάρι από σχετικά γεγονότα οι πραγματικές και αναμενόμενες χρονικές αποστάσεις δεν αντιστοιχούν ακόμα και σε μια μόνο πιθανή τιμή. Έτσι, μια χρονική απόσταση λιγότερη από την τιμή 1 αλλά μεγαλύτερη από 0, σημαίνει ότι για τουλάχιστο ένα ζευγάρι από σχετικά γεγονότα η αντιστοιχία ήταν για μια πιθανή τιμή. Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ότι, αν δεν υπάρχουν κοινά γεγονότα και άρα ούτε κοινές εκδηλώσεις μεταξύ ενός μοντέλου μιας ασθένειας και των πληροφοριών ενός ασθενή, η χρονική συνέπεια είναι απερίοριστη ή είναι εξορισμού 1. Χρονική συνέπεια υπάρχει όταν, η πραγματική διάρκεια μιας εκδήλωσης δεν διαφέρει από την αναμενόμενη διάρκεια της σε μια

δεδομένη ασθένεια. Η έννοια της συνέπειας είναι ασθενέστερη από την έννοια της αιτιολογίας που χρησιμοποιείται στην απαγωγική διάγνωση. Οτιδήποτε, που δεν είναι σε άμεση σύγκρουση με μια προσδοκία λαμβάνεται να είναι συνεπές. Φυσικά, για μια ασθένεια η χρονική συνέπεια αποτελεί μόνο μια απαίτηση έτσι ώστε να μπορεί να θεωρείται ως μια διαγνωστική επεξήγηση. Μια άλλη απαίτηση είναι, για κάθε εκδήλωση ενός ασθενή να είναι μια επίπτωση της ασθένειας και εδώ είναι που εισέρχεται η έννοια της αιτιολογίας μέσα στην επεξήγηση.

3.9 Χρονικοί Περιορισμοί (Temporal Constraints)

Οι χρονικοί περιορισμοί παίζουν σημαντικό ρόλο στις κλινικές οδηγίες. Οι κλινικές οδηγίες χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη ιατρών στην επίτευξη διάγνωσης και θεραπείας ασθενειών ή στην εκπαίδευση. Για παράδειγμα, οι περιορισμοί που αφορούν τη διάρκεια των ενεργειών, οι καθυστερήσεις μεταξύ των ενεργειών και οι περιοδικές επαναλήψεις τους αντίστοιχα, είναι απαραίτητα στοιχεία προκειμένου να αντιμετωπιστεί η κλινική θεραπεία. Στο άρθρο [2], προτείνεται μια προσέγγιση η οποία βασίζεται σε υπολογιστές για την αναπαράσταση των χρονικών περιορισμών στις κλινικές οδηγίες και την επίτευξη συλλογισμού μαζί με αυτούς τους περιορισμούς. Επιπλέον, προτείνεται μια χρονική αναπαράσταση φορμαλισμού και δύο αλγόριθμοι διάδοσης περιορισμών που λειτουργούν με βάση αυτήν την αναπαράσταση. Αργότερα, επιδεικνύεται πώς μπορούν να αξιοποιηθούν οι πιο πάνω αλγόριθμοι έτσι ώστε να μπορούν να προμηθεύσουν τα κλινικά συστήματα οδηγιών με διαφορετικές χρονικές διευκολύνσεις. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ένας φορμαλισμός χρονικών περιορισμών δεν είναι πολύ χρήσιμος αν δεν ταυτίζεται με αλγόριθμους για χρονικό συλλογισμό, εκτελώντας χρονικά συμπεράσματα σε ένα σύνολο περιορισμών (εκφραζόμενο με βάση τον πιο πάνω φορμαλισμό) και/ή ελέγχοντας τη συνέπειά τους. Χωρίς χρονικό συλλογισμό, ένας χρήστης δεν μπορεί να αναπαραστήσει οποιοδήποτε σύνολο περιορισμών, ούτε καν ένα μη συνεπές σύνολο χωρίς καμία αντίδραση από το σύστημα [2].

Πρόσφατα, πολλές προσεγγίσεις άρχισαν να επιδεικνύουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στη θεραπεία χρονικών πτυχών [25]. Στις περισσότερες θεραπείες, οι ενέργειες πρέπει να εκτελούνται με βάση το σύνολο των χρονικών περιορισμών λαμβάνοντας υπόψη τη

σχετική τους σειρά, τη διάρκεια τους και τις καθυστερήσεις μεταξύ τους. Σε πολλές περιπτώσεις οι ενέργειες πρέπει να επαναλαμβάνονται σε κανονικούς (πχ. περιοδικούς) χρόνους. Επιπλέον, είναι αναγκαίο να ληφθούν προσεκτικά υπόψη οι υπονοούμενοι χρονικοί περιορισμοί που παράγονται από την ιεραρχική αποσύνθεση των ενεργειών στα συστατικά τους και από την ελεγχόμενη ροή των ενεργειών στις οδηγίες. Με βάση το [63], οι χρονικοί περιορισμοί υπολογίζουν μέχρι ενός βαθμού την αβεβαιότητα που υπάρχει στη χρονική γνώση. Οι ποιοτικοί και οι μετρικοί χρονικοί περιορισμοί αναπαριστούν το σύνολο των “ισοδύναμα πιθανών” επακριβών χρονικών σχέσεων μεταξύ δύο χρονικών μονάδων. Όσο πιο μεγάλο είναι το σύνολο, τόσο πιο ψηλός είναι ο βαθμός της αβεβαιότητας για τη χρονική σχέση.

Στην κοινότητα της τεχνητής νοημοσύνης υπήρξε ουσιαστικό ενδιαφέρον στα δίκτυα περιορισμών και συγκεκριμένα στους αλγόριθμους συνέπειας τόξων και μονοπατιών. Οι κλινικοί χρονικοί περιορισμοί θα μπορούσαν να είναι μικτών τύπων και το πιο σημαντικό θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν διαφορετικές κατανομές του χρόνου. Έτσι, στη κλινική διάγνωση πρέπει να εξετάζονται οι πιο σύνθετες μορφές των χρονικών περιορισμών. Για παράδειγμα, οι απλές σειρές (πχ. των χρονικών αποστάσεων που χρησιμοποιούνται σε ένα μονοπάτι) συλλαμβάνουν την αβεβαιότητα αλλά με ένα μάλλον κατηγορικό ή ιδιαίτερο τρόπο. Επιπλέον, μια απλή σειρά δεν μπορεί να μοντελοποιήσει την ασάφεια που αναπτύσσεται συχνά στα κλινικά πεδία [23]. Για την αναπαράσταση των χρονικών περιορισμών που σχετίζονται με την κλινική διάγνωση, ορίστηκε μια αφηρημένη δομή η οποία αναφέρεται ως ένας αφηρημένος χρονικός γράφος (ATG Abstract Temporal Graph) [23]. Η πιο πάνω αφηρημένη δομή, από τη μια σκοπιά τοποθετεί τους διαφορετικούς τύπους περιορισμών μέσα σε ένα ενοποιημένο πλαίσιο και από την άλλη επιτρέπει την ανάλυση και διαφοροποίηση των διαφόρων τύπων περιορισμών. Τα αρχικά ATG αναφέρονται σε ένα κατευθυνόμενο γράφο του οποίου οι κόμβοι αναπαριστούν χρονικές οντότητες όπως για παράδειγμα είναι τα γεγονότα, οι περιπτώσεις κτλ και τα τόξα του συμβολίζουν τους πιθανούς χρονικούς περιορισμούς μεταξύ των δεδομένων ζευγαριών των κόμβων.

Σύμφωνα με το [23], οι χρονικοί περιορισμοί μπορούν να εκφραστούν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Ένας απλός τρόπος είναι, η έκφρασή τους με σχετικούς όρους χρησιμοποιώντας το σύνολο των χρονικών σχέσεων του Allen [22]. Σύμφωνα με το

“αιτία-χρόνος-θεραπευτική ενέργεια μοντέλο” ή “μοντέλο C-T-A”, οι χρονικοί περιορισμοί καταλαμβάνουν ένα τέταρτο επίπεδο, καθώς μπορούν να αναφερθούν σε οποιαδήποτε οντότητα ή σύνδεση, μέσα ή μεταξύ των επιπέδων. Όπως αναφέρει από μόνος του ο ορισμός, οι χρονικοί περιορισμοί λειτουργούν για να περιορίσουν τις υπάρξεις των ασθενειών, καταστάσεων και εκδηλώσεων. Γενικότερα, στο μοντέλο C-T-A διακρίνονται δύο κατηγορίες. Στη μια κατηγορία, η διαγνωστική γνώση αναπαρίσταται ως ένα μοναδικό αιτιολογικό δίκτυο και έτσι οι χρονικοί περιορισμοί αναφέρονται στις καθυστερήσεις μεταξύ αιτιών και αποτελεσμάτων και στην επιμονή των καταστάσεων. Στην άλλη κατηγορία, κάθε ασθένεια μοντελοποιείται ξεχωριστά με συνεταιριστικούς παρά αιτιολογικούς όρους όπως για παράδειγμα σε σχέση με τις εξωτερικές εκδηλώσεις της. Σε τέτοιου είδους προσεγγίσεις, οι χρονικοί περιορισμοί αναφέρονται στις χρονικές σχέσεις μεταξύ γεγονότων σημειώνοντας την αρχή και το τέλος των εκδηλώσεων. Συνοψίζοντας, με βάση το [23], το επίπεδο των χρονικών περιορισμών είναι το μέρος του μοντέλου C-T-A το οποίο έχει τη δυνατότητα να συνδέει τα πάντα μεταξύ τους.

Κεφάλαιο 4

Βιβλιογραφική συγκριτική ανάλυση της χρονικής ιατρικής διάγνωσης χρησιμοποιώντας το Γενικευμένο Μοντέλο “Αιτία-Χρόνος Θεραπευτική Αγωγή Causal-Temporal-Action” ως το ερμηνευτικό πλαίσιο

4.1	Γενική Περιγραφή του μοντέλου “C-T-A”	45
4.2	Βιβλιογραφική συγκριτική ανάλυση	48

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια γενική περιγραφή του μοντέλου “C-T-A” και ακολούθως θα γίνει μια βιβλιογραφική συγκριτική μελέτη πάνω στο θέμα της χρονικής ιατρικής διάγνωσης (temporal medical diagnosis) έχοντας ως ερμηνευτικό πλαίσιο το πιο πάνω μοντέλο. Παράλληλα, θα προσδιορισθούν οι κεντρικές μονάδες μίας γενικευμένης αρχιτεκτονικής για κλινικά διαγνωστικά συστήματα βασισμένα στο C-T-A μοντέλο και θα επεξηγηθούν οι κεντρικές διεργασίες συλλογισμού που στηρίζει αυτή η αρχιτεκτονική και οι οποίες εδράζονται στο κλασικό σχήμα του “υποθετικού-συμπερασματικού” συλλογισμού.

4.1 Γενική περιγραφή του μοντέλου C-T-A

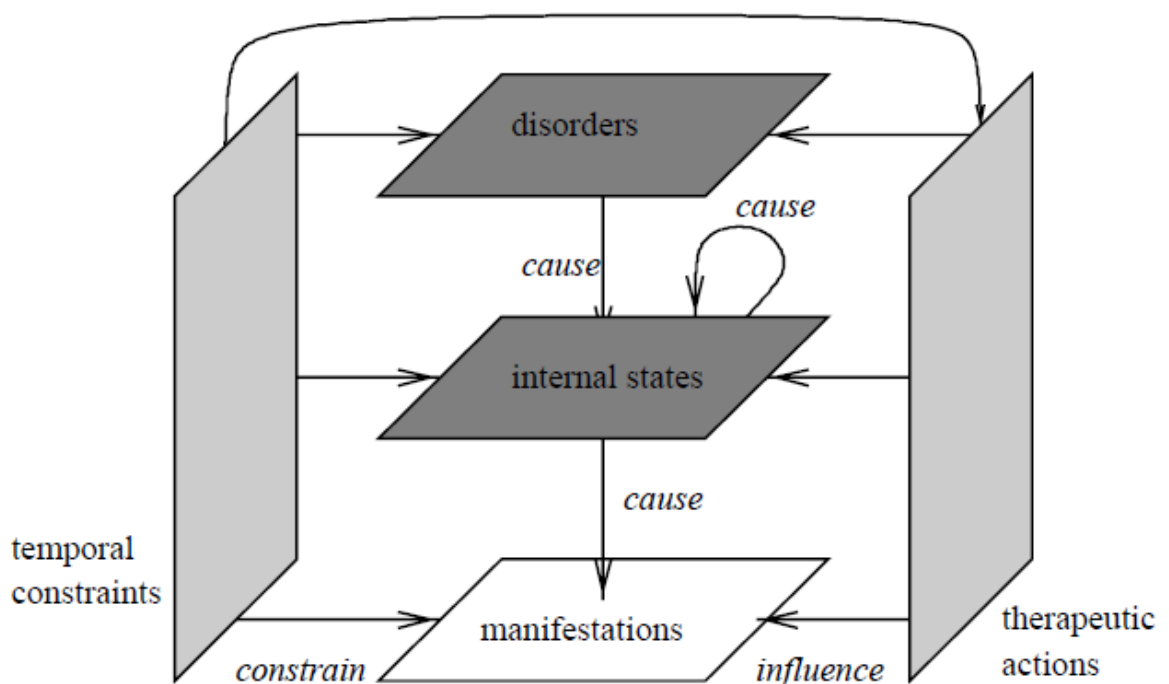
Το γενικευμένο διαγνωστικό μοντέλο, βασιζόμενο σε γνώση, “C-T-A”, δίνει μια υψηλού επιπέδου θεώρηση της διαγνωστικής γνώσης, η οποία δεν κάνει δεσμεύσεις όσον αφορά την αναπαράσταση της αιτιολογικής σχέσης, των θεραπευτικών ενεργειών ή του χρόνου. Ως εκ τούτου, μπορεί να αντιμετωπιστεί ως μια υψηλού επιπέδου προδιαγραφή για τη γνώση ενός διαγνωστικού συστήματος, ή ως ένα ενοποιητικό πλαίσιο για τη συγκριτική ανάλυση των υφιστάμενων προσεγγίσεων στην κλινική διάγνωση. Το μοντέλο “C-T-A” περιλαμβάνει μια τρι-επίπεδη δομή για την αναπαράσταση της γνώσης σχετικά με τις δυσλειτουργίες και τις φυσιολογικές

διεργασίες, με τη χρήση αιτιολογικών όρων. Με βάση το μοντέλο αυτό, η διαγνωστική γνώση είναι οργανωμένη σε πέντε επίπεδα. Η κεντρική δομή είναι το τρι-επίπεδο δικτυωτό πλέγμα το οποίο δίνει μια γενική άποψη για τις δυσλειτουργίες. Το δικτυωτό αυτό πλέγμα αναλύεται σε εσωτερικές δυσλειτουργικές καταστάσεις, οι οποίες συνήθως δεν είναι παρατηρητές. Οι δυσλειτουργικές όμως καταστάσεις τελικά οδηγούν σε ενδείξεις που είναι παρατηρητές. Η κεντρική αυτή δομή του μοντέλου περιβάλλεται από δύο άλλα κάθετα επίπεδα τα οποία αναπαριστούν τους χρονικούς περιορισμούς και τις θεραπευτικές ενέργειες. Ο στόχος αυτών των επιπέδων είναι να περιορίσουν τις υπάρξεις των χρονικών οντοτήτων στην κεντρική δομή. Οι χρονικοί περιορισμοί λοιπόν, καταλαμβάνουν ένα τέταρτο επίπεδο στο μοντέλο “C-T-A” κάθετα της τρι-επίπεδης ιεραρχικής δομής καθώς, έχουν τη δυνατότητα να αναφέρονται σε οποιαδήποτε οντότητα ή σύνδεσμο, μέσα ή μεταξύ των επιπέδων. Το ίδιο ισχύει και για το επίπεδο που αντιπροσωπεύει τις θεραπευτικές ενέργειες καθώς και αυτό είναι κάθετο ως προς την τρι-επίπεδη ιεραρχική δομή (δυσλειτουργίες - εσωτερικές καταστάσεις - ενδείξεις) και έτσι οι επιδράσεις μπορούν να αναφερθούν σε οποιοδήποτε επίπεδο ή σε οποιοδήποτε εσωτερικό σύνδεσμο. Εξορισμού, ο ρόλος των χρονικών περιορισμών είναι να περιορίζει τις υπάρξεις των δυσλειτουργιών, των εσωτερικών καταστάσεων και των ενδείξεων.

Η κλινική διάγνωση επικεντρώνεται γύρω από ασθένειες και επομένως το επικρατέστερο μοντέλο διάγνωσης είναι αυτό της απαγωγικής διάγνωσης. Επιπρόσθετα, το μοντέλο συσχετίσεων (associational model) αποτελεί το πιο απλό μοντέλο για ασθένειες. Μια ασθένεια αναπαρίσταται ως ένα σύνολο εξωτερικών παρατηρήσιμων εκδηλώσεων (external, observable manifestations). Το απλό αυτό μοντέλο αγνοεί την εξέλιξη μίας ασθένειας, μέσω των σχετικών αιτιολογικών μηχανισμών και φυσικά αγνοεί την έννοια του χρόνου. Επιπρόσθετα, ένα κλινικό διαγνωστικό σύστημα που βασίζεται αποκλειστικά στο απλό μοντέλο των συσχετίσεων ασθενειών-εκδηλώσεων, δεν κατέχει οποιαδήποτε γνώση αναφορικά με θεραπευτικές ενέργειες κυρίως, γνώση των επιδράσεων των θεραπευτικών ενεργειών στην εξέλιξη των ασθενειών.

Το γενικευμένο διαγνωστικό μοντέλο, βασιζόμενο σε γνώση, “C-T-A”, στοχεύει στην απάλειψη των πιο πάνω σοβαρών αδυναμιών. Το μοντέλο αυτό, καλύπτει την

αναπαράσταση των εσωτερικών μηχανισμών εξέλιξης των ασθενειών μέσω της αιτιολογικής σχέσης, τη ρητή αναπαράσταση χρονικών περιορισμών, τόσο σε σχέση με την αιτιολογική σχέση, όσο και ευρύτερους χρονικούς περιορισμούς και τη ρητή αναπαράσταση θεραπευτικών ενεργειών, κυρίως από τη σκοπιά των επιδράσεων τους (τόσο των στοχευόμενων επιδράσεων, όσο και τυχόν παρενεργειών τους). Επιπρόσθετα, για να είναι σε θέση το προτεινόμενο μοντέλο “C-T-A” να αποτελεί ένα χρήσιμο μεθοδολογικό εργαλείο για την ανάπτυξη διαγνωστικών συστημάτων, τα πέντε πλάνα γνώσης που το απαρτίζουν και οι διασυνδέσεις τους πρέπει να ορισθούν και να τυποποιηθούν. Με άλλα λόγια, χρειάζεται να προσδιοριστεί μία γενικευμένη αρχιτεκτονική για διαγνωστικά κλινικά συστήματα, η οποία να ενσωματώνει τα κύρια στοιχεία του μοντέλου αυτού και επίσης να παρέχει την ευελιξία να επιλέγονται συγκεκριμένα κατασκευαστικά τεμάχια για δεδομένη μονάδα γνώσης στο πλαίσιο κάποιας εφαρμογής. Με τον τρόπο αυτό θα στηρίζεται η ευέλικτη εφαρμογή του μοντέλου σε διαφορετικούς τομείς. Το επεκτάσιμο διαγνωστικό μοντέλο γνώσης “C-T-A” απεικονίζεται στο Σχήμα 5.1. Όπως αναφέρθηκε ήδη πιο πάνω, το μοντέλο αυτό είναι μία πέντε επιπέδων δομή με ένα κεντρικό τρι-επίπεδο δικτυωτό πλέγμα. Οι υπάρξεις των οντοτήτων που διαμένουν στα κεντρικά επίπεδα περιβάλλονται από δύο κάθετα επίπεδα.



Σχήμα 5.1 Μοντέλο “C-T-A” [23]

4.2 Βιβλιογραφική συγκριτική ανάλυση

Ο στόχος αυτής της υποενότητας είναι η διερεύνηση της χρονικής διάγνωσης και η βιβλιογραφική συγκριτική ανάλυση του θέματος αυτού σε εφαρμογές κλινικής διάγνωσης, έχοντας ως ερμηνευτικό πλαίσιο το μοντέλο “C-T-A”. Πιο συγκεκριμένα, στόχος είναι να διαφανεί για κάθε εφαρμογή, πιο από τα πέντε επίπεδα που αποτελούν το μοντέλο “C-T-A” περιλαμβάνεται στην εφαρμογή και ειδικότερα πώς εκφράζονται οι χρονικοί περιορισμοί στην περίπτωση του επιπέδου των χρονικών περιορισμών. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα επίπεδα των χρονικών περιορισμών όπως και των θεραπευτικών ενεργειών αποτελούν πολύ σημαντικά στοιχεία του μοντέλου “C-T-A”. Οι χρονικοί περιορισμοί είναι το κομμάτι του μοντέλου “C-T-A” που δένει όλα τα επίπεδα μεταξύ τους καθώς ο παράγοντας ‘χρόνος’ παίζει καθοριστικό ρόλο γενικά στην εκτέλεση των ενεργειών και των αιτιατών φαινομένων. Ο χρόνος για παράδειγμα, συνδέεται άμεσα με την έννοια της αιτιότητας και οι σχέσεις μέσα και ανάμεσα στα κεντρικά επίπεδα αναπαριστούν μια συγκεκριμένη μορφή αιτιότητας ή κάποιας άλλης. Επιπλέον, ο χρόνος σχετίζεται άμεσα και με τις ενέργειες. Οι χρονικοί λοιπόν περιορισμοί και οι θεραπευτικές ενέργειες είναι δύο έννοιες που αναμένεται να συμπεριλαμβάνονται σε κάθε διαγνωστική εφαρμογή. Σύμφωνα με το άρθρο [23], το γενικευμένο μοντέλο “C-T-A”, είναι πολύ γενικό προς το παρών, τα διάφορα επίπεδα και οι σύνδεσμοι από τους οποίους αποτελείται πρέπει να καθοριστούν και να τυποποιηθούν ικανοποιητικά έτσι ώστε να είναι σε θέση να αποτελέσει ένα χρήσιμο μεθοδολογικό εργαλείο για την ανάπτυξη διαγνωστικών συστημάτων. Ένας καλός τρόπος για να βελτιωθεί αυτό το μοντέλο, θα ήταν με τη διερεύνηση του επιπέδου των χρονικών περιορισμών καθώς όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω το συγκεκριμένο επίπεδο έχει τη δυνατότητα να επηρεάζει όλα τα υπόλοιπα επίπεδα του μοντέλου “C-T-A”. Βελτιώνοντας λοιπόν το συγκεκριμένο επίπεδο, θα βελτιωθεί η χρησιμότητα του μοντέλου “C-T-A” για την ανάπτυξη διαγνωστικών συστημάτων.

Το μοντέλο “C-T-A” όπως προτάθηκε στο άρθρο [23], είναι ένα γενικευμένο διαγνωστικό μοντέλο που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές κλινικής διάγνωσης έχοντας ως κύριο στόχο να τονίσει τη σημαντικότητα της αιτιότητας και του χρόνου όπως επίσης και τον συσχετισμό των θεραπευτικών ενεργειών με διαγνωστικά προβλήματα επίλυσης. Οι τρεις πιο πάνω παράγοντες είναι αλληλένδετοι. Ωστόσο, μέσα από τη

βιβλιογραφική διερεύνηση που έγινε, διαπιστώθηκε ότι είναι πολύ λίγες οι εφαρμογές που συμπεριέλαβαν και τους τρεις αυτούς παράγοντες. Στην περίπτωση μάλιστα που χρησιμοποιούνται μη χρονικά συσχετισμένα μοντέλα για τις δυσλειτουργίες, υπάρχει πιθανότητα να παραληφθούν εντελώς. Συνήθως, οι θεραπευτικές ενέργειες είναι αυτές που δεν συμπεριλαμβάνονται στις εφαρμογές κλινικής διάγνωσης. Μία από τις εφαρμογές που αποτελούν εξαίρεση, είναι το Heart Disease Program (HDP) στο οποίο η διαγνωστική γνώση παρουσιάζεται ως ένα Bayesian πιθανολογικό δίκτυο όπου τα τόξα αναπαριστούν αιτιολογικές σχέσεις. Περισσότερη ανάλυση του συστήματος αυτού σε σύγκριση με το γενικευμένο διαγνωστικό μοντέλο “C-T-A” θα γίνει στη συνέχεια αυτής της υποενότητας.

Η διπλωματική αυτή εργασία εντάσσεται στο ευρύτερο πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης στην Ιατρική (Artificial Intelligence in Medicine). Η επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων συνεχίζει να προσελκύει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον λόγω των διαφόρων ανοικτών ζητημάτων που αποτελούν πρόκληση. Μια τέτοια πρόκληση είναι η αναπαράσταση και ο συλλογισμός με χρόνο. Μια άλλη πρόκληση είναι η μοντελοποίηση γνώσης υποδομής ενός διαγνωστικού τομέα (background domain knowledge) και ο συλλογισμός αναφορικά με τη γνώση υποδομής. Σημαντικό στοιχείο της γνώσης υποδομής είναι η γνώση για διάφορες θεραπευτικές ενέργειες και πώς οι ενέργειες αυτές μπορούν να έχουν επίδραση στην εξέλιξη μίας ασθένειας. Για ένα διαγνωστικό σύστημα, η γνώση για τις θεραπευτικές ενέργειες λειτουργεί στην ενίσχυση της ευλογοφάνειας των υποθέσεων δικαιολογώντας τις απώλειες των προσδοκιών ή λογαριάζοντας την παρουσία απροσδόκητων εκδηλώσεων. Για ένα σύστημα που συστήνει θεραπεία, η ίδια γνώση θα εξυπηρετούσε εξ ολοκλήρου διαφορετικούς σκοπούς. Η διαγνωστική επίλυση προβλημάτων λοιπόν, στοχεύει στην επεξήγηση μιας παρατηρηθείσας απόκλισης από την κατάλληλη λειτουργία κάποιας ανθρώπινης περίπτωσης ή όχι. Η επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων, είναι μια περίπλοκη διαδικασία συλλογισμού ειδικά για κλινικά διαγνωστικά προβλήματα. Στην κλινική διάγνωση η αιτιότητα, ο χρόνος και οι θεραπευτικές επεμβάσεις χρειάζεται γενικά να λαμβάνονται υπόψη όταν επιλύονται διαγνωστικά προβλήματα. Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι κάθε διαγνωστικό πεδίο απαιτεί όλους του πιο πάνω παράγοντες. Οι τρεις πιο πάνω παράγοντες σχετίζονται άμεσα. Διάφορες αλλαγές που μπορεί να προκύψουν είναι αποτέλεσμα αιτιολογικών αλληλεπιδράσεων. Οι ενέργειες

ενσωματώνουν αιτιολογικούς μηχανισμούς και έτσι η εκτέλεση τέτοιων ενεργειών φέρνει επιθυμητές (θετικά αποτελέσματα) ή μη επιθυμητές (αρνητικές επιπτώσεις) αλλαγές. Τα αιτιολογικά φαινόμενα είναι χρονικά φαινόμενα. [23]. Ο χρόνος είναι πολύ σημαντικός σε μια κλινική διάγνωση και για αυτό το λόγο έχει τον πρωταγωνιστικό ρόλο κατά τη διάρκεια μιας διαδικασίας συλλογισμού ως προς το σχηματισμό και την εξέλιξη των διαγνωστικών υποθέσεων. Μια κλινική διάγνωση, για να γίνει ορθά, πρέπει να ανταποκρίνεται κατάλληλα στις χρονικές απαιτήσεις που υπάρχουν όπως για παράδειγμα, στους αριθμητικούς περιορισμούς και τους σχετικούς περιορισμούς, τις πολλαπλές μονάδες του χρόνου, την επαναληπτικότητα, τη χρονική αφαιρετικότητα των δεδομένων, κ.τ.λ. Επομένως, η σημασία του συγκεκριμένου πεδίου της κλινικής διάγνωσης, κυρίως της χρονικής ιατρικής διάγνωσης κρίνεται σημαντική.

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή αυτής της υποενότητας, συνήθως, οι θεραπευτικές ενέργειες είναι αυτές που δεν συμπεριλαμβάνονται στις εφαρμογές κλινικής διάγνωσης με εξαίρεση το σύστημα Heart Disease Program (HDP). Το σύστημα αυτό, είναι ένα υπολογιστικό πρόγραμμα που στόχο έχει να βοηθήσει τους παθολόγους στη διαχείριση ασθενών με σύνθετες ασθένειες του καρδιαγγειακού συστήματος κάνοντας τις απαραίτητες διαγνώσεις. Οι πιο πάνω ασθένειες είναι χρόνιες, προοδευτικές και πολλές από αυτές δεν μπορούν να διορθωθούν κυρίως λόγω καρδιακής μεταμόσχευσης που τυχόν να έχει γίνει στον ασθενή. Ως αποτέλεσμα, αρκετοί ασθενείς έρχονται με προϋπάρχουσες ασθένειες και θεραπείες και έτσι δημιουργείται πρόβλημα στον προσδιορισμό ως προς το ποιές καινούργιες ασθένειες ή περιπλοκές παρουσιάζονται μέχρι στιγμής και ποιά η σχέση τους με τις γνωστές ασθένειες. Έτσι, οι θεραπείες με όλα τα ευεργετικά αποτελέσματα και τις παρενέργειες τους δεν μπορούν να περάσουν απαρατήρητες στη συγκεκριμένη εφαρμογή κλινικής διάγνωσης και άρα αποτελούν ένα σημαντικό μέρος του πεδίου [23].

Η διαγνωστική γνώση στο σύστημα HDP, παρουσιάζεται ως ένα Bayesian πιθανολογικό δίκτυο όπου τα τόξα αναπαριστούν αιτιολογικές σχέσεις και οι κόμβοι αναπαριστούν παθολογικές καταστάσεις, εκδηλώσεις ή θεραπείες. Το Bayesian πιθανολογικό δίκτυο λοιπόν, χρησιμεύει στην αναπαράσταση των χρονικών διαρκειών των αιτίων και των επιδράσεων που σχετίζονται με διαγνώσεις των ασθενειών της καρδιάς. Ένα παράδειγμα είναι, η διαφοροποίηση των περιπτώσεων στις οποίες ένα

καρδιακό επεισόδιο παρουσιάζεται πριν ή μετά τις τελευταίες τέσσερις ώρες καθώς οι διαδικασίες που ακολουθούν σε κάθε περίπτωση διαφέρουν. Κατά τη διάρκεια μίας διαβούλευσης με το σύστημα HDP οι κόμβοι στο Bayesian πιθανολογικό δίκτυο αρχικοποιούνται με αποτέλεσμα οι παρατηρήσιμες εκδηλώσεις να ορίζονται ως χρονικά διαστήματα όπου ο χρόνος εκφράζεται σε σχέση με ένα τρέχων σημείο στο χρόνο. Οι πιο πάνω χρονικοί περιορισμοί, επιτρέπουν την παραγωγή τέτοιων χρονικών διαστημάτων για μια αιτία δεδομένης της επίδρασης της και αντίστροφα.

Είναι ιδιαίτερα προκλητικό το πεδίο του συστήματος HDP, καθώς περιλαμβάνει πολλαπλούς αλληλοεπιδρώμενους μηχανισμούς οι οποίοι λειτουργούν κατά τη διάρκεια ποικίλων χρονικών περιόδων. Έτσι, αν και η πολλαπλότητα των χρονικών μονάδων (temporal granularities) δεν αντιμετωπίζεται με συστηματικό τρόπο, παρόλα αυτά σχετίζεται άμεσα με το πεδίο του συστήματος HDP καθώς μερικές διαδικασίες λαμβάνουν μέρος για μερικά λεπτά ενώ άλλες για μερικούς μήνες ή χρόνια. Επιπλέον, είναι περιορισμένες οι διαθέσιμες παρατηρήσεις με αποτέλεσμα να απαιτείται σημαντικός συλλογισμός έτσι ώστε να ανακαλυφθεί τι πραγματοποιείται. Το πεδίο εφαρμογής του HDP περιλαμβάνει ασθένειες του μυ της καρδιάς όπως για παράδειγμα είναι, το μυοκαρδιακό έμφραγμα (καρδιακή προσβολή) και διάφορα είδη της καρδιομυοπάθειας, η βαλβιδική δυσλειτουργία και ο περιορισμός της καρδιάς από το περικάρδιο [39]. Κάθε μια από τις ασθένειες έχει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και ευρήματα που τη διαφοροποιούν από τις άλλες ακόμα και όταν τα περισσότερα ευρήματα είναι παρόμοια. Το σύστημα δεν χρειάζεται να κάνει συλλογισμό για κλινικά φαινόμενα τα οποία συμβαίνουν στο πεδίο εφαρμογής του. Έτσι, δεν χρειάζεται να διερευνά την περιοδική φύση των φαινομένων, καθώς αυτά αναγνωρίζονται ως αδιάσπαστες οντότητες και αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο όπως με άλλα ευρήματα. Στην πραγματικότητα, δεν υποστηρίζεται η χρονική αφαιρετικότητα δεδομένων στο σύστημα HDP. Το δυνατό στοιχείο αναπαράστασης του HDP είναι ότι, οι θεραπείες και οι αντίστοιχες επιδράσεις τους μοντελοποιούνται με παρόμοιο τρόπο όπως και οι αιτίες. Μία επίδραση είναι απαραίτητο να επικαλύπτει την αιτία και να είναι παρατηρήσιμη μετά που η αιτία παρατηρείται. Η αιτιολογική σχέση που υπάρχει στο χρονικό μοντέλο του συστήματος HDP, το οποίο παρουσιάζει τους χρονικούς περιορισμούς που συσχετίζονται με τις αιτιολογικές σχέσεις, επιτρέπει την αναπαράσταση ενός μικρού αριθμού διαφορετικών προτύπων αιτιότητας. Τα πιο πάνω

πρότυπα αιτιότητας, μπορούν να χαρακτηριστούν ως ακολούθως: Η ‘immediate’ αιτιότητα, της οποίας η επίδραση αν καθόλου συμβαίνει εμφανίζεται αμέσως, και η ‘progressive’ στην οποία όταν πραγματοποιηθεί η επίδραση, συνεχίζει. Οι ‘progressive’ καταστάσεις αντέχουν χρονικά και απλά χειροτερεύουν εκτός και αν πραγματοποιηθεί μια ριζική διόρθωση. Ακολούθως, υπάρχει η ‘accumulative’ αιτιότητα όταν απαιτείται η αιτία να υπάρχει για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα και η ‘corrective’ όταν μερικές καταστάσεις επιστρέφουν άλλες καταστάσεις σε λειτουργικότητα. Οι πιο πάνω καταστάσεις μπορεί να είναι θεραπείες αλλά σε μερικές περιπτώσεις αποτελούν άλλες παθοφυσιολογικές καταστάσεις οι οποίες έχουν επιδράσεις που είναι αντίθετες με το αποτέλεσμα. Επιπλέον, υπάρχει η ‘event-like’ αιτιότητα η οποία συμβαίνει ως αποτέλεσμα των παθοφυσιολογικών καταστάσεων που προδιαθέτουν τον ασθενή στην οντότητα, η ‘delayed’ αιτιότητα η οποία είναι παρόμοια με την ‘immediate’ αιτιότητα, με εξαίρεση ότι υπάρχει ένα ευπροσδιόριστο χρονικό διάστημα μεταξύ της αιτίας και της επίδρασης. Τέλος, υπάρχει η ‘intermittent’ αιτιότητα κατά την οποία, όταν μια αιτία είναι παρούσα εμφανίζονται περιοδικά μερικές επιδράσεις και συμπεράσματα. Ο πιο πάνω χρονικός χαρακτηρισμός του πεδίου της καρδιάς, μπορεί να μην είναι επαρκής για άλλα ιατρικά πεδία αλλά πιθανόν αυτός να είναι πολύ κοντά. Εκτός από τα πιο πάνω χαρακτηριστικά της αιτιολογίας, υπάρχουν μερικά χαρακτηριστικά των καταστάσεων που έχουν επιπτώσεις στο χρονικό συλλογισμό. Μερικές καταστάσεις έχουν μια μέγιστη χρονική περίοδο ενώ μερικές άλλες καταστάσεις διαρκούν μόνο για μικρή χρονική περίοδο καθώς, μπορούν να είναι είτε σε ισχύ είτε ο ασθενής δεν επιβιώνει. Τα χαρακτηριστικά αυτά, περιορίζουν τα χρονικά όρια των αιτίων και των επιδράσεων και το ποιά συμπεράσματα μπορούν να προέλθουν από τα ευρήματα.

Η διαγνωστική πτυχή της διαχειριστικής διαδικασίας είναι το πιο αναπτυγμένο μέρος του προγράμματος. Η διαγνωστική συλλογιστική εργασία του προγράμματος είναι, η παραλαβή των συμπερασμάτων που αναφέρονται από τον παθολόγο και η δημιουργία μιας διαφορικής σύστασης με τις πιο πιθανές υποθέσεις που αποτελούν τα συμπεράσματα. Κάθε υπόθεση αποτελείται από μια πλήρη αιτιολογική επεξήγηση, επεξηγώντας πώς οι ασθένειες και οι μηχανισμοί στην υπόθεση παρέχουν ένα συνεπές υπολογισμό για τα συμπεράσματα [39]. Το πρόγραμμα έχει περάσει από δύο αξιολογήσεις, μια όταν ο συλλογισμός βασιζόταν αποκλειστικά σε ένα πιθανολογικό δίκτυο [38] και μια πιο πρόσφατη αξιολόγηση μετά που ενσωματώθηκαν στο

συλλογισμό χρονικοί και ισχυρότεροι περιορισμοί. Το σύστημα HDP λοιπόν, επεκτείνεται με χρονικές ικανότητες συλλογισμού έτσι ώστε να ενισχύσει την ακρίβεια της διάγνωσης με την εκμετάλλευση των χρονικών περιορισμών που υπάρχουν έμφυτοι στο σχετικό καρδιαγγειακό συλλογισμό. Για την αναπαράσταση των προαναφερθέντων αιτιολογικών προτύπων, χρειάζεται ένας αριθμός από επιπρόσθετες ιδιότητες σε ένα κόμβο και στις περιγραφές των συνδέσεων στη βάση γνώσης. Τρεις από αυτές τις ιδιότητες είναι τα χρονικά διαστήματα ‘onset’, ‘delay’ και ‘persistence’. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι χρονικές σημασιολογίες μίας αιτιολογικής σχέσης είναι πλούσιες. Η χρονική σημασιολογία ‘onset’, θεωρείται ως το υποτιθέμενο διάστημα του χρόνου κατά το οποίο παρατηρείται η επίδραση δηλαδή, μια κατάσταση μπορεί να παραμείνει σε ισχύ μετά που η αιτία παύει να ισχύει. Η καθυστέρηση ‘delay’, αποτελεί το διάστημα του χρόνου κατά το οποίο η αιτία πρέπει να είναι σε ισχύ πριν αρχίσει να εμφανίζεται η επίδραση (περιλαμβάνει και τον ‘onset’ χρόνο). Ακολούθως, υπάρχει η χρονική σημασιολογία ‘persist’ η οποία αποτελεί το χρονικό διάστημα κατά το οποίο η επίδραση θα παραμείνει στην περίπτωση που η αιτία που την προκάλεσε πάψει να ισχύει. Τέλος, υπάρχει η χρονική σημασιολογία ‘max-exist’ η οποία θεωρείται ως ο μέγιστος χρόνος που η αιτία θα παραμείνει ακόμα και αν η επίδραση εξακολουθεί να υπάρχει. Οι πιο πάνω χρονικές σημασιολογίες ‘onset’, ‘delay’, ‘max-exist’ κτλ. αναπαριστώνται ως χρονικά διαστήματα και η πιθανή διάρκεια τους εκφράζεται πιθανολογικά. Για την εφαρμογή των πιο πάνω ιδιοτήτων, χρειάστηκαν να διατυπωθούν μερικοί κανόνες οι οποίοι καλύπτουν δύο πρακτικές εκτιμήσεις. Η πρώτη υποστηρίζει ότι, οι αιτίες έχουν εκδηλώσεις πριν ή συγχρόνως με τις επιδράσεις και η δεύτερη υποστηρίζει ότι, η αιτία και η επίδραση πρέπει να επικαλύπτονται.

Εκτός από τις αιτιολογικές συνδέσεις στις καταστάσεις, υπάρχουν επίσης διορθωτικές συνδέσεις σε πολλές καταστάσεις. Οι διορθωτικές αυτές συνδέσεις, αντιπροσωπεύουν κυρίως τις θεραπείες που μπορούν να αντιμετωπίσουν τις καταστάσεις. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε σε αυτό το πρόγραμμα για τις επιδράσεις των διορθωτικών επιδράσεων είναι το ίδιο με αυτό των αιτίων. Αυτό σημαίνει ότι, μια θεραπεία μπορεί να πάρει ένα χρονικό διάστημα (onset) πριν να παράγει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Με τις πιο πάνω πληροφορίες λοιπόν, είναι δυνατό να υπολογιστούν τα χρονικά όρια, είτε για μια αιτία όταν το αποτέλεσμα είναι γνωστό είτε για ένα αποτέλεσμα όταν η αιτία είναι γνωστή.

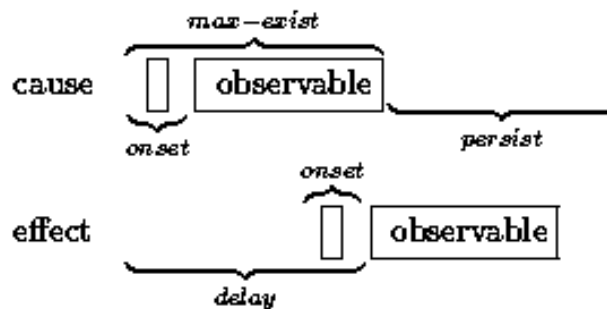
Το πιο κοινό συλλογιστικό βήμα, σχετίζεται άμεσα με το ότι ο διαγνωστικός συλλογισμός είναι απαγωγικός συλλογισμός. Ως εκ τούτου, ο διαγνωστικός συλλογισμός αναφέρεται στο συμπέρασμα που προκύπτει μέσω της αιτίας από μία επίδραση ξεκινώντας από τις επιδράσεις που ταιριάζουν στα συμπεράσματα για ένα ασθενή. Ο στόχος είναι η εύρεση της σχέσης μεταξύ των εσωτερικών καταστάσεων και των παρατηρήσιμων συμπερασμάτων. Μια διαγνωστική υπόθεση αποτελείται από μια πλήρη αιτιολογική επεξήγηση απαριθμώντας πώς οι ασθένειες και οι μηχανισμοί στην υπόθεση παρέχουν ένα συνεπές υπολογισμό των ευρημάτων του ασθενή. Η συνέπεια δηλώνει ότι ικανοποιούνται όλοι οι χρονικοί περιορισμοί των δεδομένων αιτιολογικών σχέσεων. Οι κυριότερες λειτουργίες του χρονικού συλλογισμού που εκτελούνται στο HDP είναι, η εξαγωγή και η συντήρηση των αιτιολογικών χρονικών περιορισμών στις υποθέσεις και η υποστήριξη της πιθανότητας οι κόμβοι να έχουν διαφορετικές τιμές για διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Επιπρόσθετα, τα χρονικά χαρακτηριστικά επιτρέπουν τη ρύθμιση των πιθανοτήτων όταν υπάρχουν διαφορετικές αιτιολογικές καταστάσεις με διαφορετικές πιθανότητες. Η πιθανότητα κατά μήκος μιας διάβασης από ένα γνωστό κόμβο ή αρχικό κόμβο επαναυπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις πιο συγκεκριμένες χρονικές πληροφορίες από την περίπτωση [23]. Το γεγονός ότι συμπεριλήφθηκε ο χρόνος στην αξιολόγηση των υποθέσεων στο HDP, βοήθησε όχι μόνο στο να είναι περισσότερο ακριβείς οι πιο πάνω υποθέσεις και έτσι να περιοριστεί η παραγωγή υποθέσεων αλλά και στην ενίσχυση της απόδοσης του HDP [32]. Με βάση τα πιο πάνω λοιπόν, το έργο του συστήματος HDP μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι, η διαδικασία παραγωγής ενός συνόλου από υποθέσεις, ονομαζόμενη ως διαφορική διάγνωση κατά την οποία κάθε στοιχείο είναι μια πιθανή εξήγηση για ένα δοσμένο σύνολο συμπερασμάτων [39].

Έχοντας περιγράψει πιο πάνω το σύστημα HDP, είμαστε πλέον σε θέση να το αναλύσουμε σε σχέση με το μοντέλο 'C-T-A'. Παρατηρούμε λοιπόν ότι περιλαμβάνονται και τα πέντε επίπεδα του μοντέλου 'C-T-A'. Το σύστημα όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, έχει γνώση των σχετικών θεραπειών που χρειάζεται να γίνουν. Οι θεραπείες και οι επιπτώσεις τους μοντελοποιούνται με παρόμοιο τρόπο όπως και οι αιτίες. Αυτό αποτελεί ισχυρό στοιχείο της αναπαράστασης. Ακολουθώντας, ο χρονικός συλλογισμός του συστήματος HDP υλοποιήθηκε πριν από μερικά χρόνια και έχει περάσει από μια αξιολόγηση και σύντομα θα περάσει επιπλέον από άλλη. Η πρόσθεση

του χρονικού συλλογισμού [25] έχει περιορίσει μια σημαντική κατηγορία λαθών που γίνονταν πριν όπως για παράδειγμα, συμπεράσματα με μακροχρόνια χρονιότητα από την προτεινόμενη αιτία ή αδιαφορία για τις πιθανές αιτίες γιατί κάποιο μέρος της αιτιολογικής αλυσίδας δεν ήταν πλέον αληθινό. Επιπλέον, η εξέταση των υποθέσεων που παράγονται από το σύστημα HDP έχει νόημα για τους καρδιολόγους και δεν αποκαλύπτουν οποιεσδήποτε ανεπάρκειες στη διαδικασία του χρονικού συλλογισμού. Το πεδίο των καρδιακών παθήσεων παρέχει ένα καλό πεδίο δοκιμής για την ανάπτυξη του χρονικού συλλογισμού σε ένα διαγνωστικό πλαίσιο. Υπάρχει μια ευρεία ποικιλία χρονικών καταστάσεων που απαιτούν ρητό συλλογισμό για κατάλληλο χειρισμό. Έτσι, μια προσδοκία είναι ότι οι εμπειρίες σε αυτό το πεδίο, μπορούν να μεταβιβαστούν σε διάφορα άλλα πεδία. Ο συγγραφέας του συστήματος HDP, βλέπει τη στενή ολοκλήρωση του χρονικού συλλογισμού με την αντίστοιχη διαγνωστική μηχανή του ως ισχυρό σημείο της εφαρμογής του καθώς κάνει πιο αποτελεσματική τη δημιουργία των διαγνωστικών επεξηγήσεων παρεμποδίζοντας τον πολλαπλασιασμό των ασυμβίβαστων, χρονικών δυνατοτήτων. Η αναπαράσταση του χρόνου διαφαίνεται μέσω των χρονικών διαστημάτων ‘onset’, ‘delay’ και ‘max-exist’, των οποίων οι χρονικές διάρκειες εκφράζονται ως σύνολα πιθανών τιμών με αντίστοιχες πιθανότητες. Οι σχέσεις μεταξύ των πιο πάνω αιτιολογικών χρόνων σκιαγραφούνται στο Σχήμα 4.2. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει χρονική αβεβαιότητα εκφραζόμενη σε σειρές απόλυτων διαρκειών και πιθανοτήτων. Αντίστοιχα, η αναπαράσταση της αιτιολογικής σχέσης διαφαίνεται μέσω του Bayesian πιθανολογικού δικτύου το οποίο όπως προαναφέρθηκε είναι ένα αιτιολογικό δίκτυο με πιθανότητες καθώς, η κύρια σχέση είναι αυτή της αιτιότητας. Οι χρονικοί περιορισμοί εκφράζονται σε σχέση με αιτιολογικούς συνδέσμους [23]. Κρατώντας το Bayesian δίκτυο πιστό στην αίσθηση της αιτιολογίας, έχει ως αποτέλεσμα τη διαβίβαση των βρόγχων στο δίκτυο, οι οποίοι δεν είναι συνεπείς με τα μαθηματικά ενός Bayesian δικτύου. Ως αποτέλεσμα του πιο πάνω, το σύστημα HDP χρησιμοποιεί ένα ψευδό-Bayesian πιθανολογικό δίκτυο [39]. Παρόλο που οποιαδήποτε συγκεκριμένη υπόθεση δεν έχει βρόγχους διαβίβασης, η βάση γνώσης έχει. Για την επίτευξη συλλογισμού σε ένα τέτοιο δίκτυο, είναι απαραίτητοι οι ευρετικοί μέθοδοι [37]. Κατά τη διάρκεια μίας διαβούλευσης, οι κόμβοι στο αιτιολογικό δίκτυο ορίζονται με την πιο πρόωρη και την πιο πρόσφατη αρχή και τέλος σε σχέση με το χρονικό σημείο αναφοράς πχ. ‘now’. Ακόμα, υπάρχει ένα μοναδικό αιτιολογικό δίκτυο το οποίο καλύπτει όλες τις σχετικές εσωτερικές καταστάσεις, εξωτερικές εκδηλώσεις και

ενέργειες καθώς, κάθε αιτιολογική σύνδεση έχει τους σχετικούς χρονικούς περιορισμούς και κάθε κόμβος δείχνει στις δικές του πιθανές αιτίες. Στο σύστημα HDP λοιπόν [59,60], επιλέγεται η χρήση μιας αιτιολογικής αναπαράστασης δικτύου με πιθανότητες στις συνδέσεις. Συγκεκριμένα, στο παθοφυσιολογικό μοντέλο των καρδιαγγειακών και σχετικών συστημάτων (γύρω στους 200 κόμβους) υπάρχει ένας αριθμός από βρόγχους διαβίβασης στο δίκτυο, οι οποίοι το καθιστούν αδύνατο να ορίσουν ένα συνεπές σύνολο πιθανοτήτων στους κόμβους. Έτσι, όπως προαναφέρθηκε, σε μια συγκεκριμένη υπόθεση (ένα υποσύνολο ενός παθοφυσιολογικού μοντέλου που αρχικοποιείται για τον ασθενή) δεν υπάρχουν βρόγχοι διαβίβασης και υπάρχει μια συνεπής ερμηνεία της ολοκληρωτικής πιθανότητας.

Στην εφαρμογή του συστήματος HDP και στην εφαρμογή των Console και Torasso, τα περιστατικά αντιμετωπίζονται ως αδιαίρετες οντότητες και όχι ως δυναμικές οντότητες οι οποίες ενσωματώνουν το χρόνο και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Ο χρόνος συνδέεται “χαλαρά” με τις πιο πάνω οντότητες ενώνοντας μια μη χρονική οντότητα με ένα χρονικό διάστημα. Επιπλέον, τα επαναλαμβανόμενα φαινόμενα, η περιοδικότητα και οι χρονικές τάσεις δεν εξετάζονται καθώς απαιτούν σύνθετα περιστατικά. Ακόμα, η χρονική αφαιρετικότητα δεν εξετάζεται στο σύστημα HDP.



Σχήμα 4.2. Σχέση των αιτιολογικών χρόνων [23]

Στη συνέχεια της βιβλιογραφικής ανάλυσης, γίνεται αναφορά στο σύστημα του Russ ο οποίος πρότεινε ένα προγραμματιστικό σύστημα που βασίζεται σε δεδομένα και είναι σχεδιασμένο για τη δημιουργία έξυπνων, χρονικών προγραμμάτων ελέγχου και το χειρισμό προβλημάτων που αναπτύσσονται στο σχεδιασμό ενός έξυπνου συστήματος για χρήση σε μια μονάδα εντατικής. Το σύστημα αυτό, ονομάστηκε από τον Russ ως η χρονική δομή παρακολούθησης (Temporal Control Structure – ‘TCS’). Στόχος της δημιουργίας του συστήματος ήταν, η υποστήριξη του συλλογισμού με δεδομένα τα οποία αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου και η ένδειξη του τρόπου με τον οποίο το σύστημα ‘TCS’ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή του συλλογισμού με υστερινή γνώση. Οι αναπροσαρμογές γνώσης είναι αναπόφευκτες εάν ένα σύστημα στοχεύει να τηρήσει έναν ακριβή απολογισμό της κατάστασης ενός ασθενή. Η έννοια που αποτελεί το κλειδί σε αυτή την πρόταση είναι αυτή της υστερινής γνώσης, δηλαδή, η χρήση πρόσφατων διαθέσιμων πληροφοριών για την αναθεώρηση των αποφάσεων που πάρθηκαν νωρίτερα. Η πιο πάνω διαδικασία, εκτελείται κυρίως με πληροφορίες οι οποίες διατρέχονται σε μεταβλητές μνήμης πίσω στο χρόνο. Οι μεταβλητές μνήμης λοιπόν, μπορούν να μεταφέρουν δεδομένα από μια μονάδα σε μια επιτυχημένη ή προηγούμενη μονάδα διαστήματος. Στην περίπτωση που δεν θα μπορούσαν να μεταφέρουν δεδομένα, δεν θα μπορούσε να υπάρξει συλλογισμός για μια αλλαγή. Η χρήση της υστερινής γνώσης στα έμπειρα συστήματα, απαιτεί την απαραίτητη προσοχή στις χρονικές σχέσεις των δεδομένων η οποία επιδεικνύεται στην αναθεώρηση των αποφάσεων. Το πεδίο εφαρμογής είναι η καρδιολογία. Ακολουθώς, περιγράφεται ένα τυπικό σενάριο κατά το οποίο δίνεται σε ένα ασθενή ένα φάρμακο σχεδιασμένο για να υπερνικήσει τα συμπτώματα ως αποτέλεσμα παραπλανητικής αρχικής διάγνωσης. Ωστόσο, η ισχύς των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την αρχική διάγνωση και την αξιολόγηση τους, επανεξετάζονται καθώς τα αναμενόμενα αποτελέσματα δεν επιτεύχθηκαν με την πάροδο του χρόνου [3]. Η διαθεσιμότητα πολλών δεδομένων επιτρέπει μια πιο ακριβή αξιολόγηση ενός ασθενή καθώς επίσης, δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού και επίλυσης των αβεβαιοτήτων, εικασιών και λαθών που δημιουργούνται νωρίς κατά την φάση της κλινικής πορείας για τη φροντίδα ενός ασθενή.

Το σύστημα ‘TCS’, αναλαμβάνει την ευθύνη για το σχεδιασμό των μονάδων συλλογισμού που λειτουργούν σε δεδομένα τα οποία περιέχονται σε μεταβλητές και

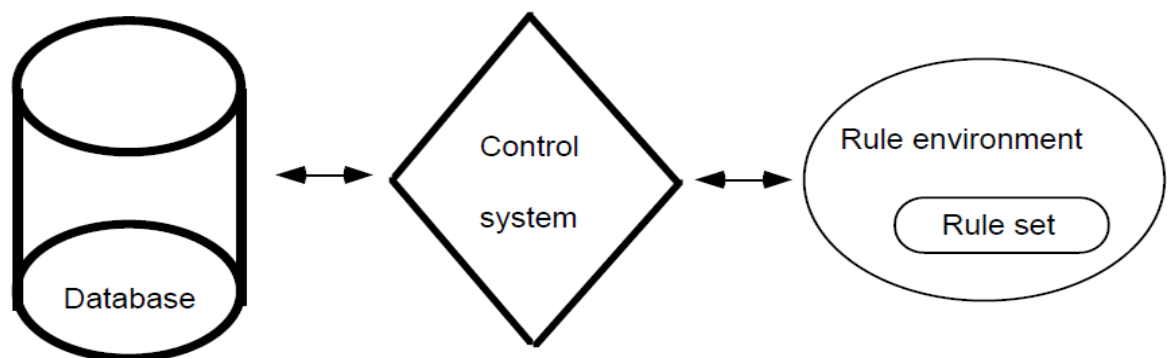
αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου. Παρέχει ένα πλαίσιο στο οποίο οι αποφάσεις μπορούν να αναθεωρηθούν έτσι ώστε, να είναι σε θέση να λαμβάνει υπόψη τις πρόσφατες αποκτηθείσες πληροφορίες όπως επίσης, τις πληροφορίες που αλλάζουν με τον χρόνο και την εξελισσόμενη κλινική πορεία ενός ασθενή. Η οργάνωση του ‘TCP’ είναι τέτοια ώστε να οργανώνει το σύστημα σε δεδομένα τα οποία φυλάγονται σε μεταβλητές που ορίζονται από το χρήστη στη βάση δεδομένων και να κάνει συλλογισμό πάνω σε ομοιογενή διαστήματα για συστατικά μέρη τα οποία ορίζονται πάλι από το χρήστη στις μονάδες οι οποίες λειτουργούν στις μεταβλητές. Μια μονάδα επικοινωνεί με μία άλλη μονάδα μέσω μεταβλητών και ορίζει τις εισόδους και εξόδους της. Οι συνδέσεις αυτές, έμμεσα καθιερώνουν τη δομή εξάρτησης των δεδομένων για το σύστημα. Οι μεταβλητές που αποτελούν τις εισόδους και εξόδους, περιγράφουν την εξάρτηση των δεδομένων της μονάδας. Οι δηλώσεις των εξαρτήσεων των δεδομένων επιτρέπουν στο σύστημα ‘TCP’ να προγραμματίζει την εκτέλεση των μονάδων ως ανταπόκριση στις αλλαγές των δεδομένων. Επίσης, κάθε μονάδα μπορεί να υπολογίσει οποιαδήποτε συνάρτηση των επιθυμητών εισόδων της και να μεταφέρει τα αποτελέσματα στις μεταβλητές εξόδους της. Οι μονάδες μπορούν να επηρεάσουν τη δική τους εκτέλεση χρησιμοποιώντας μια εσωτερική κατάσταση. Οι διαδικασίες συσχετίζονται με τις μονάδες. Με την εκτέλεση μίας διαδικασίας δημιουργείται μια καινούργια διαδικασία για κάθε μονάδα. Ακολούθως, το σύστημα ελέγχου είναι υπεύθυνο για την αναγκαία καταγραφή των καταστάσεων έτσι ώστε να διασφαλίσει ότι όλες οι μονάδες λειτουργούν στα τρέχοντα δεδομένα. Αυτό επιτρέπει την αλλαγή των δεδομένων χωρίς να χρειαστεί ο προγραμματιστής να το λάβει ρητά υπόψη. Ακόμα, η δομή ελέγχου ελέγχει την εσωτερική κατάσταση των μονάδων, έτσι ώστε οι αλλαγές στην κατάσταση να μπορούν να ωθήσουν την επανεκτέλεση μιας μονάδας συλλογισμού [50]. Ο χρονοπρογραμματιστής, είναι αρμόδιος για τη διατήρηση μιας ενημερωμένης περιγραφής της κατάστασης συλλογισμού. Επιπλέον, επιτρέπει τη διόρθωση λανθασμένων δεδομένων αλλά δεν ενδιαφέρεται για τη σειρά με την οποία τα δεδομένα τίθενται στη διάθεση του συστήματος.

Στο σύστημα ελέγχου υπάρχουν τρεις βασικές οντότητες στο επίπεδο του χρήστη: οι μεταβλητές, οι μονάδες και τα συστήματα. Οι μεταβλητές και οι μονάδες είναι οργανωμένες στα συστήματα. Δεν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών συστημάτων. Οι μεταβλητές στο σύστημα ‘TCS’ πρέπει να είναι καθορισμένες και

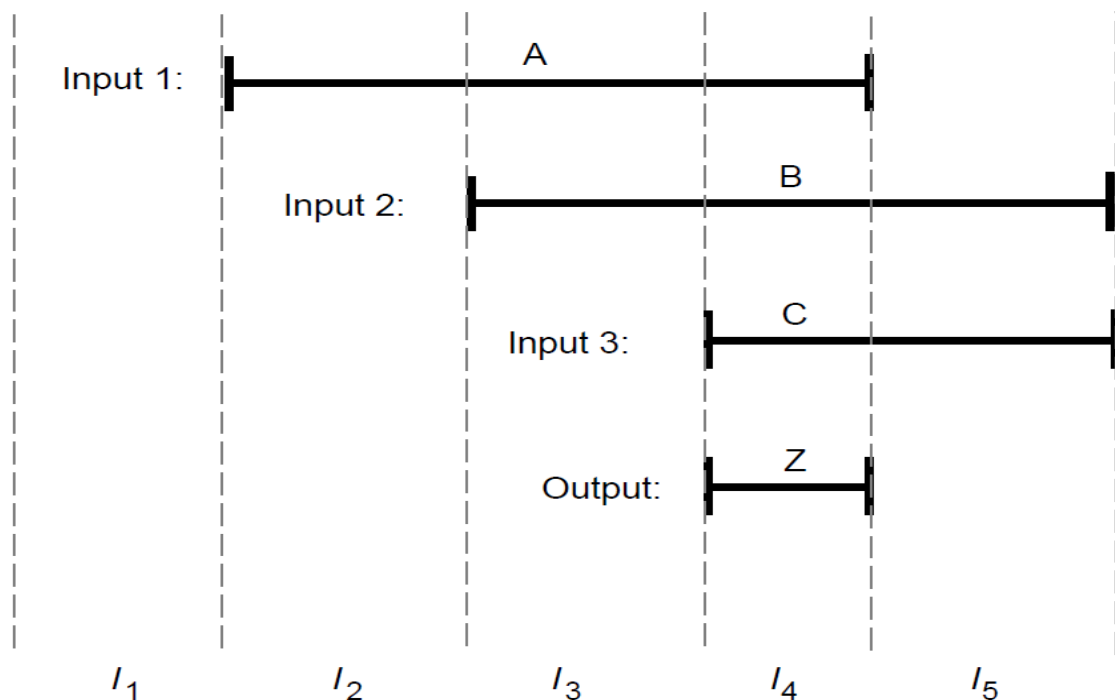
χρησιμοποιούνται για να κρατούν πληροφορίες που εξαρτώνται από το χρόνο [50]. Υπάρχουν δύο τύποι χρονικών μεταβλητών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, το χρονικό σημείο που συνδέει μία μοναδική χρονική τιμή (πχ. μια ακριβής ημερομηνία) με κάθε δεδομένο και τα διαστήματα (χρονικές εκτάσεις στις οποίες οι τιμές είναι έγκυρες) που συνδέουν μια μη μηδενική διάρκεια και έχουν ένα αρχικό και τελικό χρόνο [52]. Δεν υπάρχουν ιδιαίτεροι περιορισμοί στις τιμές που μπορούν να πάρουν οι μεταβλητές και ο χρόνος που συνδέεται με τιμές μεταβλητών πρέπει να διευκρινίζεται επακριβώς. Ο μόνος περιορισμός στις τιμές είναι ότι πρέπει να υπάρχει ένα κατηγορηματικό ισότιμο όπως είναι για παράδειγμα η συνάρτηση 'equal'. Επιπλέον, το σύστημα καθορίζει από μόνο του τρία είδη μεταβλητών, τα 'now', 'past' και 'future' τα οποία περιέχουν πληροφορίες για τη χρονική κατάσταση του συστήματος. Η μεταβλητή 'now' είναι πάντοτε ρυθμισμένη στον τρέχοντα χρόνο και η τιμή της θα είναι ο τρέχοντας χρόνος. Το μέρος της τιμής και το μέρος του χρόνου της μεταβλητής είναι τα ίδια. Από τη στιγμή που η πιο πάνω μεταβλητή είναι μεταβλητή ενός σημείου, η τιμή της θα είναι διαθέσιμη μόνο μέσα στο διάστημα το οποίο περιέχει το σημείο. Ακολουθώντας, οι μεταβλητές 'past' και 'future' έχουν την τιμή έστω t_1 το διάστημα από το :-άπειρο στον τρέχοντα χρόνο και την τιμή t_2 από τον τρέχοντα χρόνο στο :άπειρο. Αν χρησιμοποιηθούν οι πιο πάνω μεταβλητές, αυτές θα τμηματοποιήσουν τη διαδικασία για οποιαδήποτε μονάδα έτσι ώστε ένα διάστημα να τελειώνει στον τρέχοντα χρόνο και ένα άλλο να αρχίζει στον τρέχοντα χρόνο λόγω της φύσης του προγραμματισμού της διαδικασίας με τιμές διαστημάτων. Έτσι, είναι σημαντική η γνώση του τρέχοντος χρόνου και η ικανότητα αναγνώρισης του συλλογισμού στο παρελθόν με αυτού στο μέλλον. Συγκεκριμένα, οι ενέργειες μπορούν να αλλάξουν στο μέλλον, ενώ οι επεξηγήσεις μπορούν να αλλάξουν σε οποιοδήποτε χρόνο. Αν οι τιμές μιας μεταβλητής αλλάξουν, η δομή εξάρτησης των δεδομένων βεβαιώνει ότι όλες οι επηρεασμένες μονάδες εκτελούνται. Οι καινούργιες τιμές της μεταβλητής ελέγχονται έναντι των παλαιών τιμών έτσι ώστε να σταματήσει η παραγωγή τιμών μόλις καμία περαιτέρω αλλαγή δεν ανιχνεύεται.

Η κύρια έμφαση στη μεθοδολογία του συστήματος 'TCS' είναι η δημιουργία της λεγόμενης 'αφαιρετικότητας μιας κατάστασης' [53]. Η αφαιρετικότητα αυτή, αποτελείται από συνεχείς διαδικασίες σε χρονικά διαστήματα σταθερής κατάστασης όταν όλες οι μεταβλητές της βάσης δεδομένων που είναι σχετικές με τις βασιζόμενες

στη γνώση συλλογιστικές μονάδες του συστήματος είναι γνωστό ότι είναι καθορισμένες σε μια συγκεκριμένη τιμή. Η αφαιρετική κατάσταση των διαστημάτων είναι παρόμοια με τις καταστάσεις του συστήματος VM, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν ως σκανδάλες για τους βασισμένους σε πλαίσια κανόνες του VM. Το σύστημα ‘TCS’, παρουσιάζεται ως ένας ρυθμιστής παρακολούθησης του συστήματος μεταξύ της βάσης δεδομένων και του κανόνα περιβάλλοντος όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.3. Οι πραγματικές διαδικασίες συλλογισμού (πχ. συγκεκριμένοι κανόνες ενός πεδίου) ενεργοποιούνται από το σύστημα ‘TCS’ πάνω σε όλα τα διαστήματα τα οποία αναπαριστούν τέτοιες σταθερές καταστάσεις και έτσι μπορούν να κάνουν συλλογισμό ακόμα και αν οι κανόνες δεν αναπαριστούν ρητά το χρόνο. Η αγνόηση του χρόνου από τους κανόνες επιτρέπεται καθώς, με βάση τον ορισμό, μετά που έχουν αναλυθεί από το σύστημα ελέγχου τα διάφορα χρονικά διαστήματα τα οποία αναπαριστούν διαφορετικές προτάσεις σε ομοιογενή υποδιαστήματα σε σταθερή κατάσταση, δεν μπορεί να υπάρξει αλλαγή σε καμία από τις παραμέτρους που σχετίζονται με τον κανόνα μέσα στα υποδιαστήματα και ο χρόνος δεν αποτελεί πλέον κύριο παράγοντα. Το Σχήμα 4.4, δείχνει ένα παράδειγμα ενός συνόλου από προτάσεις βασιζόμενες σε ένα διάστημα οι οποίες χωρίζονται σε διαστήματα μιας σταθερής κατάστασης. Το σύστημα ελέγχου επικαλείται τον κανόνα για κάθε ένα από αυτά τα διαστήματα. Κάθε κανόνας χρησιμοποιείται μια φορά σε κάθε ένα από τα διαστήματα I1-I5 και τα αποτελέσματα του κανόνα επίκλησης συνδυάζονται σε διαστήματα εγκυρότητας και μη εγκυρότητας από το σύστημα ελέγχου.



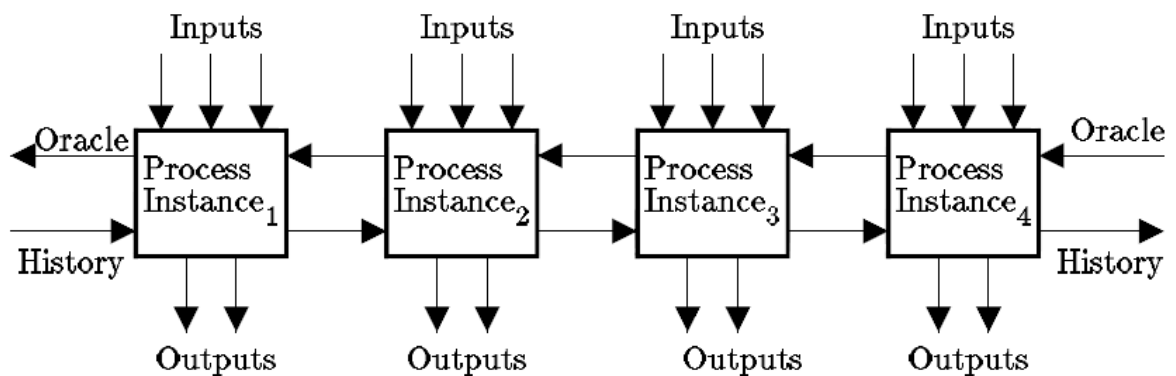
Σχήμα 4.3. Το περιβάλλον κανόνα του συστήματος ‘TCS’. Ένα σύστημα παρακολούθησης εισάγεται μεταξύ της βάσης δεδομένων του συστήματος και του περιβάλλοντος στο οποίο ερμηνεύονται οι κανόνες του χρήστη [51].



Σχήμα 4.4. Διαχωρισμός της βάσης δεδομένων με τη δημιουργία σταθερών διαστημάτων στο σύστημα ‘TCS’. Σε όλα τα σταθερά συστατικά στοιχεία $I1-I5$ στα οποία δεν υπάρχει αλλαγή στις προϋποθέσεις, θα συνδεόταν ένας κανόνας όπως για παράδειγμα, AN A και B και C, TOTE Z [51].

Η χρονική δομή παρακολούθησης των συστατικών στοιχείων του ‘TCS’ αντιστοιχεί σε ένα διακριτό μοντέλο χρόνου. Δεν επιτρέπονται ασαφή χρονικά διαστήματα, γεγονός το οποίο αποτελεί ένα αποτελεσματικό μέτρο για την αποτροπή της διακλάδωσης στο συλλογισμό σε δρομολογημένο χρόνο. Το σύστημα ‘TCS’, δημιουργεί μια διαδικασία για κάθε χρονικό διάστημα στο οποίο εκτελείται μια μονάδα. Η πιο πάνω διαδικασία έχει πρόσβαση μόνο στα δεδομένα εισόδου που εμφανίζονται μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα. Επιπλέον, το σύστημα ‘TCS’ έχει τη δυνατότητα να αλυσοδέσει τις διαδικασίες χρησιμοποιώντας μεταβλητές μνήμης. Όλοι οι υπολογισμοί της διαδικασίας εξετάζονται από το σύστημα ‘TCS’ ως μαύρα κουτιά. Το σύστημα ‘TCS’ είναι υπεύθυνο για την εφαρμογή αυτών των υπολογισμών στις κατάλληλες μεταβλητές, στα κατάλληλα χρονικά διαστήματα και για την αναβάθμιση τους, πρέπει η τιμή οποιασδήποτε μεταβλητής εισόδου να αλλάξει. Επιπρόσθετα, χρειάζεται να δηλωθεί η

εσωτερική πληροφορία μιας κατάστασης που χρησιμοποιείται σε περισσότερες από μια περιπτώσεις διαδικασιών. Η εσωτερική αυτή κατάσταση, αποτελεί είτε πληροφορία προερχόμενη από το παρελθόν (μεταβλητές ιστορίας) είτε πληροφορία η οποία προέρχεται από μελλοντικές διαδικασίες (μεταβλητές πρόβλεψης). Οι περιπτώσεις μιας διαδικασίας οι οποίες διαμορφώνουν μαζί τη χρονική ιστορία μιας συγκεκριμένης μονάδας στην εκτέλεση, επικοινωνούν μεταξύ τους με τη χρήση του μηχανισμού της ιστορίας και της πρόβλεψης (oracle). Το Σχήμα 4.5, είναι μια σχηματική όψη των περιπτώσεων μιας διαδικασίας η οποία δείχνει τη σχέση μεταξύ μιας σειράς από αυτές τις περιπτώσεις, τις εισόδους και εξόδους τους καθώς επίσης και τις εσωτερικές μεταβλητές ιστορία/oracle μιας κατάστασης.



Σχήμα 4.5. Σχηματική αναπαράσταση της αλυσίδας των διαδικασιών [51]

Συγκριτικά με άλλες εργασίες στην Τεχνητή Νοημοσύνη, οι οποίες έχουν εστιάσει την προσοχή τους στον καθορισμό των σχέσεων μεταξύ διαφορετικών χρονικών διαστημάτων, στη δημιουργία ενός υπολογισμού για το χειρισμό αυτών των σχέσεων και στη χρήση τεχνικών παραγωγής περιορισμών για τη στένωση των ορίων στις χρονικές δηλώσεις, το σύστημα ‘TCS’ δεν εξετάζει τέτοια θέματα. Αντιθέτως, το σύστημα ‘TCS’ υποθέτει ότι ο χρόνος για τα δεδομένα είναι διαθέσιμος και ότι ο βαθμός οποιασδήποτε περιόδου εγκυρότητας μπορεί να υπολογιστεί ακριβώς. Το σύστημα ‘TCS’ του Russ λοιπόν, υποστηρίζει συλλογισμό σε χρονικά προσανατολισμένα πεδία επιτρέποντας στις εξαρτώμενες από το πεδίο συμπερασματικές διαδικασίες να αγνοούν χρονικά θέματα. Ένα παράδειγμα τέτοιου χρονικού θέματος είναι, οι χρονοσφραγίδες οι οποίες είναι συνδεδεμένες με τιμές

μετρήσιμων μεταβλητών [51]. Επιπρόσθετα, στον τομέα της ιατρικής, μερικές ιατρικές εφαρμογές με τη βοήθεια μίας χρονικά προσανατολισμένης βάσης δεδομένων για την αναζήτηση αιτιολογικών σχέσεων, περιέλαβαν την ερμηνεία κλινικών δεδομένων χρησιμοποιώντας χρονικά μοντέλα [12] και το πρόγραμμα VM [18] το οποίο αξιολογεί τα δεδομένα και τις τάσεις με την πάροδο του χρόνου και ελέγχει τη μεταβίβαση μεταξύ των καταστάσεων στη μηχανική θεραπεία των εξαιρεσιστήρων. Ωστόσο, το κυριότερο μειονέκτημα του VM είναι ότι δεν μπορεί να αναθεωρήσει τα συμπεράσματα όταν οι πληροφορίες δεν φθάνουν έγκαιρα. Το σύστημα 'TCS', εξαφανίζει αυτήν την ανεπάρκεια με την προσθήκη της ικανότητας να αναθεωρεί παλαιές πληροφορίες και να διαχειρίζεται δεδομένα που καταφθάνουν χωρίς χρονολογική σειρά. Επιπλέον, παρέχει μία πιο εύχρηστη διάταξη για την προδιαγραφή των διαδικασιών αποφάσεων από τη μορφή που χρησιμοποιείται στο VM και η οποία βασίζεται σε κανόνες. Έτσι, το σύστημα 'TCS' εξετάζει χρονικά προβλήματα όπως για παράδειγμα είναι, η δυνατότητα ορθής χρήσης δεδομένων που φθάνουν χωρίς χρονολογική σειρά και η ορθή ενσωμάτωση των αλλαγών σε προηγούμενα αναφερόμενα δεδομένα. Η αναβάθμιση πληροφοριών, είναι μια επιλεκτική διαδικασία η οποία ακολουθεί τις εξαρτήσεις των δεδομένων και διαδίδει τις αλλαγές έως ότου το σύστημα συλλογισμού να φθάσει σε μια ήρεμη κατάσταση.

Η ανάλυση του συστήματος 'TCS' σε σχέση με το μοντέλο 'C-T-A' δεν ισχύει για την προσέγγιση του συστήματος 'TCS'. Συνοψίζοντας, το σύστημα 'TCS' είναι ένα χρονικό σύστημα συντήρησης παρά ένα σύστημα χρονικού συλλογισμού. Δεν έχει γνώση των χρονικών ιδιοτήτων των παραμέτρων του πεδίου και δεν έχει σημασιολογία για διαφορετικούς τύπους προτάσεων όπως για παράδειγμα των γεγονότων. Επίσης, δεν συλλογίζεται άμεσα με οποιοδήποτε από αυτούς τους τύπους προτάσεων [57]. Ένα αυτοματοποιημένο όργανο ελέγχου, μπορεί να επωφεληθεί από ένα αληθινό σύστημα συντήρησης το οποίο μπορεί να τροποποιήσει τη χρονική έκταση των συμπερασμάτων και να αλλάξει τη χρονική επιμονή των μεταβλητών. Η χρονική δομή παρακολούθησης 'TCS' [51], αναλαμβάνει τη διαχείριση και την αναβάθμιση τέτοιων πληροφοριών. Το 'TCS', διαμορφώνει μια διαδικασία ως ένα δίκτυο μονάδων, η καθεμία από τις οποίες ενημερώνει την αλήθεια των προτάσεων ή τις τιμές των μεταβλητών με την πάροδο του χρόνου. Οι είσοδοι και οι έξοδοι των διαφόρων μονάδων είναι διασυνδεδεμένοι και έχουν χρονική επέκταση. Έτσι, τα πρόσφατα δεδομένα μερικών μονάδων μπορούν να

επηρεάσουν τη διάρκεια των συμπερασμάτων σε άλλες μονάδες. Το σύστημα ‘TCS’ λοιπόν, συντηρεί μια χρονική βάση δεδομένων και αναβαθμίζει αυτόματα τις αποφάσεις οι οποίες βασίζονται σε πληροφορίες που αλλάζουν. Τα δεδομένα μπορούν να φυλάγονται ως γεγονότα ενός χρονικού σημείου ή ως σαφή χρονικά διαστήματα σταθερής κατάστασης για συγκεκριμένα πλαίσια κανόνων τα οποία διατηρούνται από το ίδιο το σύστημα. Με την επισημάνση της δομής εξάρτησης, το TCS μπορεί να βεβαιώσει την πλήρη διάδοση των πληροφοριών καθώς φθάνουν ή αλλάζουν. Ωστόσο, το σύστημα ‘TCS’, αφήνει όλο το συγκεκριμένο πλαίσιο χρονικού συλλογισμού στις λειτουργίες εκφρασμένες σε γλώσσα προγραμματισμού Lisp που δημιουργούνται από το χρήστη. Το σύστημα ‘TCS’, αποτελεί μια ακραία περίπτωση συστήματος καθώς δεν εκτελεί κάποιο χρονικό συλλογισμό ο οποίος εξαρτάται από το πεδίο. Παρόλα αυτά, εκτελεί μια ικανοποιητική ποσότητα χρονικής, διαχειριστικής εργασίας η οποία είναι ανεξάρτητη του πεδίου έτσι ώστε να βεβαιωθεί ότι ο χρήστης δεν θα μπορούσε να ανησυχήσει για το χρόνο. Έτσι, το ‘TCS’ θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ένα σύστημα υποστήριξης χρονικού συλλογισμού. Το σύστημα ‘TCS’, διαφέρει από άλλα συστήματα ιατρικού ελέγχου στη χρήση ενός εκτενούς συστήματος για την αναβάθμιση των πληροφοριών και το χειρισμό δεδομένων τα οποία δεν φθάνουν σε χρονολογική σειρά. Η χρονική αναπαράσταση που χρησιμοποιείται στη δομή ελέγχου είναι, ακέραιοι αριθμοί επεκτεινόμενοι από τη συμπερίληψη δύο διακεκριμένων τιμών, :-άπειρο και :άπειρο οι οποίες αναπαριστούν την αρχή και το τέλος της χρονικής γραμμής αντίστοιχα. Οι περισσότερες άλλες εργασίες που έγιναν στο χρονικό συλλογισμό, σχετίζονται με την ανάπτυξη γενικών αναπαραστάσεων για το χρόνο ή το συλλογισμό για τις χρονικές σχέσεις μεταξύ των δεδομένων που εμφανίζονται σε διαφορετικούς χρόνους [53]. Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι, έχει εστιαστεί λίγη έρευνα στο πρόβλημα του χειρισμού δεδομένων που φθάνουν με την πάροδο του χρόνου ή στον τρόπο που γίνεται η αναβάθμιση των υπάρχοντων συμπερασμάτων όταν τα παλαιότερα δεδομένα αλλάζουν.

Η φιλοσοφία της αρχιτεκτονικής του TCS, η οποία αφήνει την εργασία του χρονικού συλλογισμού στον κώδικα του χρήστη, έρχεται σε αντιπαράθεση με την ιδέα άλλων συστημάτων όπως για παράδειγμα, του συστήματος RÉSUMÉ, των οποίων οι μηχανισμοί παρέχουν διαδικασίες χρονικού συλλογισμού που είναι συγκεκριμένες στην εργασία της ερμηνείας της χρονικής αφαιρετικότητας. Επιπρόσθετα, οι συγκεκριμένες

μονάδες του πεδίου του συστήματος ‘TCS’ εφαρμόζονται ως ένας αυθαίρετος Lisp κώδικας σε αντίθεση με άλλα συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν τους δικούς τους μηχανισμούς χρονικής αφαιρετικότητας οι οποίοι είναι ανεξάρτητοι του πεδίου, αλλά στηρίζονται σε μια καλά καθορισμένη και ομοιόμορφα παραστατική, συγκεκριμένου πεδίου γνώση χρονικής αφαιρετικότητας [57]. Τέλος, ο Russ υπογράμμισε μια επιστημολογία για χρονική αφαιρετικότητα για τη χρονική δομή ελέγχου του ‘TCS’. Εφάρμοσε ένα χρονικό αφαιρέτη δύο σημείων βασιζόμενο στην αντοχή των τιμών των δεδομένων.

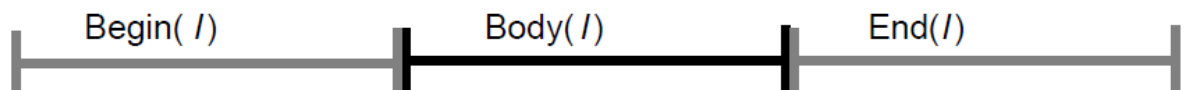
Η βιβλιογραφική συγκριτική ανάλυση συνεχίζεται με τη διερεύνηση της διαγνωστικής χρονικής απαγωγικής αρχιτεκτονικής των Console και Torasso [11]. Οι συγγραφείς αυτοί, προτείνουν μια χρονική αρχιτεκτονική βασιζόμενη στη λογική και συγκεκριμένα στη χρήση ενός παθοφυσιολογικού μοντέλου για τη διαγνωστική επίλυση προβλημάτων στην ιατρική, όπου αναπαριστώνται ρητά οι αιτιολογικές και χρονικές σχέσεις. Η πιο πάνω αρχιτεκτονική, είναι μια επέκταση του αιτιολογικού συστατικού στοιχείου του μη χρονικού διαγνωστικού συστήματος CHECK, το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί στη μοντελοποίηση της παθοφυσιολογίας στους τομείς της κίρρωσης και της λέπρας. Σε ένα επεκτάσιμο πλαίσιο όπως το πιο πάνω, είναι απαραίτητη η στενή συνεργασία μεταξύ του απαγωγικού και χρονικού συλλογισμού έτσι ώστε να επιλυθούν τα διαγνωστικά προβλήματα με ορθότερο τρόπο. Οι Console και Torasso λοιπόν, συζητούν τον τύπο των χρονικών πληροφοριών που μπορούν να αναπαρασταθούν ρητά με βάση το φορμαλισμό που βασίζεται σε αιτιολογικά δίκτυα καθώς και το αντίκτυπο που έχουν οι χρονικές πληροφορίες στο χαρακτηρισμό των διαγνωστικών προβλημάτων. Όσον αφορά την αναπαράσταση του χρόνου στα αιτιολογικά μοντέλα, υποβάλλεται ο περιορισμός ότι η αρχή μιας επίδρασης δεν μπορεί να προηγηθεί της αρχής της αιτιολογίας [11]. Επιπρόσθετα, υιοθετήθηκαν ως πρωταρχικά αντικείμενα τα χρονικά σημεία. Τα διαστήματα ορίζονται ως “κυρτά” δηλαδή συνεχόμενα σύνολα χρονικών σημείων. Παρουσιάζονται ακόμα, δύο είδη σημαντικών χρονικών οντοτήτων, οι χρονικές επεκτάσεις των κόμβων και οι χρονικές καθυστερήσεις, οι οποίες αντιστοιχούν σε δύο πολύ διαφορετικές μορφές γνώσης. Το πρώτο είδος χρονικής οντότητας αποτελεί μέρος της πραγματικής γνώσης που χαρακτηρίζει μια συγκεκριμένη περίπτωση προς ανάλυση και το δεύτερο είδος χρονικής οντότητας, αποτελεί μέρος της γενικής γνώσης που αναπαρίσταται σε ένα αιτιολογικό μοντέλο και αποτελεί το βασικό

μηχανισμό για την υποβολή του περιορισμού ότι το αποτέλεσμα δεν μπορεί να προηγηθεί της αιτίας.

Οι Console και Torasso, προτείνουν ένα τρόπο ανάπτυξης των απαγωγικών και βασιζόμενων στη συνέπεια προσεγγίσεων στη διάγνωση συνδέοντας τα κριτήρια της κάλυψης και της συνέπειας. Πιο συγκεκριμένα, προτείνουν να επιλεγεί για κάλυψη, ένα υποσύνολο του γενικού συνόλου περιπτώσεων παρατηρήσεων ενώ το συμπλήρωμα της περάτωσης των παρατηρήσεων με τις παρατηρήσεις απαιτείται να είναι συνεπές με τη λύση. Πιθανώς, σε αυτήν την πρόταση, ο χρόνος να αφαιρείται έξω έτσι ώστε να απλοποιείται ο υπολογισμός της περάτωσης των παρατηρήσεων. Με βάση την επιλογή του υποσυνόλου των παρατηρήσεων που θα καλυφθούν, το οποίο οι εισηγητές περιγράφουν ως το κρίσιμο βήμα, μπορούν να διατυπωθούν διαφορετικές έννοιες κάλυψης και έτσι μπορεί να διατυπωθεί η ευλογοφάνεια της επεξήγησης η οποία κυμαίνεται να είναι είτε πολύ περιοριστική, καθώς τα πάντα πρέπει να καλυφθούν όπως για παράδειγμα, οι παρατηρήσεις της λειτουργικότητας και της δυσλειτουργικότητας, είτε πολύ χαλαρή, καθώς τίποτε δεν χρειάζεται να καλυφθεί. Οι εισηγητές, με στόχο την επιλογή της “καλύτερης” επεξήγησης εισηγούνται το κριτήριο της ελαχιστοποίησης των δυσλειτουργικών υποθέσεων ή της επαγωγικής ελαχιστοποίησης (minimality by implication).

Στα ιατρικά πεδία, παρουσιάζεται δυσκολία στο να πάρει κανείς ακριβείς χρονικές πληροφορίες όπως είναι για παράδειγμα, οι παρατηρήσιμες πληροφορίες (χρονική τοποθεσία των συμπτωμάτων) και ο χρόνος που χρειάζονται οι παθοφυσιολογικές διαδικασίες για την παραγωγή αποτελεσμάτων. Έτσι, για την παρουσίαση ανολοκλήρωτης γνώσης που αφορά χρονικά σημεία στα οποία ένα διάστημα ξεκινά και τελειώνει, δημιουργήθηκε η έννοια του μεταβλητού διαστήματος. Ένα μεταβλητό διάστημα, έστω το J_v είναι μια πλειάδα τεσσάρων χρονικών σημείων (t_1, t_2, t_3, t_4) . Το αρχικό ζευγάρι των χρονικών σημείων $[t_1, t_2]$ αποτελεί την αρχή του διαστήματος J_v και ονομάζεται $begin(J_v)$ ενώ το τελικό ζευγάρι των χρονικών σημείων $[t_3, t_4]$ αποτελεί το τέλος του διαστήματος J_v και ονομάζεται $end(J_v)$. Με βάση τον πιο πάνω τρόπο, το αρχικό ή το τελικό σημείο μιας χρονικής επέκτασης J διευκρινίζεται αόριστα και έτσι επιτρέπεται η αναπαράσταση της απόλυτης χρονικής αβεβαιότητας όπως συμβαίνει και στο HDP σύστημα. Οι Console και Torasso [11,12], παρουσιάζουν ένα μοντέλο από

χρονικά διαστήματα το οποίο σχεδιάστηκε για την αναπαράσταση αιτιολογικών μοντέλων για διαγνωστικό συλλογισμό. Οι πιο πάνω συγγραφείς, ορίζουν ένα μεταβλητό διάστημα ως το χρονικό διάστημα I αποτελούμενο από τρία διαδοχικά (convex) διαστήματα (πχ. το καθένα είναι ένα (convex) σύνολο από σημεία πάνω στη χρονική γραμμή). Το πρώτο διάστημα είναι το $\text{begin}(I)$, το δεύτερο ονομάζεται $\text{body}(I)$ και το τρίτο ονομάζεται $\text{end}(I)$ (Σχήμα 4.6). Το $\text{body}(I)$ είναι το μόνο σίγουρο διάστημα όπου η πρόταση που αναπαρίσταται από αυτό το διάστημα ισχύει. Οι Console και Torasso συζητούν τη σχετικότητα του χρονικού τους μοντέλου με την εργασία της διάγνωσης βασιζόμενης σε αιτιολογικά, παθοφυσιολογικά μοντέλα [11] και καταδεικνύουν τη χρήση του μοντέλου τους για κλινική διάγνωση χρησιμοποιώντας απαγωγικό συλλογισμό.



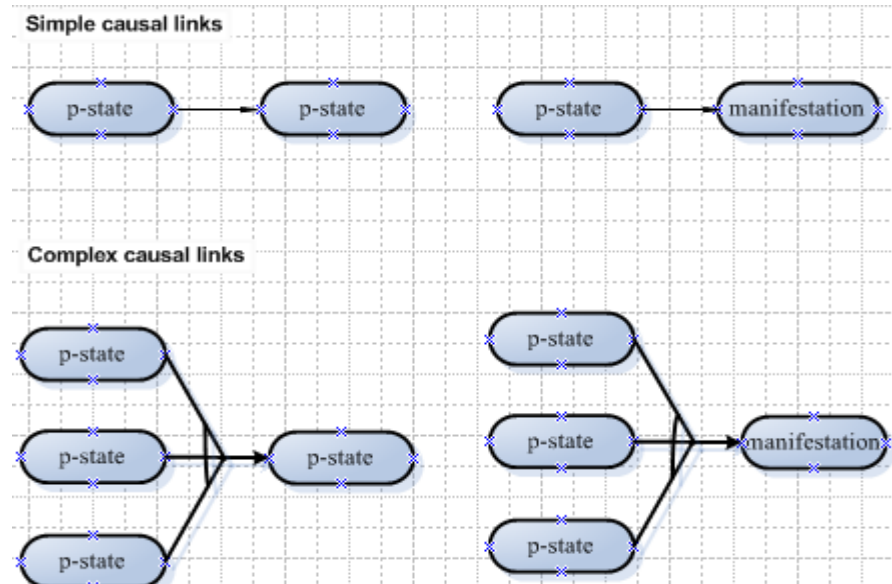
Σχήμα 4.6. Ένα μεταβλητό διάστημα I . Τα μεταβλητά διαστήματα αποτελούνται από ένα ορισμένο σώμα και από αβέβαια αρχικά και τελικά σημεία τα οποία αναπαριστώνται ως διαστήματα [12].

Η διαγνωστική γνώση με βάση την πρόταση των Console και Torasso, παρουσιάζεται ως ένα ενιαίο, άκυκλο, αιτιολογικό δίκτυο του οποίου τα τόξα σχετίζονται με χρονικές πληροφορίες που δηλώνουν ένα διάστημα (ελάχιστο και μέγιστο) για την καθυστέρηση μεταξύ της αρχής της αιτίας και της αρχής της επίδρασης. Μερικές από αυτές τις καθυστερήσεις συμπεριλαμβάνουν μικτές μονάδες χρόνου όπως για παράδειγμα, το ελάχιστο μια ώρα και το μέγιστο μια ημέρα. Όσον αφορά τη γνώση που περιγράφει τη σχέση μεταξύ των παθοφυσιολογικών καταστάσεων και των παρατηρήσιμων εκδηλώσεών τους, αυτή μπορεί να παρουσιαστεί μέσω του αιτιολογικού δικτύου. Οι κόμβοι ενός αιτιολογικού δικτύου ορίζουν συμπεράσματα όπως για παράδειγμα, εκδηλώσεις, αρχικές και ενδιάμεσες παθοφυσιολογικές καταστάσεις (p-states) καθώς επίσης περιεκτικές πληροφορίες (c-nodes). Οι εκδηλώσεις και οι περιεκτικές πληροφορίες είναι άμεσα παρατηρήσιμες οντότητες ενώ, οι παθοφυσιολογικές

καταστάσεις δεν είναι παρατηρήσιμες με εξαίρεση μερικών αρχικών καταστάσεων. Επιπλέον, μερικές από τις πιο πάνω καταστάσεις ορίζουν διαγνώσεις. Η μοντελοποίηση των παρατηρήσιμων συνθηκών (πχ. οι εκδηλώσεις) είναι εφικτή μέσω ενός ειδικού συνόλου κόμβων (πχ. κόμβοι των οποίων τα χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται για να δώσουν ένα καλύτερο χαρακτηρισμό του συμπεράσματος που αναπαριστάται από τον κόμβο). Κάθε χαρακτηριστικό έχει μια ξεχωριστή τιμή που δηλώνει τη λειτουργική τιμή του συμπεράσματος όπως για παράδειγμα είναι, η τιμή που συνδέεται με τη λειτουργική συμπεριφορά του μοντελοποιημένου συστήματος. Όλες οι άλλες γλωσσολογικές τιμές δηλώνουν τις δυσλειτουργικές, παθολογικές τιμές του συμπεράσματος και αντιστοιχούν σε εξωτερικές εκδηλώσεις των παθολογικών καταστάσεων στο δίκτυο. Η αρχικοποίηση ενός κόμβου συνεπάγεται την ανάθεση τιμών στα χαρακτηριστικά του και τον καθορισμό των χρονικών του επεκτάσεων ως ένα χρονικό μεταβλητό διάστημα.

Σύμφωνα με την αρχιτεκτονική των Console και Torasso, υπάρχουν δύο τύποι αιτιολογικών συνδέσμων, οι απλοί και οι σύνθετοι. Στο Σχήμα 4.7 διακρίνονται οι πιο πάνω τύποι αιτιολογικών συνδέσμων, των οποίων όλοι οι αιτιολογικοί σύνδεσμοι είναι απλού τύπου. Ένα αιτιολογικό τόξο στο δίκτυο, σχετίζει ένα προκείμενο με ένα συμπέρασμα το οποίο αποτελεί είτε μια p-state είτε μια εκδήλωση. Στην απλούστερη μορφή, ένα προκείμενο είναι συνήθως μια μοναδική p-state αλλά μπορεί να είναι και ένας σύνδεσμος από p-states και c-nodes με συμπερίληψη τουλάχιστο μιας p-state. Όπου περιλαμβάνονται σύνθετα αιτιολογικά προκείμενα, οι πληροφορίες καθυστέρησης ερμηνεύονται με αδύνατο τρόπο, είτε ως η καθυστέρηση μεταξύ του πρώτου σημείου στο χρόνο, όπου όλα τα στοιχεία στο προηγούμενο καθώς και το ξεκίνημα του επακόλουθου κρατούνται, είτε με ισχυρό τρόπο, ως οι ξεχωριστές καθυστερήσεις μεταξύ του ξεκινήματος κάθε συνδέσμου του προηγούμενου και του επακόλουθου. Με βάση τον ιατρικό διαγνωστικό συλλογισμό, η απαγωγική προσέγγιση υποστηρίζει ότι μέσω των αποτελεσμάτων μπορούν να συμπεραθούν οι αιτίες. Ως αποτέλεσμα, η αδύνατη ερμηνεία είναι πιο κοντά στον ανθρώπινο συλλογισμό αλλά είναι υπολογιστικά μη εφικτή, ενώ η ισχυρή ερμηνεία είναι περιορισμένη αλλά υπολογιστικά εφικτή. Επιπλέον, μέσω της αδύνατης ερμηνείας μπορεί να καθοριστεί η χρονική επέκταση μιας εικονικής κατάστασης που ορίζει τη συνύπαρξη διαφόρων κόμβων που εμπλέκονται. Αντίστοιχα, με βάση την ισχυρή ερμηνεία, μπορεί να

υπολογιστεί μέσω της χρονικής επέκτασης του επακόλουθου κόμβου και των πληροφοριών καθυστέρησης, η χρονική επέκταση κάθε συνδετικού κόμβου στο προκείμενο.



Σχήμα 4.7. Τύποι των αιτιολογικών συνδέσεων στην αρχιτεκτονική των Console και Torasso [12]

Η συγκεκριμένη πρόταση των Console και Torasso, υποστηρίζει ότι η αναπαράσταση της αιτιολογικής σχέσης είναι πλούσια από τη μη χρονική έννοια παρά από τη χρονική έννοια. Σε σχέση με τη χρονική πλευρά, οι χρονικές έννοιες ενός αιτιολογικού τόξου είναι απλές και περιοριστικές. Απλές από την άποψη ότι περιλαμβάνουν μόνο πληροφορίες καθυστερήσεων και περιοριστικές γιατί μια αιτία πρέπει να κάνει overlap μια επίδραση. Ένα αιτιολογικό τόξο μπορεί να συσχετιστεί με μια αυθαίρετη, λογική έκφραση των μη χρονικών, βασιζόμενων στα συμφραζόμενα παραγόντων, η οποία αποτελεί μια συνθήκη για την υλοποίηση της αιτιολογικής σχέσης. Ωστόσο, δεν αναφέρεται πουθενά αν αυτή η συνθήκη εμπλέκει επιπλέον χρονικούς περιορισμούς. Ένα αιτιολογικό τόξο εμπλέκει διάφορες συσχετίσεις μεταξύ του συνδυασμού κόμβος – χαρακτηριστικό-τιμή των προηγούμενων κόμβων του προκειμένου και του συνδυασμού του ζευγαριού χαρακτηριστικό – τιμή του επακόλουθου κόμβου συμπεράσματος. Σε περίπτωση που δεν ικανοποιηθεί καμία από τις πιο πάνω συσχετίσεις, το αιτιολογικό τόξο ανακαλείται. Υπάρχει ακόμα η δυνατότητα ύπαρξης πολλαπλών αιτιολογικών

τόξων με απλούς ή σύνθετους κόμβους προκειμένου, οι οποίοι μοιράζονται τον ίδιο επακόλουθο κόμβο συμπεράσματος.

Συγκρίνοντας αυτήν την εφαρμογή με την προηγούμενη και τις αμέσως επόμενες εφαρμογές που θα αναφερθούν, διακρίνουμε ότι η αρχιτεκτονική που περιγράφηκε πιο πάνω δεν περιλαμβάνει πληροφορίες για τη διάρκεια των κόμβων στο αιτιολογικό δίκτυο. Συνήθως, στην ιατρική η διαθέσιμη ιατρική γνώση αφορά κυρίως πληροφορίες για τυχόν καθυστερήσεις ενώ οι χρονικές επεκτάσεις προκύπτουν δυναμικά και αποτελούν πραγματικές πληροφορίες για συγκεκριμένες διαγνωστικές περιπτώσεις. Αντίστοιχα, οι πραγματικές χρονικές επεκτάσεις των μη παρατηρήσιμων καταστάσεων πιθανότατα να χρειαστεί να δώσουν συμπέρασμα και η γενική γνώση που αφορά την αντοχή των σχετικών συνθηκών μπορεί να προσφέρει σημαντική βοήθεια σε τέτοιου είδους συλλογισμό. Σε ιατρικά πεδία όπως είναι για παράδειγμα το σύστημα HDP και το t-PCT, μπορεί να είναι διαθέσιμη τέτοιου είδους γενική χρονική γνώση.

Έχοντας αναλύσει την πρόταση των Consolo και Torasso, διαπιστώνουμε ότι η διαγνωστική, χρονική, απαγωγική αρχιτεκτονική που προτείνουν δεν μπορεί να υποστηρίξει το C-T-A μοντέλο. Σε αντίθεση με το σύστημα HDP το οποίο λαμβάνει υπόψη τις θεραπευτικές ενέργειες, το επίπεδο των θεραπευτικών ενεργειών στη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική απουσιάζει. Επιπλέον, υποστηρίζεται η ύπαρξη της χρονικής αβεβαιότητας καθώς, η χρονική ύπαρξη των καταστάσεων και των εκδηλώσεων αποκτάται μέσω των χρονικών μεταβλητών που δηλώνουν την αβεβαιότητα που υπάρχει για το χρόνο έναρξης και λήξης ενός γεγονότος και το βέβαιο διάστημα χρόνου κατά το οποίο το γεγονός υπάρχει. Ακόμα, οι χρονικοί περιορισμοί εκφράζονται ως διαστήματα καθυστερήσεων μεταξύ της εμφάνισης των αιτιών και των αποτελεσμάτων. Με βάση τους συγγραφείς, η αναπαράσταση των πληροφοριών ενός ασθενή κρίνεται περιοριστική. Η αιτία είναι ο περιορισμός της έκφρασης επαναληπτικών γεγονότων καθώς μια παρατηρήσιμη παράμετρος μπορεί να πάρει μια δυσλειτουργική τιμή κατά τη διάρκεια ενός μοναδικού διαστήματος, ενώ κατά τη διάρκεια της υπόλοιπης περιόδου η οποία σχετίζεται με μια διαγνωστική δραστηριότητα, η παράμετρος αυτή να θεωρείται λειτουργική. Για τον τερματισμό του πιο πάνω περιορισμού σε σχέση με τα επαναληπτικά γεγονότα, οι συγγραφείς προτείνουν τη χρήση μη κυρτών (non-convex) χρονικών διαστημάτων και άρα

σημαντική αναθεώρηση της πρότασης τους. Επίσης, απουσιάζει η περιοδικότητα στο επίπεδο της διαγνωστικής γνώσης καθώς, το αιτιολογικό δίκτυο είναι ακυκλικό και κάθε ασθένεια δεν μοντελοποιείται ξεχωριστά με βάση το δικό της αιτιολογικό μοντέλο. Τέλος, σύμφωνα με την πρόταση των Consolo και Torasso δεν υποστηρίζεται η χρονική αφαιρετικότητα δεδομένων όπως είναι για παράδειγμα, οι χρονικές τάσεις αλλά ούτε και τα σύνθετα περιστατικά.

Το τέταρτο μοντέλο στο οποίο θα γίνει βιβλιογραφική ανάλυση είναι το CASNET (causal-associational network model). Το CASNET/GLAUCOMA, είναι ένα σύστημα που βασίζεται στη γνώση έτσι ώστε να βοηθάει στην εξέλιξη και θεραπεία των ασθενών με γλαύκωμα [62]. Προηγούμενη δουλειά, περιλαμβάνει την ανάπτυξη του πιο πάνω μοντέλου για την περιγραφή διαδικασιών ασθενειών και την εφαρμογή του σε ένα έμπειρου επιπέδου πρόγραμμα διαβούλευσης στο γλαύκωμα, το οποίο ενσωματώνει τη γνώση ενός εθνικού δικτύου κλινικών εμπειρών στην ασθένεια. Το μοντέλο CASNET, έφτασε ένα υψηλό επίπεδο ικανότητας όσον αφορά σύνθετες περιπτώσεις μιας ασθένειας. Ο όρος γλαύκωμα αναφέρεται σε ένα αριθμό χρόνιων συνθηκών του ματιού και ως προς τη σημασία που έχει στον τομέα της ιατρικής, αποτελεί κύρια αιτία τύφλωσης στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Σε περίπτωση που δεν γίνει κατάλληλη διαχείριση του γλαυκώματος, μπορεί να παρουσιαστεί εύκολα ανεπανόρθωτη απώλεια όρασης. Περίπλοκες περιπτώσεις όπως το γλαύκωμα, που δεν ανταποκρίνονται καλά σε συμβατικές θεραπείες, αναφέρονται συχνά για ειδικές διαβουλεύσεις. Το σύστημα CASNET/GLAUCOMA λοιπόν, είναι ένα διαβουλευτικό σύστημα που χρησιμοποιείται από παθολόγους. Για διευκόλυνση, θα γίνεται αναφορά σε αυτό ως το σύστημα CASNET.

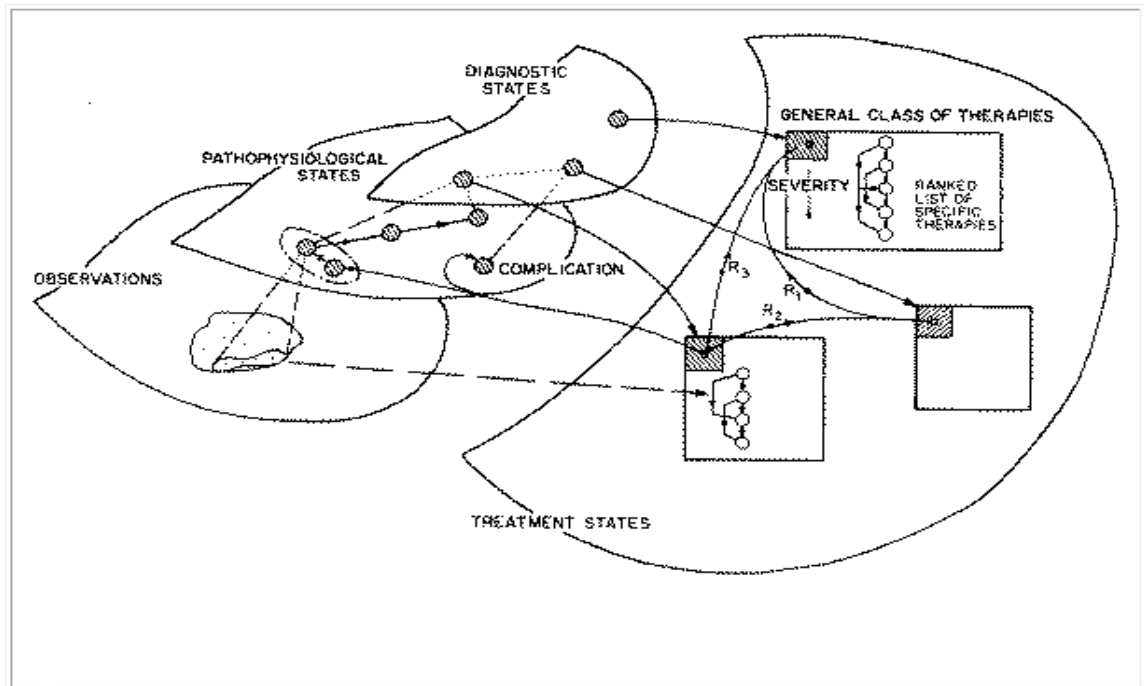
Ο αιτιολογικός συλλογισμός, ορίζεται ως η χρήση της βαθιάς γνώσης ενός πεδίου (πχ. παθοφυσιολογίας, ανατομίας) για την διευκόλυνση της διαδικασίας δημιουργίας αποφάσεων. Μερικά από τα βασικά πλεονεκτήματα του αιτιολογικού συλλογισμού είναι, η δυνατότητα περιγραφής της εξέλιξης των ασθενειών με την πάροδο του χρόνου, συλλογισμού των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ασθενειών και κατανόησης συγκεκριμένων μηχανισμών. Το CASNET ήταν το πρώτο ιατρικό, έμπειρο σύστημα το οποίο βασιζόταν σε αιτιολογικές εντολές. Αναπτύσσοντας τον αιτιολογικό-συσχετιστικό CASNET φορμαλισμό του δικτύου, παράχθηκε η χρήση μιας

εννοιολογικής δομής για την αναπαράσταση διαδικασιών της ασθένειας. Το αιτιολογικό δίκτυο του CASNET, μπορεί να θεωρηθεί ως ένας ειδικός τύπος μιας τέτοιας αναπαράστασης δηλαδή, ως ένα εννοιολογικό δίκτυο [64]. Αν και το σύστημα CASNET χρησιμοποιεί ένα δίκτυο από καταστάσεις που σχετίζονται αιτιολογικά και ορίζει τις ασθένειες ως μονοπάτια σε αυτό το δίκτυο, ο πρωταρχικός μηχανισμός συλλογισμού του είναι εντούτοις, η τοπική διάδοση των βαρών πιθανότητας.

Η γνώση του CASNET, αναπαρίσταται στο σύστημα ως ένα δίκτυο από παθοφυσιολογικές καταστάσεις και σχεδιάστηκε για να βοηθήσει στη διάγνωση του γλαυκώματος. Το δίκτυο των παθοφυσιολογικών καταστάσεων, αναπαριστά τη λεπτομερή δυσλειτουργία της φυσιολογίας (όχι ολοκληρωμένες ασθένειες), ένα σύνολο δοκιμών που παρέχουν τις αποδείξεις για την πιθανότητα ύπαρξης αυτών των υπό εξέταση καταστάσεων στον ασθενή και τους αιτιολογικούς συνδέσμους μεταξύ των καταστάσεων οι οποίοι παρέχουν υποκειμενική αξιολόγηση των πιθανοτήτων μετάβασης της ασθένειας που προχωρεί από μια κατάσταση σε άλλη. Ακολουθώντας, κάθε ασθένεια περιγράφεται ως ένα πιθανό σχέδιο από αιτιολογικές σχετικές καταστάσεις. Η διάγνωση πραγματοποιείται αφού πρώτα επιβεβαιωθούν ή απορριφθούν οι μεμονωμένες παθοφυσιολογικές καταστάσεις και αργότερα ταιριάζουν τα σχέδια των καταστάσεων με αυτά που περιγράφηκαν για κάθε ασθένεια. Ουσιαστικά, όλος ο συλλογισμός του συστήματος CASNET είναι πιθανολογικός στο επίπεδο δοκιμής, επιβεβαίωσης ή άρνησης των καταστάσεων στο δίκτυο. Η αιτιολογική γνώση χρησιμοποιείται πρωτίστως για τη διάδοση πιθανολογικών βαρών για τον καθορισμό της πιο κατάλληλης επόμενης κατάστασης προς έρευνα. Αν και το πρόγραμμα μπορεί να υποθέσει ταυτοχρόνως την παρουσία των πιθανολογικών καταστάσεων, δεν έχει την ικανότητα να υποθέσει ρητά την παρουσία ή την απουσία της αιτιολογικής σχέσης μεταξύ των καταστάσεων. Το πρόγραμμα, δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει τις υποθετικές διαγνώσεις για να καθοδηγήσει τη διαγνωστική του έρευνα καθώς, διαχωρίζει τις διαδικασίες συλλογής πληροφοριών από αυτήν του προσδιορισμού της πιθανότερης ασθένειας. Επιπρόσθετα, το πρόγραμμα στηρίζεται σε μεγάλο ποσοστό στην ικανότητα της άμεσης επιβεβαίωσης ή άρνησης των περισσότερων παθοφυσιολογικών καταστάσεων από τις δοκιμές. Έτσι, οι τεχνικές που αναπτύχθηκαν από τον αιτιολογικό συλλογισμό σε αυτό το πρόγραμμα, δεν είναι εύκολα επεκτάσιμες σε προγράμματα για ευρύτερα πεδία της ιατρικής πείρας.

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του CASNET, είναι η ιεραρχική οργάνωση της βάσης γνώσης του. Στο χαμηλότερο επίπεδο βρίσκονται τα σημεία, τα συμπτώματα και έλεγχοι των ασθενών. Το μεσαίο επίπεδο αποτελείται από τις παθοφυσιολογικές καταστάσεις όπως είναι για παράδειγμα, το κερατοειδούς οίδημα και η ανυψωμένη ενδοφθάλμια πίεση. Το υψηλότερο επίπεδο γνώσης αποτελείται από κατηγορίες ασθενειών όπως είναι για παράδειγμα, το ανοικτής γωνιάς γλαύκωμα (open angle glaucoma), δευτερογενές γλαύκωμα κτλ. Οι διασυνδέσεις μεταξύ των επιπέδων, αναπαριστούν άμεσες αιτιολογικές σχέσεις, επιτρέποντας στις υψηλότερου επιπέδου ασθένειες να αντιμετωπιστούν ως συναθροίσεις των ευρημάτων ενός ασθενή και των παθοφυσιολογικών καταστάσεων. Η διαδικασία του συλλογισμού, πραγματοποιείται με την πλοήγηση ενός μονοπατιού από τα ευρήματα στην ασθένεια, εξετάζοντας τους κόμβους του μονοπατιού με βάση τον υπολογισμό της πιθανής τιμής για τον καθένα και μετά ακολουθώντας το υψηλότερο πιθανό μονοπάτι. Το περιγραφικό συστατικό στοιχείο του μοντέλου CASNET λοιπόν, περιλαμβάνει τέσσερα σύνολα στοιχείων. Το αρχικό σύνολο περιλαμβάνει τις παρατηρήσεις ή τα ευρήματα των σημείων των ασθενών, τα συμπτώματα και τα αποτελέσματα των ελέγχων όπως είναι για παράδειγμα, ο πόνος στο αριστερό μάτι ή η μέτρηση της ενδοφθάλμιας πίεσης. Τα πιο πάνω, σχετίζονται λογικά μεταξύ τους με βάση τους παρατηρήσιμους περιορισμούς. Το δεύτερο σύνολο, περιλαμβάνει τις παθοφυσιολογικές καταστάσεις οι οποίες περιγράφουν τις εσωτερικές, δυσλειτουργικές συνθήκες ή μηχανισμούς που μπορούν να προκαλέσουν άμεσα τα παρατηρήσιμα φαινόμενα και που συχνά συνοψίζουν μια ομάδα παρατηρήσεων. Οι πιο πάνω παθοφυσιολογικές καταστάσεις, μπορούν να συσχετιστούν με ένα δίκτυο το οποίο αποτελείται από σχέσεις της μορφής ‘αιτία-επίδραση’, έστω $s_i \rightarrow (a_{ij}) \rightarrow s_j$ όπου το a_{ij} αντιπροσωπεύει το βαθμό της αιτιολογικής σύνδεσης μεταξύ των καταστάσεων s_i και s_j . Μερικά παραδείγματα είναι, η ανυψωμένη ενδοφθάλμια πίεση και η γλαυκωματώδης απώλεια οπτικών πεδίων. Το τρίτο σύνολο, αποτελείται από τις καταστάσεις της ασθένειας οι οποίες ορίζονται στο υψηλότερο επίπεδο αφαιρετικότητας και μπορούν να εντάξουν ένα μοντέλο παθοφυσιολογικών καταστάσεων. Στο μοντέλο CASNET, δίνεται μεγάλη έμφαση στον ορισμό μιας ασθένειας σε σχέση με αιτιολογικά μονοπάτια καταστάσεων. Μερικά παραδείγματα τέτοιων ορισμών είναι, το ‘acute angle closure glaucoma’ και το ‘ciliary block mechanism’. Τέλος, το τέταρτο σύνολο, περιλαμβάνει διάφορα πλάνα θεραπείας ή γενικά τμήματα θεραπειών τα οποία αποτελούνται από σύνολα σχετικών θεραπειών που

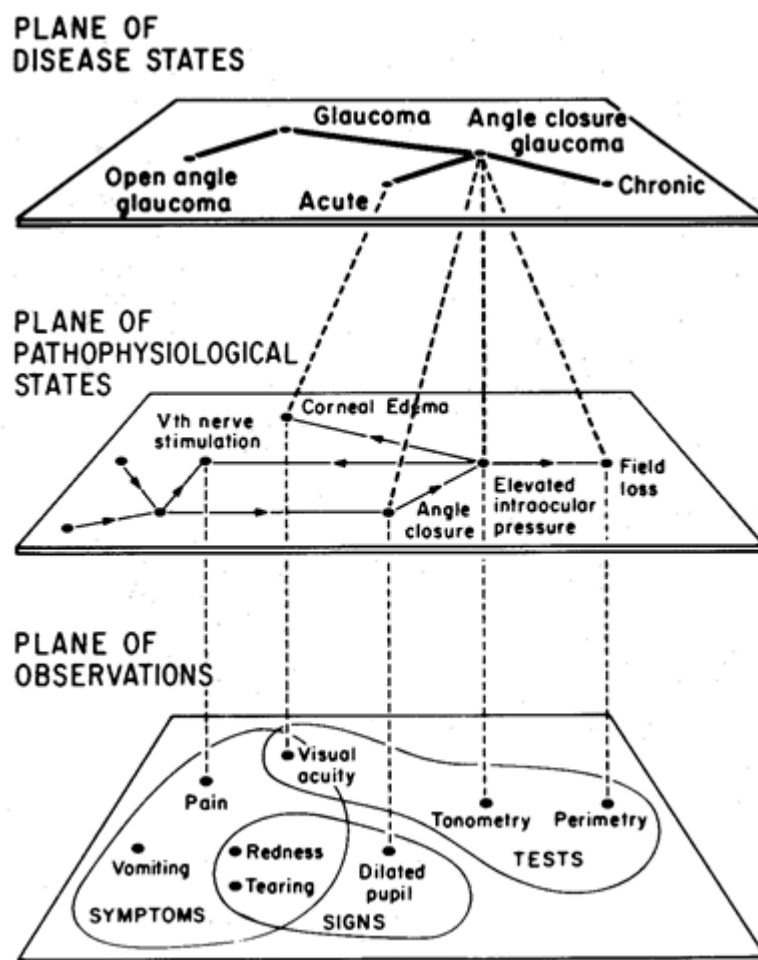
συνδέονται μεταξύ τους μέσω των περιορισμών των αλληλεπιδράσεων, της τοξικότητας, των μοντέλων κάλυψης και του χρόνου εξάρτησης της διαχείρισης. Ακόμα, οι θεραπείες συσχετίζονται με τις παθοφυσιολογικές καταστάσεις και τις ασθένειες που καλύπτουν. Οι τέσσερις τύποι των στοιχείων των δεδομένων, μαζί με μερικούς συνδέσμους από το φυσιολογικό συστατικό στοιχείο του CASNET διαφαίνονται στο Σχήμα 4.8 [65].



Σχήμα 4.8 Το μοντέλο CASNET για τις διαδικασίες μιας ασθένειας και θεραπείας [65]

Το μοντελοποιημένο σχήμα CASNET, έχει εξελιχθεί από το 1972 και αποτελείται από περιγραφικά και φυσιολογικά στοιχεία αναμιγμένα με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μπορούν να υιοθετηθούν δυναμικές στρατηγικές δημιουργίας αποφάσεων χωρίς να θυσιάζεται η γενικότητα της περιγραφής των υπογεγραμμένων διαδικασιών μιας ασθένειας. Οι πιο πάνω στρατηγικές, δηλώνουν το συμπέρασμα μιας παθοφυσιολογικής κατάστασης με ένα ορισμένο βαθμό εμπιστοσύνης από ένα παρατηρήσιμο πρότυπο ευρημάτων και την προτίμηση για μια θεραπεία με κάποιο βαθμό προσδοκίας των αποτελεσμάτων από ένα παρατηρήσιμο πρότυπο ευρημάτων. Οι αιτιολογικές αναπαραστάσεις μπορούν να χρησιμοποιούν ρητούς αιτιολογικούς συνδέσμους. Το σύστημα CASNET, έχει αιτιολογικούς κανόνες του τύπου στεροειδή φάρμακα =>

αυξανόμενη ενδοφθάλμια πίεση. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι δεν περιλαμβάνονται ρητά άλλοι πιθανοί φυσιολογικοί κανόνες στο φορμαλισμό του CASNET όπως για παράδειγμα, μεταξύ των παρατηρήσεων και των καταστάσεων μιας ασθένειας ή μεταξύ των παθοφυσιολογικών καταστάσεων και των θεραπειών. Οι γενικές στρατηγικές συλλογισμού, παράγουν τους πιο πάνω κανόνες με ένα δυναμικό, έμμεσο τρόπο μέσω των περιγραφικών σχέσεων των στοιχείων, με σκοπό τη διερμηνευση συγκεκριμένων ευρημάτων ενός ασθενή. Με βάση το γεγονός ότι οι έμπειροι παράγουν συχνά τέτοιου είδους διαφορετικές ποικιλίες κανόνων, οι οποίες δεν συμπίπτουν με την παραγόμενη στρατηγική τους, το σχήμα του CASNET γενικεύτηκε και επεκτάθηκε σε ένα πιο πρόσφατο έμπειρο σύστημα. Το συγκεκριμένο παράδειγμα γλαυκώματος των τριών επιπέδων της περιγραφής της ασθένειας φαίνεται στο Σχήμα 4.9 [65]. Η περίπτωση που παρουσιάζεται, ιχνογραφεί ένα αιτιολογικό μονοπάτι το οποίο αντιστοιχεί στο angle closure glaucoma και δείχνει τις συνδέσεις με τα παρατηρήσιμα δεδομένα. Το μοντέλο CASNET λοιπόν, αποτελείται από ένα περιγραφικό συστατικό στοιχείο το οποίο παρέχει ένα χαρακτηρισμό των διαδικασιών της ασθένειας και κατασκευάζεται σε τρία επίπεδα: παρατηρήσεις, παθοφυσιολογικές καταστάσεις και καταστάσεις της ασθένειας. Το δεύτερο ή φυσιολογικό συστατικό στοιχείο του μοντέλου, αποτελείται από κανόνες παραγωγής οι οποίοι επιτρέπουν να εξαχθεί συμπέρασμα από τις παρατηρήσεις και τις παθοφυσιολογικές καταστάσεις στις καταστάσεις μιας ασθένειας και από τις παθοφυσιολογικές καταστάσεις και τις καταστάσεις της ασθένειας στα σχέδια θεραπείας.



Σχήμα 4.9 Ένα παράδειγμα των τριών επιπέδων της περιγραφής μιας ασθένειας στο οποίο έγινε αφαιρετικότητα από το μοντέλο CASNET/Glaucoma [65]

Παρά τους περιορισμούς που παρουσιάζονται στο πρόγραμμα CASNET, εντούτοις αυτό επιτυγχάνει ένα επίπεδο απόδοσης που δεν ταιριάζει με κανένα πρόγραμμα. Έχοντας αναλύσει το μοντέλο CASNET, διαπιστώνουμε ότι δεν καλύπτει και τα πέντε επίπεδα του μοντέλου C-T-A. Ένα κοινό παράπονο που αφορά τα ιατρικά διαγνωστικά συστήματα είναι ότι, είναι ανέκδοτο να συλλογιστούν την πορεία μιας ασθένειας ή να δώσουν συμβουλή για τη θεραπεία των ασθενών μετά από πολλαπλές επισκέψεις. Παρόλο που το σύστημα CASNET δεν επιλύει περιεκτικά αυτά τα προβλήματα και στερείται ενός ποσοτικού μοντέλου του χρόνου, πήρε μερικά αρχικά βήματα για την αναγνώριση και ταυτοποίηση των θεμάτων. Το σύστημα CASNET, διαχειρίζεται πολλαπλές επιστροφές επίσκεψης ενός ασθενή φυλάγοντας όλες τις παλαιές

πληροφορίες σε μια βάση δεδομένων από όπου μπορούν να ανακτηθούν τα στοιχεία. Σε αυτήν ακόμα τη βάση δεδομένων, κρίνονται οι αλλαγές ή το ποσοστό της αλλαγής των φυσιολογικών παραμέτρων, των κλινικών εκδηλώσεων και η σχέση τους με τις διεργασίες θεραπείας. Σε αυτό το σύστημα λοιπόν, είναι σημαντικά τα χρονικά θέματα μιας ασθένειας για τον κλινικό συλλογισμό. Επιπλέον, οι πρόωρες εξερευνήσεις μας έχουν πείσει για τη σημαντικότητα των αιτιολογικών σχέσεων στην επεξήγηση και δικαιολογία του κλινικού συλλογισμού με βάση τους παθοφυσιολογικούς μηχανισμούς. Η γνώση που υπάρχει για το γλαύκωμα είναι τέτοια, που μπορεί κανείς να επεξηγήσει τα περισσότερα από τα παρατηρήσιμα φαινόμενα σε σχέση με αρκετά ικανοποιητικά αιτιολογικά μοντέλα. Το σύστημα CASNET, είναι ένα από τα πρώτα διαγνωστικά συστήματα που χρησιμοποιούν την αιτιολογία, παρόλο που η έννοια της αιτιολογίας είναι περισσότερο ιστορικής σειράς ή φάσεις των ασθενειών. Επιπλέον, πολλές από τις επιλογές θεραπείας βασίζονται στην κατανόηση των μηχανισμών της ασθένειας. Η χρήση ενός λεπτομερούς παθοφυσιολογικού μοντέλου, δίνει ένα σημαντικό πλεονέκτημα στο πρόγραμμα CASNET σε σχέση με άλλα προγράμματα ως προς τον χαρακτηρισμό της εξέλιξης μιας ασθένειας και την αποδοτική χρήση της γνώσης για την επιλογή της θεραπείας. Ακόμα, το πρόγραμμα CASNET, έχει τη δυνατότητα να παρέχει σύντομη αιτιολογική επεξήγηση για τα παρατηρούμενα ευρήματα και να λαμβάνει υπόψη τις επιπτώσεις της τρέχουσας θεραπείας στις διαγνωστικές παρατηρήσεις. Στη θεραπεία του γλαυκώματος, η αποτελεσματικότητα του φαρμάκου μπορεί να αξιολογηθεί ενόσω ο ασθενής υποβάλλεται σε θεραπεία ενώ παράλληλα, επαναξιολογούνται καινούργιοι εξεταζόμενοι παράγοντες και αξιολογείται η πιθανότητα τροποποίησης της υπάρχουσας διάγνωσης. Τους πιο πάνω παράγοντες αποτελούν, οι παρενέργειες, οι περιπλοκές της ασθένειας για τις οποίες η τρέχουσα θεραπεία δεν είναι αποτελεσματική, οι συνθήκες που δεν ανιχνεύτηκαν κατά τη διάρκεια των αρχικών επισκέψεων, ολόκληρο το παλαιό ιστορικό και η επαναξιολόγηση ενός συνόλου από ενημερωμένα αποτελέσματα. Μερικοί από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της θεραπείας και χρειάζεται να εξετάζονται είναι, η τρέχουσα διαγνωστική κατάσταση, το παλαιό ιστορικό και οι επιθυμητές και αναμενόμενες εκβάσεις του ασθενή. Αν και το σύστημα CASNET δεν αναπαριστά μετρήσεις του χρόνου, το αιτιολογικό του δίκτυο χαρακτηρίζει πώς εξελίσσονται οι ασθένειες μέσω μιας σειράς καταστάσεων. Μέσα από μια σειρά επισκέψεων, η κατάσταση ενός ασθενή μπορεί να βελτιωθεί μέσω θεραπείας ή να

χειροτερέψει στο σημείο όπου απαιτούνται αλλαγές στη θεραπεία. Συνοψίζοντας λοιπόν, το σύστημα CASNET είναι ένα σύστημα βασιζόμενο στη γνώση για τη διάγνωση και τον ορισμό θεραπείας στους ασθενείς που υποφέρουν από γλαύκωμα. Η διάγνωση στο CASNET βασίζεται σε ένα πολλαπλής βαθμίδας ταξινομικό μοντέλο. Αρχικά, οι παρατηρήσεις ταξινομούνται σε παθοφυσιολογικές καταστάσεις, οι οποίες με τη σειρά τους χαρτογραφούνται στις διαγνώσεις σε διαφορετικά επίπεδα γενικότητας. Ένα αιτιολογικό δίκτυο χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση καταστάσεων μιας ασθένειας οι οποίες είναι ενδιάμεσες μεταξύ των παρατηρήσεων και των διαγνωστικών κατηγοριών. Το δίκτυο μοντελοποιεί ρητά τη συμπεριφορά αλλά όχι την ανατομική δομή και αναπαριστά την πρόοδο μιας ασθένειας μέσω πολλαπλών φυσιολογικών καταστάσεων. Το CASNET χρησιμοποίησε το πιο πάνω δίκτυο για τη μοντελοποίηση της χρονικής πορείας μιας ασθένειας και της επανάληψης των θεραπειών των ασθενών σε πολλαπλές επισκέψεις. Όσον αφορά την ύπαρξη υποθέσεων, το αιτιολογικό μοντέλο συνοψίζει τα ευρήματα και καθοδηγεί τη δημιουργία των διαγνωστικών και των προγνωστικών υποθέσεων. Αυτές οι υποθέσεις μπορεί να είναι απλές υποθέσεις όπως για παράδειγμα, “πολύ ανυψωμένη ενδοφθάλμια πίεση” ή σύνθετες υποθέσεις οι οποίες συνθέτονται από ένα σύνολο από σχετιζόμενες απλές υποθέσεις όπως για παράδειγμα “χρόνιο angle closure glaucoma”. Όλες οι υποθέσεις μπορεί να περιλαμβάνουν τροποποιητές οι οποίοι διευκρινίζουν περαιτέρω μια συνθήκη από την ένταση, τη διάρκεια, την πρόοδο, την τοπογραφική διανομή της και άλλα χαρακτηριστικά στοιχεία. Επιπλέον, συχνά η δήλωση των υποθέσεων περιλαμβάνει μια ποιοτική, λεκτική εκτίμηση του βαθμού επιβεβαίωσης της. Στον εσωτερικό συλλογισμό του συστήματος, οι δηλώσεις αβεβαιότητας των πολλαπλών διαγνωστικών υποθέσεων (έχουν διάφορους βαθμούς βεβαιότητας) εκφράζονται με πιθανότητες ή αριθμητικά βάρη και όχι με ποιοτικούς όρους όπως για παράδειγμα είναι, οι όροι ‘πιθανόν’, ‘δυνατόν’, ‘σχεδόν καθορισμένο’ κτλ. Η ύπαρξη της χρονικής αβεβαιότητας στο σύστημα CASNET, διαφαίνεται από το γεγονός ότι το σύστημα συλλογίζεται για την πιθανολογική αιτιώδη προτεραιότητα στην εκτέλεση μιας διάγνωσης. Το σύστημα, δεν είναι σε θέση να γνωρίζει το συγκεκριμένο χρόνο των γεγονότων και έτσι περιορίζεται σοβαρά στον τύπο του χρονικού συλλογισμού που μπορεί να εκτελέσει. Έτσι, το σύστημα CASNET εκτελεί χρονικό συλλογισμό κάτω από αβεβαιότητα.

Κεφάλαιο 5

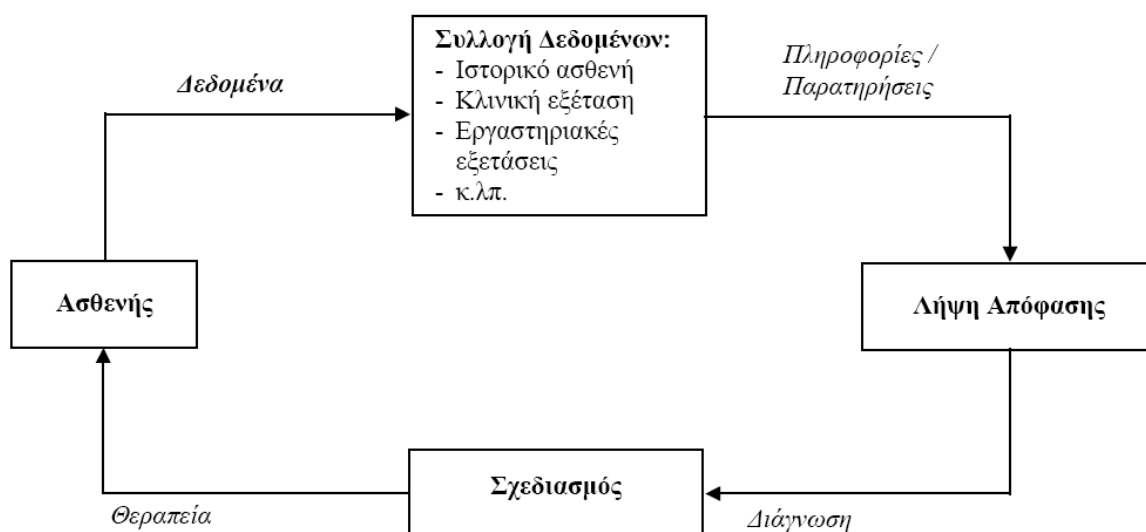
Διεργασία Κλινικής Διάγνωσης

5.1	Κύκλος διάγνωσης-θεραπείας	79
5.2	Τεκμηρίωση της σημασίας της αιτιολογικής σχέσης	80
5.3	Τεκμηρίωση της σημασίας του χρόνου	84
5.4	Τεκμηρίωση της σημασίας της ικανότητας συλλογισμού αναφορικά με θεραπευτικές ενέργειες που αναφέρονται στο ιστορικό του ασθενή	88
5.5	Συσχετισμός των πιο πάνω τεκμηριώσεων	90

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια αναφορά στο ρόλο της αιτιολογικής σχέσης, του χρόνου και των θεραπευτικών ενεργειών στη διεργασία μιας κλινικής διάγνωσης.

5.1 Κύκλος διάγνωσης-θεραπείας

Στην ιατρική η αντιμετώπιση οποιασδήποτε ασθένειας βασίζεται στην αλληλουχία: παρατήρηση, αιτιολόγηση-διάγνωση, δράση-θεραπεία. Οι παραπάνω διαδικασίες δομούν τον κύκλο Διάγνωσης–Θεραπείας [24] που παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.1. Συγκεκριμένα, ο ιατρός προκειμένου να καταλήξει στη διάγνωση και στη συνέχεια να χορηγήσει την απαραίτητη θεραπευτική αγωγή, συλλέγει πληροφορίες για τον ασθενή-ιστορικό, αποτέλεσμα φυσιολογικών, εργαστηριακών ή/και απεικονιστικών εξετάσεων κ.λπ. τις οποίες συνδυάζει με την εμπειρία του, με πληροφορίες από τη βιβλιογραφία ή άλλες πηγές, καθώς και με τη συνολική εικόνα του ασθενή. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας των παραπάνω πληροφοριών/παρατηρήσεων αποτελεί τμήμα της διαδικασίας λήψης απόφασης, και συνιστά τη διάγνωση. Στη συνέχεια, ανάλογα με τη διάγνωση πραγματοποιείται σχεδιασμός θεραπευτικής αγωγής. Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία σχεδιασμού θεραπευτικής αγωγής συνιστάται στον ασθενή κατάλληλη θεραπεία. Ανάλογα με το αποτέλεσμα της θεραπείας, ο κύκλος μπορεί να ξαναεκτελεστεί μία ή περισσότερες φορές.



Σχήμα 5.1. Ο κύκλος Διάγνωσης – Θεραπείας [24]

5.2 Τεκμηρίωση της σημασίας της αιτιολογικής σχέσης

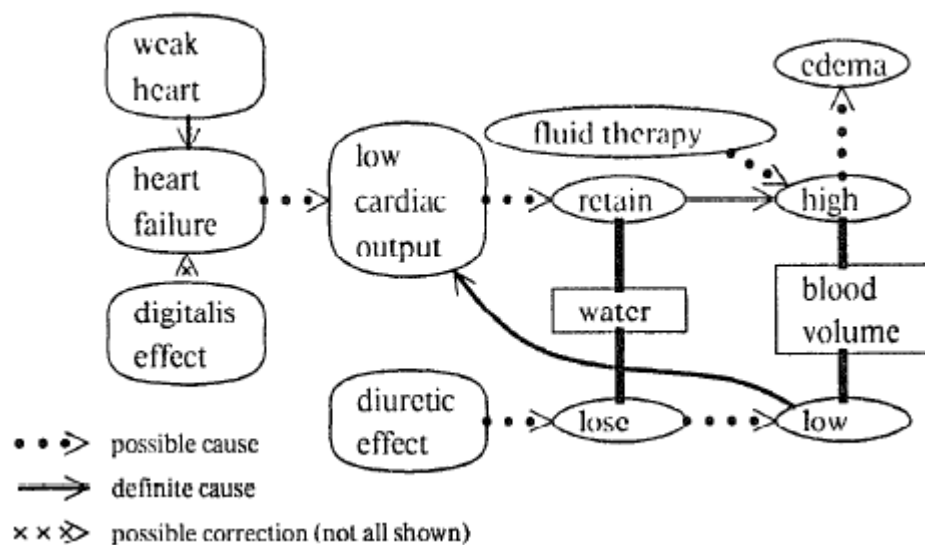
Η έννοια της αιτιολογίας είναι πολύ σημαντική στην επιστημονική κοινότητα της τεχνητής νοημοσύνης της ιατρικής και έχει γίνει αρκετή δουλειά έτσι ώστε να επισημανθεί η ισχυρή σχέση μεταξύ της έννοιας της αιτιολογίας και της έννοιας του χρόνου [19]. Τα ζητήματα του χρόνου, της αιτιολογίας και της αλλαγής είναι σημαντικά για την επίτευξη συλλογισμού σε πολλά πεδία. Δεδομένου ότι οι διαδικασίες πραγματοποιούνται με την πάροδο του χρόνου, ο υπολογισμός των σχέσεων των αλλαγών είναι απαραίτητος για την κατανόηση των διαδικασιών. Αν και αξιοσημείωτη έρευνα δείχνει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην αιτιολογία, το θέμα δεν έχει εξαντληθεί.

Η γνώση για την έννοια της αιτιολογίας αποτελεί ένα σημαντικό μέρος του συλλογισμού κοινής λογικής. Χρησιμοποιούμε ανάλυση του τύπου ‘αιτία και επίδραση’ για να καταλάβουμε τα πάντα όπως για παράδειγμα γιατί πιάσαμε κρυολόγημα. Αν η έννοια της αιτιολογίας είναι πανταχού παρούσα στο συλλογισμό και επηρεάζει τα καθημερινά γεγονότα, τότε μπορεί επίσης να αποτελέσει μία χρήσιμη έννοια η οποία μπορεί να υιοθετηθεί σε μια επίσημη θεωρία διάγνωσης [33]. Ο αιτιολογικός συλλογισμός, επιτρέπει σε ένα πρόγραμμα να κάνει κάτι περισσότερο από το να

ταξινομεί την ασθένεια ενός ασθενή σε μια κύρια διαγνωστική κατηγορία και από το να κατανοεί συγκεκριμένους μηχανισμούς που εμπλέκονται σε μια συγκεκριμένη έκφραση της ασθένειας. Αυτό, επιτρέπει στο πρόγραμμα να προσαρμοστεί στις θεραπευτικές επεμβάσεις της συγκεκριμένης περίπτωσης, να σχεδιάσει μακροπρόθεσμα και να αναλύσει τις πιθανές επιπτώσεις της θεραπείας σε ένα συγκεκριμένο ασθενή. Η αιτιολογική γνώση, έχει το επιπρόσθετο πλεονέκτημα ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξηγήσει το συλλογισμό των προγραμμάτων και για να δικαιολογήσει με κατανοητό τρόπο τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγει. Μπορούμε να πούμε πως ο αιτιολογικός συλλογισμός κτίζει ένα φυσιολογικό μοντέλο και αξιολογεί τα συμπεράσματα για ένα ασθενή έτσι ώστε να υπάρχει συνοχή και πληρότητα ενάντια στο μοντέλο. Ακόμα, λειτουργεί ιδιαίτερα αποτελεσματικά στην επαλήθευση των διαγνωστικών υποθέσεων.

Η έννοια της αιτιολογίας στο ιατρικό πεδίο έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: Οι παράγοντες που επηρεάζουν μια συγκεκριμένη παράμετρο είναι περιορισμένες και η κάθε μια μπορεί να αναπαρασταθεί κατάλληλα. Έτσι, είναι προτιμότερο να γίνεται συλλογισμός σε σχέση με ένα κλειστό πεδίο από πιθανές επιρροές. Επιπλέον, μερικές από τις ‘αιτία - επίδραση’ σχέσεις είναι μόνο πιθανολογικές στην παρούσα κατάσταση της ιατρικής γνώσης και αναπαρίστανται, όσο είναι εφικτό, χωρίς την εξέταση των πιθανοτήτων [19]. Ακόμα, η περιοχή εξουσιάζεται από σταθερά συστήματα ανατροφοδότησης. Ως αποτέλεσμα, είναι υπολογιστικά λογικότερο να γίνει αποδεκτή η τάση των συστημάτων να επιστρέφουν σε σταθερές καταστάσεις και να αναπαριστούν μόνο τις επιρροές των δυσλειτουργικών καταστάσεων. Πολλοί κανόνες που αφορούν την έννοια της αιτιολογίας είναι γενικοί. Για παράδειγμα, όλες οι δυσλειτουργικές καταστάσεις έχουν τις αιτίες τους. Η επίδραση εξαρτάται από το σύνολο των επιδράσεων και οι αιτίες πρέπει να ξεκινήσουν πριν ή ταυτόχρονα με την επίδραση. Στο ιατρικό πεδίο, υπάρχουν πολλές επιπρόσθετες ιδιότητες οι οποίες είναι βοηθητικές σαν κανόνες για επίτευξη συλλογισμού. Για παράδειγμα, η αιτία και η επίδραση πρέπει να επικαλύπτονται, δηλαδή, η αιτία δεν μπορεί να τελειώσει πριν να ξεκινήσει η επίδραση. Επίσης, οι αλλαγές μιας κατάστασης πρέπει να είναι από τις παρακείμενες καταστάσεις όπως για παράδειγμα ισχύει στην περίπτωση που χρειάζεται να διατηρηθεί το νερό με σκοπό να προκαλέσει υψηλό όγκο αίματος και ο όγκος του αίματος πρέπει να είναι ήδη κανονικός. Ακόμα, από την στιγμή που μια αιτιολογία ξεκινάει, συνεχίζει μέχρι να υπάρξει μερική αλλαγή είτε στην αιτία είτε στις ορθές επιδράσεις. Έτσι, αν ο υψηλός

όγκος αίματος προκαλούσε οίδημα θα εξακολουθούσε να προκαλεί οίδημα μέχρι η αιτία να έχει αλλάξει. Οι αιτιολογικές σχέσεις του πιο πάνω παραδείγματος σκιαγραφούνται στο Σχήμα 5.2 χωρίς τις χρονικές σχέσεις και τις διορθώσεις [36]. Με δεδομένες τις αντίστοιχες σχέσεις οι οποίες αναπαρίστανται από τον φορμαλισμό, το πρόγραμμα είναι διαθέσιμο να διευκρινίσει τι είναι σίγουρα γνωστό σε σχέση με τον ασθενή, διαδίδοντας τα ελάχιστα συμπεράσματα από τις αιτιολογικές σχέσεις.



Σχήμα 5.2. Παράδειγμα αιτιολογικών σχέσεων [36]

Ακολουθώς, μια αιτιολογική σύνδεση καθορίζει τη σχέση αιτία-επίδραση μεταξύ των καταστάσεων της αιτίας του προκειμένου και της επίδρασης του συμπεράσματος. Στα παλαιότερα προγράμματα (πχ. INTERNIST), οι αιτιολογικές συνδέσεις περιγράφονταν με τον καθορισμό του τύπου της αιτιολογικής σχέσης (μπορεί να προκλήθηκε από κτλ.) και του αριθμού ή ενός συνόλου από αριθμούς που αναπαριστούσαν κατά κάποιο τρόπο την υπό όρους πιθανότητα, τη σημαντικότητα κτλ της παρατήρησης μιας επίδρασης δοσμένης της αιτίας ή το αντίστροφο. Η μορφή παρουσίασης μιας επίδρασης και της υπό όρους πιθανότητας της παρατήρησής της, εξαρτάται από διάφορες όψεις της αιτίας όπως για παράδειγμα, δριμύτητα, διάρκεια, κτλ, όπως επίσης και από άλλους παράγοντες στο πλαίσιο που επικαλείται η σύνδεση όπως είναι για παράδειγμα, η ηλικία του ασθενή, το φύλο και το βάρος και η τρέχουσα υπόθεση όσον αφορά τον

ασθενή. Έτσι, μια αιτιολογική σύνδεση στο σύστημα, καθορίζει μια σχέση πολλών μεταβλητών (ένα αντικείμενο που δείχνει την αιτιολογική σχέση μεταξύ ενός ζευγαριού ‘αιτία - επίδραση’) μεταξύ πολλών όψεων της αιτίας και της επίδρασης. Ακόμα, καθορίζει το πλαίσιο και τις υποθέσεις οι οποίες περιορίζουν την αιτιολογική σχέση [44].

Η αιτιολογική αναπαράσταση παίζει πολλούς σημαντικούς ρόλους στον ιατρικό συλλογισμό. Οι αιτιολογικές σχέσεις παρέχουν τα μέσα για την κατανόηση της γνώσης των διαδικασιών μιας ασθένειας. Επιπλέον, παρέχουν έναν τρόπο περιγραφής της εξέλιξης μιας ασθένειας κατά την πάροδο του χρόνου, για την ομαδοποίηση των παρατηρήσιμων συμπτωμάτων σε συγκροτήματα εμπλεκόμενων συμπτωμάτων ως αποτέλεσμα κοινών παθοφυσιολογικών μονοπατιών, καθώς επίσης και για την επίτευξη συλλογισμού για τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ ασθενειών και μεταξύ ασθενειών και παλαιών θεραπευτικών αλληλεπιδράσεων. Γενικότερα μιλώντας, οι αιτιολογικές περιγραφές είναι χρήσιμες για υψηλότερα επίπεδα αφαιρετικότητας ειδικά όταν η προσδοκώμενη λειτουργική εξάρτηση είναι γνωστή από το σχεδιάγραμμα. Έτσι, σε υψηλότερα επίπεδα αφαιρετικότητας, τα αιτιολογικά μοντέλα είναι χρήσιμα στην καθοδήγηση και εστίαση της αναζήτησης για διαγνώσεις καθώς και στην παραγωγή κατανοητών επεξηγήσεων. Επιπλέον, όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα ολοκληρωμένα φυσικά μοντέλα, τα αιτιολογικά μοντέλα μπορούν να είναι ο καλύτερος τρόπος για την τυποποίηση της συμπεριφοράς μίας συσκευής. Επιπρόσθετα, η αιτιολογική σχέση είναι μια σημαντική σχέση μεταξύ περιστατικών. Οι αλλαγές επεξηγούνται μέσω αιτιολογικών σχέσεων. Ο χρόνος σχετίζεται άμεσα με την αιτιολογική σχέση. Η χρονική αρχή η οποία υπογραμμίζει την αιτιότητα είναι ότι μια επίδραση δεν μπορεί να προηγηθεί της αιτίας της. Εκτός από τους χρονικούς περιορισμούς που βασίζονται στην αιτιότητα, συχνά υπάρχουν και άλλοι χρονικοί περιορισμοί μεταξύ των περιστατικών. Για παράδειγμα, ένα περιοδικό περιστατικό μπορεί να καλύπτεται από τον περιορισμό ότι η απόσταση μεταξύ διαδοχικών περιστατικών πρέπει να είναι τέσσερις ώρες. Οι χρονικοί περιορισμοί μεταξύ περιστατικών λειτουργούν με σκοπό τον περιορισμό των πιθανών χρονικών σχέσεων μεταξύ αυτών των περιστατικών. Οι χρονικοί περιορισμοί μέσα από ένα περιστατικό, ελέγχουν τις προδιαγραφές των ορίων για την έναρξη, τερματισμό, ή επέκταση του περιστατικού.

Έχοντας αναλύσει το σύστημα HDP, διαπιστώθηκε ότι είναι εύκολο να σκεφτεί κανείς το θέμα της αιτιολογίας σε πιθανολογικούς όρους. Έτσι, πολλοί ερευνητές προσπάθησαν να χρησιμοποιήσουν Bayesian δίκτυα για να αναπαραστήσουν την αιτιολογική δομή των ιατρικών πεδίων. Παρόλα αυτά, χρειάζεται να σημειωθεί ότι η κατεύθυνση των συνδέσεων σε ένα Bayesian δίκτυο δεν ανταποκρίνεται απαραίτητα σε οποιαδήποτε έννοια αιτιολογίας καθώς, μια πιθανότητα πάνω σε μια σύνδεση σημαίνει μόνο ότι ο δεύτερος κόμβος εμφανίζεται με αυτή την πιθανότητα όταν ο πρώτος είναι ορθός. Η αιτιολογία είναι μια δύσκολη έννοια για να την συλλάβει κανείς ικανοποιητικά. Ενώ υπάρχουν κανόνες τους οποίους οι αιτιολογικές σχέσεις υπακούουν, η ανάθεση της αιτιολογικής δομής στα συστήματα που χαρακτηρίζονται από ανατροφοδότηση μπορεί να γίνει μια αυθαίρετη γραμμικότητα μιας διαδικασίας η οποία χαρακτηρίζεται καλύτερα ως αμοιβαίοι περιορισμοί. Ακόμα, η αιτιότητα είναι σημαντική γιατί οι χρήστες τείνουν να σκέφτονται σε σχέση με την αιτιότητα και όσον περισσότερο ανταποκρίνεται ο συλλογισμός του συστήματος σε αυτόν του χρήστη, τόσο πιο εύκολο είναι για το χρήστη να καταλάβει και να αποδεχτεί τα συμπεράσματα που επιτυγχάνονται. Μια ένδειξη της δυσκολίας από τη χρήση της αιτιολογίας ως μια αρχή οργάνωσης είναι ότι, κανένας δεν ανέπτυξε ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την επίτευξη συλλογισμού με αιτιολογικές σχέσεις. Ωστόσο, αυτό μπορεί και αλλάζει με ιδιαίτερη, θεωρητική δουλειά η οποία δημοσιεύεται για την αιτιολογία [45,20].

5.3 Τεκμηρίωση της σημασίας του χρόνου

Η διαγνωστική επίλυση προβλημάτων έχει προσελκύσει και συνεχίζει να προσελκύει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην κοινότητα της τεχνητής νοημοσύνης, καθώς παρουσιάζει μεγάλες προκλήσεις. Μια τέτοια πρόκληση είναι η μοντελοποίηση του χρόνου. Μερικά πρωτοπόρα διαγνωστικά συστήματα είναι, το MYCIN, INTERNIST-1, CASNET, ABEL, MDX/PATREC και πολλά άλλα. Στα αρχικά διαγνωστικά συστήματα, ο χρόνος απουσίαζε εντελώς ή διαμορφωνόταν σε μια στοιχειώδη μορφή.

Ο συλλογισμός για την πιθανή σειρά δραστηριοτήτων ή τις προθεσμίες είναι ένα καθημερινό ζήτημα στη ζωή μας. Αντίστοιχα, έρευνα στην επιστήμη των υπολογιστών για ζητήματα τα οποία σχετίζονται με το χρόνο αναπτύσσεται σταθερά τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Ο χρόνος είναι τόσο κοινός στην καθημερινή μας σκέψη και στις

δραστηριότητες μας που έγινε θεμελιώδους σπουδαιότητας στη ζωή μας, τόσο βασικής που μερικές φορές όλος αυτός ο συλλογισμός ο οποίος βασίζεται στο χρόνο, περνά απαρατήρητος. Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, ο ρόλος του χρόνου στην ιατρική ήρθε στην επιφάνεια και η σχετικότητα του έχει απεικονιστεί άμεσα στην έντονη δραστηριότητα της περιοχής. Ο χρόνος αποτελεί ένα μεγάλο και σημαντικό μέρος της ιατρικής γνώσης. Πολλές ασθένειες χαρακτηρίζονται από περίπλοκα πρότυπα χρονικών συμπτωμάτων. Μερικά παραδείγματα τέτοιων ασθενειών είναι, οι μολυσματικές ασθένειες και οι ασθένειες που παρουσιάζονται για μεγάλο χρονικό διάστημα. Περίπλοκα ιατρικά διαγνωστικά συστήματα χρειάζονται φορμαλισμούς οι οποίοι επιτρέπουν την μοντελοποίηση σύνθετης δυναμικής συμπεριφοράς. Πρόσφατα, πολλοί ερευνητές διερεύνησαν το χρονικό συλλογισμό για ένα ιατρικό πρόβλημα επίλυσης. Για παράδειγμα, η Κεραυνού [28] περιγράφει το χρονικό διαγνωστικό συλλογισμό βασισμένο σε χρονικά αντικείμενα τα οποία ορίζονται σε ένα χρονικά πολυδιάστατο χώρο και αντίστοιχα, στο άρθρο [29] σε συνεργασία με τον Washbrook, δείχνουν τον κεντρικό ρόλο των χρονικών πληροφοριών για την εκτέλεση μίας διάγνωσης στον τομέα των σκελετικών δυσπλασιών.

Καθώς άρχισαν να λαμβάνουν περισσότερο ενδιαφέρον οι χρονικές πληροφορίες και ο χρονικός συλλογισμός στον έλεγχο και στην πρόβλεψη [51], πολύ λίγα έχουν γίνει στον τομέα της διάγνωσης, στον οποίο τις περισσότερες φορές η διάγνωση εκτελείται κάνοντας συλλογισμό σε στιγμιότυπα. Η πιο πάνω υπόθεση είναι πολύ περιοριστική και αρκετά μη ρεαλιστική καθώς, ενώ απαιτεί όλες οι εκδηλώσεις να είναι παρατηρήσιμες σε ένα μοναδικό χρονικό σημείο, τις περισσότερες φορές σε ένα ασθενή παρατηρείται ένα σύμπτωμα για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα όπως για παράδειγμα ‘Είχα πυρετό για μία εβδομάδα στα μέσα του Ιανουαρίου’ [11]. Η διάγνωση μπορεί να οριστεί ως ο προσδιορισμός της φύσης μιας περίπτωσης ασθένειας και υπάρχει μία πλούσια σειρά χρονικών αναφορών στην περιγραφή των συμπτωμάτων που μπορούν να παρουσιαστούν σε σχέση με ρητές χρονικές αναφορές (πχ. την προηγούμενη Τρίτη). Ωστόσο, μερικές φορές η διάγνωση μπορεί να οριστεί ως μία συλλογή από αλληλένδετα γεγονότα χωρίς ρητή αναφορά στο χρόνο (πχ. “αρχικά αρρώστησα και μετά από αυτό έχω δυνατό πονοκέφαλο και πόνο στο στομάχι μου”). Συχνά, ο βαθμός της αβεβαιότητας μπορεί να είναι υψηλός ως προς το πότε ή σε ποιά σειρά μερικά γεγονότα παρουσιάστηκαν όπως για παράδειγμα είναι η φράση “σε

κάποια στιγμή κατά τη διάρκεια της νύχτας”. Τα πιο πάνω χαρακτηριστικά λοιπόν, αποτελούν για τον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης ενδιαφέρουσες προκλήσεις προς έρευνα. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, στην ιατρική διάγνωση το κυρίαρχο παράδειγμα είναι αυτό της απαγωγικής διάγνωσης καθώς η πρωταρχική οντότητα που θα μοντελοποιηθεί είναι η διαδικασία μιας ασθένειας. Συχνά, μοντελοποιούνται με παρόμοιο τρόπο οι λειτουργικές και δυσλειτουργικές διαδικασίες μιας ασθένειας και αυτό αποτελεί το δυνατό στοιχείο μίας αναπαράστασης καθώς, η γνώση για τη λειτουργικότητα είναι απαραίτητο στοιχείο της διαγνωστικής γνώσης. Επιπλέον, η κύρια σχέση που υπογραμμίζουν τέτοιου είδους μοντέλα είναι η αιτιολογική σχέση. Επομένως, δίνεται έμφαση στο πώς να αναπτυχθεί ο χρονικός και απαγωγικός συλλογισμός όπως για παράδειγμα, πώς να αναπτυχθεί ο χρόνος στο σχηματισμό και αξιολόγηση των διαγνωστικών υποθέσεων όπως επίσης πώς να συμπεριληφθεί στην αιτιολογική σχέση.

Η αναπαράσταση του χρόνου και ο χρονικός συλλογισμός έχουν αναπτυχθεί ικανοποιητικά ως ερευνητικά θέματα και τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών εφαρμόστηκαν επιτυχώς σε διάφορα προβλήματα. Η ρητή αναπαράσταση του χρόνου επιτρέπει το ρητό συλλογισμό με χρονικές έννοιες, για αυτό, δημιουργήθηκαν συστήματα τα οποία μπορούν να θυμούνται και να ξεχωρίζουν μεταξύ τους τις ιστορικές πληροφορίες με τα τρέχοντα γεγονότα και τις μελλοντικές προβλέψεις. Επιπλέον, τα πιο πάνω συστήματα στοχεύουν στην εκτέλεση του συλλογισμού τους σε πραγματικό χρόνο με σκοπό να καταλήξουν σε συμπεράσματα ή να αποκαταστήσουν ανεπιθύμητες καταστάσεις όσο πιο γρήγορα γίνεται. Η μοντελοποίηση της αλλαγής και άρα του χρόνου, χρειάζεται να είναι ένα μεγάλο μέρος της μηχανικής της καινούργιας γενεάς των διαγνωστικών συστημάτων που βασίζονται στη γνώση. Για πολλά διαγνωστικά προβλήματα, είναι το πρότυπο των αλλαγών που κρίνεται σημαντικό στο να καταλήξει κανείς σε μία διάγνωση και όχι μία περιγραφή ενός στιγμιότυπου μίας παρούσας κατάστασης που επικράτησε για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Σε ένα χρονικό διαγνωστικό σύστημα, τα δεδομένα ενός ασθενή περιλαμβάνουν χρονικά ευρήματα και η διαδικασία της χρονικής αφαιρετικότητας δεδομένων σχετίζεται άμεσα. Κάθε άνθρωπος έχει το ιστορικό του, το παρόν του και ένα άγνωστο μέλλον τα οποία αλλάζουν συνεχώς, έτσι, οποιοδήποτε πρόβλημα πιθανόν παρουσιαστεί, μπορεί να επιλυθεί συνήθως μέσω των περιεχομένων του ιστορικού αυτού του ασθενούς.

Επιπρόσθετα, ένα διαγνωστικό πρόβλημα δεν αποτελεί μια στιγμιαία δραστηριότητα, αλλά μία δραστηριότητα που μπορεί και εξελίσσεται κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος. Το πιο πάνω συμβαίνει γιατί, η απαιτούμενη πληροφορία που χρειάζεται για να φθάσει κανείς σε μία τελική διάγνωση δεν είναι απαραίτητα αμέσως διαθέσιμη αλλά ίσως χρειαστεί να ληφθεί μέσω της εκτέλεσης επίμαχων και χρονοβόρων ενεργειών ή απλά περιμένοντας να διαφανεί πώς αναπτύσσεται η κατάσταση του ασθενή πριν καταλήξει σε τελικά συμπεράσματα. Η κατάληξη σε ακριβή διαγνωστικά συμπεράσματα δεν είναι ποτέ ένας αυτοσκοπός, αλλά απλούστατα ένας υποστόχος προς μια αποτελεσματική θεραπεία. Επομένως, είναι σημαντικό να καταλήγει κανείς σε διαγνωστικά συμπεράσματα το γρηγορότερο δυνατό έτσι ώστε να επιτραπεί την κατάλληλη χρονική στιγμή η εφαρμογή της κατάλληλης θεραπείας. Για την ακρίβεια, η καλύτερη διαχειριστική τακτική ενός ασθενή είναι να παρεμβάλλει σε μία διάγνωση τη θεραπεία.

Οι σημαντικές διαγνωστικές έννοιες είναι τα δεδομένα, οι ασθένειες/δυσλειτουργίες και οι θεραπευτικές ενέργειες. Για όλες τις πιο πάνω έννοιες, η χρονική διάσταση είναι ένα φυσικό χαρακτηριστικό. Μοντέλα τα οποία αποκλείουν τον χρόνο όπως είναι για παράδειγμα, το μοντέλο δεδομένων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για την αναπαράσταση δεδομένων που είναι ανεξάρτητα του χρόνου. Ένα μοντέλο ασθενειών αποκλείοντας το χρόνο, δεν επιτρέπει την ύπαρξη μίας πραγματικής έννοιας της αιτιολογικής σχέσης και οι δυναμικές καταστάσεις μετατρέπονται σε στατικές καταστάσεις, όπου δεν μπορεί να μοντελοποιηθεί η εξέλιξη των ασθενειών και οι καταστάσεις των ασθενών. Ως αποτέλεσμα των πιο πάνω, όλες οι εκδηλώσεις μίας ασθένειας που βασίζονται σε ένα τέτοιο μοντέλο, αναμένεται να εμφανίζονται και να εξαφανίζονται μαζί. Ακόμα όμως και αν πραγματικά ισχύει τέτοια περίπτωση για μία ασθένεια, δεν είναι εφικτή η έκφραση της διάρκειας μίας ασθένειας. Ένα μοντέλο θεραπευτικής ενέργειας το οποίο αποκλείει το χρόνο, είναι αντίθετο με την ουσιαστικότερη σημασία των ενεργειών καθώς μία ενέργεια οργανώνεται και όταν εκτελείται έχει ώρα έναρξης και ώρα τερματισμού και φέρνει συγκεκριμένες αλλαγές. [28]. Οι περισσότερες θεωρίες που αφορούν το χρόνο και που προτείνονται στη βιβλιογραφία, δεν καλύπτουν ικανοποιητικά τις χρονικές απαιτήσεις που σχετίζονται με την ιατρική γνώση και τα δεδομένα ενός ασθενή. Για παράδειγμα, η θεωρία του Allen για το χρόνο και την ενέργεια [1], δεν αναφέρει διάρκειες, απόλυτη χρονική

αβεβαιότητα ή πολλαπλές χρονικές μονάδες. Αντίστοιχα, ο υπολογισμός γεγονότων των Kowalski και Sergot's δεν επιτρέπει ασάφεια σε περιστατικά γεγονότων, ούτε αναφέρει πολλαπλές μονάδες χρόνου [28]. Οι πιο πάνω θεωρίες, αν και δεν αναπτύχθηκαν για να υποστηρίξουν την επίλυση προβλημάτων αλλά για την υποστήριξη της κατανόησης της φυσικής γλώσσας ή τη χρονική διαχείριση μίας βάσης δεδομένων, αποτελούν σημαντικές προσπάθειες μοντελοποίησης του χρόνου και ανάπτυξης έρευνας σε αυτήν την περιοχή. Έτσι, για να είναι ικανοποιητική μία χρονική οντότητα για ένα διαγνωστικό πρόβλημα επίλυσης πρέπει να υποστηρίζει τις ακόλουθες χρονικές απαιτήσεις: διάρκειες, χρονική αβεβαιότητα και πολλαπλές μονάδες χρόνου.

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι, ο χρόνος αποτελεί ένα μεγάλο και σημαντικό μέρος των ιατρικών εννοιών άρα και της διαδικασίας της κλινικής διάγνωσης και έτσι χρειάζεται ιδιαίτερο χειρισμό. Βαθμιαία, υπήρξε μια αυξανόμενη συνειδητοποίηση ότι ο χρόνος δεν ήταν μια λεπτομέρεια που ο κλινικός διαγνωστικός συλλογισμός μπορούσε να αγνοήσει και έτσι άρχισε να δίνεται περισσότερη έμφαση στη μοντελοποίηση του χρόνου. Προς το παρόν, η ρητή ενσωμάτωση της χρονικής διάστασης στη διαγνωστική επίλυση προβλημάτων λαμβάνει μεγάλη προσοχή. Στη συνέχεια, μέσω των αντιπροσωπευτικών αποτελεσμάτων αυτών των προσπαθειών σε διαγνωστικά συστήματα, σε σχέση με τη κλινική διάγνωση, ο χρόνος συμπεριλήφθηκε σε μια προσπάθεια για επίτευξη σημαντικής αύξησης της απόδοσης.

5.4 Τεκμηρίωση της σημασίας της ικανότητας συλλογισμού αναφορικά με θεραπευτικές ενέργειες που αναφέρονται στο ιστορικό του ασθενή

Η διάγνωση είναι το κοντινότερο σκαλοπάτι προς τη θεραπεία. Οι δύο αυτές διαδικασίες μπορούν να αναβαθμιστούν σε μια υψηλότερου επιπέδου διαδικασία η οποία θα στοχεύει στη βελτίωση της κατάστασης ενός ασθενή σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Ο χρόνος αποτελεί μια σημαντική πτυχή της διάγνωσης και της θεραπείας και σχετίζεται με πολλά διαγνωστικά προβλήματα. Τα προβλήματα αυτά μπορούν να επιλυθούν με την παρακολούθηση του τρόπου που γίνονται οι αλλαγές και όχι με την παρατήρηση ενός στιγμιότυπου σε ένα συγκεκριμένο χρόνο. Η θεραπεία μπορεί να ορισθεί ως η μεταχείριση μιας ασθένειας και αναφέρεται στα προκαθορισμένα γενικά σχέδια δράσης που εφαρμόζονται σε ένα ασθενή κατά τη

διαδικασία της θεραπείας της ασθένειας. Ωστόσο, ακόμα και αν υπάρχει ένα γενικό σχέδιο να ακολουθηθεί, μπορούν να εμφανιστούν πολλές πιθανότητες και συνδυασμοί γεγονότων και τα πιθανά σχέδια ή οι παραλλαγές που θα ακολουθήσουν να είναι περισσότερα από ό,τι αναμενόταν. Παρόλα αυτά, ο εκ των προτέρων σχεδιασμός μπορεί να βοηθήσει στον προσδιορισμό των πιθανών απρόοπτων σχεδίων ανάπτυξης.

Από την πλευρά της τεχνητής νοημοσύνης λοιπόν, ο προγραμματισμός μπορεί γενικά να οριστεί ως το σχέδιο δράσης που χρειάζεται να παρθεί έτσι ώστε να επιτευχθεί ένας στόχος. Μέρος της κλασσικής μεθόδου προγραμματισμού στην τεχνητή νοημοσύνη, περιλαμβάνει μια περιγραφή του κόσμου όπως είναι τη στιγμή που εφαρμόζεται το σχέδιο, δηλαδή, την αρχική κατάσταση του ασθενή έτσι ώστε να επιτευχθεί μια κατάσταση στόχου, την περιγραφή των διαθέσιμων ενεργειών και τις συνθήκες στις οποίες μπορούν να εφαρμοστούν, όπως επίσης και τις προκαθορισμένες πιθανές ή σίγουρες επιδράσεις που μπορούν να προκαλέσουν στο περιβάλλον όταν εφαρμοστούν. Οι πιο πάνω ενέργειες, μπορεί να χρειαστούν ένα σύνολο από προϋποθέσεις για να είναι εφικτές και αποτελεσματικές. Η περιγραφή του κόσμου, μπορεί επίσης να περιλαμβάνει διαθέσιμες πηγές καθώς αυτές μπορούν να παίξουν ένα αποφασιστικό ρόλο σε ένα ρεαλιστικό σχέδιο δράσης.

Για ένα σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί τεχνικές της τεχνητής νοημοσύνης, όταν ο αριθμός των ασθενών είναι υψηλός, τότε αυτό μπορεί να παράγει περισσότερο ακριβή αποτελέσματα συγκριτικά με ένα άλλο σύστημα με λιγότερο αριθμό ασθενών. Οι εγγραφές των ασθενών, αποτελούν πολύτιμες πληροφορίες για ένα σύστημα βασιζόμενο στη γνώση. Τα τρέχοντα δεδομένα των ασθενών μπορούν να ενισχύσουν και να δυναμώσουν την ισχύ του συλλογισμού του συστήματος. Έτσι, ένα διαγνωστικό πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί κανονικά στα πλαίσια της σχετικής ιστορίας του ασθενή, σχεδιασμένης από το ιστορικό του το οποίο δίνει εγκαίρως στιγμιότυπα της κατάστασης της υγείας του ατόμου [28]. Μια περίπτωση του ιστορικού ενός ασθενή φυλάγεται μέσα σε μια χρονική βάση δεδομένων και περιλαμβάνει εγγραφές της κατάστασης της υγείας ενός ασθενή στο παρελθόν, στον τρέχον χρόνο και πιθανώς στο προσεχές μέλλον. Η βάση δεδομένων αποτελείται από μια συλλογή από χρονικούς ισχυρισμούς, συσχετίσεις μεταξύ κάποιας ιδιότητας και ένα χρονικό έγκυρο περιθώριο. Τέτοιου είδους χρονικοί ισχυρισμοί είναι συγκεκριμένα χρονικά αντικείμενα.

Σύμφωνα με το άρθρο [29], ένα απλό διαγνωστικό σύστημα δεν χρειάζεται να γνωρίζει πώς να σχεδιάζει και να ελέγχει την παράλληλη εκτέλεση των θεραπευτικών ενεργειών. Ωστόσο, το σύστημα χρειάζεται να κατανοεί την έννοια της θεραπευτικής ενέργειας και γενικότερα, την έννοια μιας ενέργειας και της ανάλογης επίδρασής της. Η γνώση για τις θεραπευτικές ενέργειες αποτελεί ουσιαστικό στοιχείο της διαγνωστικής θεωρίας. Κάθε θεραπευτική ενέργεια, αναπαριστάται σε σχέση με την ενέργεια ανά δευτερόλεπτο, τις προϋποθέσεις και τις επιδράσεις. Σύμφωνα με το [29], όλα τα πιο πάνω αποτελούν χρονικά αντικείμενα. Η ενέργεια σχετίζεται με τις επιδράσεις της μέσω των περιπτώσεων της σχέσης ‘causes’ και οι υπάρξεις των προϋποθέσεων και των επιδράσεων δίνονται σε σχέση με την ύπαρξη της ενέργειας [28]. Επιπλέον, ένα διαγνωστικό σύστημα, το μόνο που χρειάζεται να γνωρίζει είναι τις σημαντικές επιδράσεις των παλαιών και τρεχόντων ενεργειών και να είναι σε θέση να κατανοεί τις κυριότερες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πιο πάνω ενεργειών και των υποτιθέμενων σφαλμάτων. Η γνώση λοιπόν των προϋποθέσεων των ενεργειών, μπορεί να σχετιστεί με το έργο ενός αρμοδίου για το σχεδιασμό μιας θεραπείας αλλά όχι με το έργο ενός διαγνωστικού συστήματος.

5.5 Συσχετισμός των πιο πάνω τεκμηριώσεων

Σε μια κλινική διάγνωση, η αιτιότητα, ο χρόνος και οι θεραπευτικές ενέργειες αποτελούν τους τρεις βασικούς παράγοντες για την επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων και για αυτό το λόγο πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη. Ένα παράδειγμα που δείχνει πόσο σημαντική είναι η ύπαρξη των τριών πιο πάνω παραγόντων, είναι στην περίπτωση της διερεύνησης μιας υπόθεσης στην οποία μια αναμενόμενη εκδήλωση δεν παρουσιάστηκε. Αυτό το παράξενο περιστατικό μπορεί να εξηγηθεί αν θεωρηθεί ότι η πιο πάνω εκδήλωση πρόκειται να συμβεί στο μέλλον δεδομένης της κατάστασης της εξέλιξης μιας συγκεκριμένης ασθένειας. Παρόλα αυτά, υπάρχουν διαγνωστικά πεδία που δεν απαιτούν αναγκαστικά αυτούς τους τρεις παράγοντες καθώς, η απλή συσχετιστική γνώση μιας δυσλειτουργίας που εξετάζεται θεωρείται αρκετή. Σε αυτά τα διαγνωστικά πεδία λοιπόν, ο χρόνος και οι θεραπευτικές ενέργειες δεν λαμβάνονται υπόψη ενώ η αιτιολογική σχέση εμφανίζεται με ένα αρκετά αφαιρετικό τρόπο.

Υπάρχει ισχυρή σχέση μεταξύ της έννοιας του χρόνου και της αιτιολογίας. Οι περισσότεροι ερευνητές συμφωνούν με τον ακόλουθο βασικό περιορισμό: αν 'το A προκαλεί το B' τότε το B δεν μπορεί να προηγηθεί χρονικά του A. Ακόμα, μερικοί ερευνητές υποβάλλουν ένα επιπλέον περιορισμό ο οποίος υποστηρίζει ότι το αποτέλεσμα B δεν μπορεί να ξεκινήσει πριν το τέλος της αιτίας A [11]. Ο πιο πάνω περιορισμός, θεωρείται ως μια ισχυρή υπόθεση σε ιατρικά πεδία. Γενικότερα, μέσω επιστημονικών ερευνών που έγιναν, διαπιστώθηκε ότι ο χρόνος σχετίζεται άμεσα με την εκτέλεση ενεργειών και αιτιολογικών φαινομένων. Η αιτιολογική σχέση και ο χρόνος, επιτρέπουν τη μοντελοποίηση των ασθενειών και των καταστάσεων ενός ασθενή ως σαν αυτά να εξελίσσονται ως δυναμικές διεργασίες.

Επιπλέον, σταδιακά οι ενέργειες και η έννοια του χρόνου έχουν συγκεντρώσει πολλή ερευνητική προσοχή στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης. Αν και έχει δημιουργηθεί μεγάλη πρόοδος στη μοντελοποίηση του χρόνου, δεν δημιουργήθηκε ανάλογη πρόοδος στη μοντελοποίηση των ενεργειών. Πράγματι, οι χρονικές μέθοδοι καλύπτουν από διακριτούς σε συνεχόμενους, από βασιζόμενους σε σημεία σε βασιζόμενους σε διαστήματα και από γραμμικούς σε διακλαδωμένους χρόνους. Αντιθέτως, οι μέθοδοι που τυποποιούν τις ενέργειες, τείνουν να περιοριστούν σε διακριτά μοντέλα με γραμμικά χαρακτηριστικά και με επιπρόσθετες υποθέσεις έτσι ώστε να συμβαίνει ακριβώς μια ενέργεια για μια φορά και όλες οι ενέργειες να έχουν την ίδια διάρκεια. Παραδοσιακά, ο συλλογισμός για τις ενέργειες εστιάζεται στις πιθανές αιτίες και επιδράσεις των ενεργειών αλλά όχι στη δομή τους. Αυτή η δουλειά είναι αναμφισβήτητα πολύ σημαντική. Ωστόσο, με βάση το [58] το μέγιστο των δυνατοτήτων της δουλειάς αυτής, γίνεται αντιληπτό μόνο αν οι ενέργειες είναι τυποποιημένες σε ένα γενικό πλαίσιο.

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα

6.1	Γενικά συμπεράσματα	92
6.2	Εισηγήσεις για δυνατή επέκταση της εργασίας	96

6.1 Γενικά συμπεράσματα

Στόχος της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι, η βιβλιογραφική μελέτη ανασκόπησης πάνω στο θέμα της χρονικής ιατρικής διάγνωσης (temporal medical diagnosis) κάνοντας συγκριτική ανάλυση των αρχιτεκτονικών και μερικών βασικών χαρακτηριστικών των συστημάτων ‘HDP’, ‘TCS’, ‘της εφαρμογής των Console και Torasso’ και του συστήματος ‘CASNET’ σε σχέση με το γενικευμένο μοντέλο διάγνωσης (Causal-Temporal-Action [C-T-A] Model). Παρουσιάζοντας λοιπόν τις πιο πάνω εφαρμογές, επισημάνθηκαν μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά τους σε σχέση με συγκρίσιμες πτυχές του μοντέλου ‘C-T-A’. Οι βασικές, συγκρίσιμες πτυχές του μοντέλου ‘C-T-A’ είναι οι παράγοντες, αιτία, χρόνος και θεραπευτικές ενέργειες. Είναι ξεκάθαρο ότι, μερικά από τα τέσσερα πιο πάνω συστήματα που αναλύθηκαν, έχουν διαφορετικούς, φιλοσοφικούς και πρακτικούς στόχους και έτσι είναι δύσκολο να τα αξιολογήσουμε υπό οποιαδήποτε πραγματική έννοια, εκτός από το να επισημάνουμε τα σημαντικά χαρακτηριστικά που είναι σχετικά με την εργασία του χρονικού συλλογισμού.

Το κύριο θέμα της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η χρονική ιατρική διάγνωση. Η επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων προσελκύει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον λόγω διαφόρων ανοικτών ζητημάτων που αποτελούν πρόκληση. Μια τέτοια πρόκληση είναι η αναπαράσταση και ο συλλογισμός με χρόνο και γενικότερα μιλώντας, το θέμα της χρονικής ιατρικής διάγνωσης. Αν και στο παρελθόν, ο χρόνος δεν αποτελούσε

σημαντικό παράγοντα των διαγνωστικών μοντέλων, εντούτοις, τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται ως ένα απαραίτητο συστατικό στοιχείο του διαγνωστικού συλλογισμού και για αυτό παρατηρείται μια αυξανόμενη προσπάθεια για τη μοντελοποίηση του. Η δυνατότητα συλλογισμού για το χρόνο και τις χρονικές σχέσεις είναι θεμελιώδους σημασίας σε οποιαδήποτε σχεδόν έξυπνη οντότητα η οποία χρειάζεται να πάρει αποφάσεις. Ο πραγματικός κόσμος δεν περιλαμβάνει μόνο στατικές περιγραφές αλλά επίσης δυναμικές διαδικασίες. Με βάση το γεγονός ότι μπορεί να υπάρχουν πολλές αλληλεπιδρώμενες διαδικασίες οι οποίες σχετίζονται με μια ασθένεια καθώς και με μια θεραπεία σε ένα ασθενή, ο χρονικός συλλογισμός είναι σύνθετος από τη φύση του. Χρειάζεται λοιπόν, ο δυναμικός καθορισμός των αλληλεπιδράσεων στη συγκεκριμένη κατάσταση και τα γεγονότα που τις προκαλούν. Η κατανόηση και ο ρητός συλλογισμός με το χρόνο, παρέχει μια πιο ακριβή αναπαράσταση της πραγματικότητας και μπορεί να βοηθήσει να φιλτράρει έξω τα αδύνατα σενάρια. Συγκεκριμένα, το ποσοστό της εξέλιξης των ασθενειών και οι επιπτώσεις της θεραπείας μπορεί να διαφέρουν μεταξύ των ασθενών. Μια πρόκληση λοιπόν, θα ήταν η ανάπτυξη ιατρικών μοντέλων τα οποία να μπορούν να συγκρίνουν αποτελεσματικά τη γνώση της αιτίας, του χρόνου και της ενέργειας και να επιτρέπουν τη δυναμική παραγωγή διαφορετικών τύπων αλληλεπιδράσεων και των ποσοστών εξέλιξης των διαφόρων λειτουργικών διαδικασιών. Είναι δύσκολο να αναπαρασταθεί η έννοια της λήψης μιας ενέργειας, πόσο μάλλον μιας σειράς ενεργειών και η έννοια των συνεπειών της λήψης μιας σειράς από ενέργειες, χωρίς τη ρητή ή υπονοούμενη εισαγωγή της έννοιας του χρόνου. Αυτή η έμφυτη απαίτηση, ισχύει για προγράμματα υπολογιστών τα οποία προσπαθούν να συλλογιστούν για τον κόσμο. Τα κλινικά πεδία δεν θέτουν καμία εξαίρεση στη θεμελιώδη ανάγκη για χρονικό συλλογισμό. Όλες οι γενικές εργασίες στα ιατρικά πεδία όπως για παράδειγμα είναι, η διάγνωση για μια τρέχουσα ασθένεια, ο προγραμματισμός της θεραπείας, χρειάζονται ρητά ή υπονοούμενα χρονικό συλλογισμό. Η φυσική πορεία μιας ασθένειας, η αιτία ενός κλινικού συμπεράσματος και η διάρκεια ενός συμπτώματος είναι όλα εκφράσεις που υπονοούν ένα συγκεκριμένο μοντέλο χρόνου. Επιπλέον, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι χρονικές εκτιμήσεις συμμετέχουν ενεργά στο σχηματισμό και την αξιολόγηση των διαγνωστικών υποθέσεων και έτσι αναπαριστούν ένα μεγάλο μέρος των σχετικών απαγωγικών διαδικασιών συλλογισμού. Αν και για την επίτευξη αυτής της διπλωματικής εργασίας χρειάστηκε να γίνει περιορισμός σε θέματα που αφορούσαν το χρονικό συλλογισμό σε εφαρμογές κλινικής

διάγνωσης (πχ. συλλογισμό για το χρόνο και τη βασική φύση και ιδιότητες του χρόνου καθώς και για τις διάφορες προτάσεις που μπορούν να συνδεθούν με τις χρονικές μονάδες και να αιτιολογηθούν γι αυτό, ο ρόλος του χρόνου στα τέσσερα μοντέλα που εξετάστηκαν σε σύγκριση με το μοντέλο ‘C-T-A’) εντούτοις, χρειάστηκε να γίνει αναφορά και ανάλυση του συστήματος ‘TCS’, το οποίο αντιμετωπίζει το θέμα του χρονικά προσανατολισμένου ελέγχου. Η διαδικασία ελέγχου, έχει ως στόχο την παρατήρηση του πόσο πολύ ταιριάζει η εξελιγμένη πραγματικότητα με την προβαλλόμενη εξέλιξη της κατάστασης ενός ασθενή. Αν δεν υπάρχει προβαλλόμενη εξέλιξη, το έργο του ελέγχου είναι η παρατήρηση των αλλαγών σε σχέση με την τρέχουσα κατάσταση του ασθενή και η κατάλληλη αξιολόγηση αυτών των αλλαγών (σταθερή, χειρότερη ή βελτιωμένη κατάσταση).

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, για την επίτευξη της βιβλιογραφικής συγκριτικής μελέτης ανασκόπησης πάνω στο θέμα της χρονικής ιατρικής διάγνωσης, κρίνεται απαραίτητη η χρήση του γενικευμένου διαγνωστικού μοντέλου διάγνωσης ‘C-T-A’. Το μοντέλο αυτό, αποτελεί ένα υψηλού επιπέδου αναλυτικό πλαίσιο σύγκρισης ενός αριθμού εφαρμογών στη χρονική ιατρική διάγνωση. Οι προτάσεις που επιλέγηκαν για να γίνει αυτή η συγκριτική ανάλυση περιλαμβάνουν, μια Bayesian εφαρμογή (HDP), μια εφαρμογή βασισμένη στη λογική (η πρόταση των Console και Torasso), μια εφαρμογή βασισμένη στη γνώση (CANSET) και μια εφαρμογή ελέγχου (TCS). Στις τρεις πρώτες εφαρμογές, ο παράγοντας “αιτία” έχει κεντρική θέση. Ως αποτέλεσμα αυτού, η διαγνωστική γνώση στην εφαρμογή των Console και Torasso και στην εφαρμογή HDP, αναπαρίσταται σε σχέση με ένα μοναδικό, ακυκλικό, αιτιολογικό δίκτυο καθώς επίσης, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην ενσωμάτωση χρονικών περιορισμών στις αιτιολογικές σχέσεις. Οι πιο πάνω χρονικοί περιορισμοί αναφέρονται κυρίως, σε καθυστερήσεις μεταξύ αιτιών και επιπτώσεων και στην επιμονή των καταστάσεων. Επιπλέον, στις δύο πιο πάνω εφαρμογές, τα περιστατικά αντιμετωπίζονται ως αδιαίρετες οντότητες και όχι ως δυναμικές οντότητες οι οποίες ενσωματώνουν το χρόνο ως ένα σημαντικό θέμα και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Ο χρόνος συνδέεται «χαλαρά» μαζί τους με τη σύνδεση μιας μη χρονικής οντότητας με κάποιο χρονικό διάστημα. Επίσης, δεν αναγνωρίζονται γενικά επαναληπτικά φαινόμενα και περιοδικότητα όπως επίσης χρονικές τάσεις, καθώς αυτά απαιτούν σύνθετα περιστατικά. Αντιθέτως, σε συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν συσχετιζόμενες

αναπαραστάσεις, οι ασθένειες μοντελοποιούνται ξεχωριστά και οι χρονικοί περιορισμοί αφορούν χρονικά ζευγάρια στιγμιαίων γεγονότων. Τα γεγονότα αυτά σημειώνουν αρχή και τέλος των συμβάντων. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι, η αιτιότητα είναι απαραίτητη στην περίπτωση που θέλουμε να ξεφύγουμε από την απλή, συσχετιστική αναπαράσταση των ασθενειών και να έχουμε την ευχέρεια να αντιλαμβανόμαστε την εξέλιξη των ασθενειών σε σχέση με εσωτερικές καταστάσεις.

Έχοντας επισημάνει τη σημαντικότητα του χρόνου και της αιτίας στην επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων, κρίνεται επίσης σημαντική η αναφορά στη γνώση των θεραπευτικών ενεργειών και των θετικών ή αρνητικών επιπτώσεων που μπορούν να επιφέρουν. Η γνώση λοιπόν των επιπτώσεων των θεραπευτικών ενεργειών, είναι απαραίτητη έτσι ώστε να είναι δυνατή η ερμηνεία καταστάσεων όπως είναι για παράδειγμα, οι καταστάσεις ενός ασθενή και οι υποτιθέμενες διαγνώσεις σε μια συμφραστικά εξαρτώμενη μορφή. Έχοντας εξετάσει μέσω της βιβλιογραφικής ανάλυσης τους τρεις παράγοντες, χρόνος, αιτία, θεραπευτική ενέργεια, διαπιστώνουμε ότι, το μοντέλο C-T-A υποστηρίζει τη ρητή μοντελοποίηση της αιτιολογίας καθώς επίσης τη μοντελοποίηση των θεραπευτικών ενεργειών. Επιπρόσθετα, ο χρόνος στο μοντέλο C-T-A, αποτελεί τον παράγοντα που συνδέει τα πάντα μαζί καθώς, οι ενέργειες ενσωματώνουν αιτιολογικούς μηχανισμούς οι οποίοι αποτελούν ένα σύνολο από λειτουργίες που σχετίζονται άμεσα με το χρόνο, οι αλλαγές και οι δυναμικές καταστάσεις είναι αιτιολογικές και ο χρόνος σχετίζεται πραγματικά με την αιτιολογία. Ακόμα, ένα άλλο χαρακτηριστικό το οποίο εμφανίζεται και στα πέντε επίπεδα του μοντέλου C-T-A είναι η χρονική αβεβαιότητα. Η συγκριτική ανάλυση λοιπόν των τεσσάρων προαναφερθέντων μοντέλων σε σχέση με το μοντέλο C-T-A, βασίστηκε εκτός από τους παράγοντες χρόνος, αιτία, θεραπευτική ενέργεια, στην ύπαρξη ή όχι της χρονικής αβεβαιότητας σε αυτά. Η χρονική αβεβαιότητα αναγνωρίζεται ως ένα απαραίτητο θέμα αναπαράστασης, το οποίο εκφράζεται είτε με απόλυτο τρόπο όπως για παράδειγμα με σειρές καθυστερήσεων, διάρκειες ή χρονικές επεκτάσεις ή με σχετικό τρόπο όπως για παράδειγμα με διαζεύξεις χρονικών σχέσεων μεταξύ δύο διαστημάτων.

6.2 Εισηγήσεις για δυνατή επέκταση της εργασίας

Έχοντας διερευνήσει το μοντέλο “Αιτία-Χρόνος-Θεραπευτική Ενέργεια” σε εφαρμογές κλινικής διάγνωσης, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι, η ιατρική χρονική διάγνωση προς το παρόν προσελκύει δικαιολογημένα αρκετή προσοχή. Έχουν ήδη υλοποιηθεί ενδιαφέροντα αποτελέσματα αλλά χρειάζεται να γίνει περισσότερη δουλειά προκειμένου να καλυφθούν πλήρως οι χρονικές ανάγκες των πραγματικών ιατρικών διαγνωστικών προβλημάτων και να χρησιμοποιηθεί ο χρόνος στην παραγωγή λύσεων με ένα υπολογιστικά αποδοτικό και αποτελεσματικό τρόπο. Ακόμα, αν και έχει δημιουργηθεί μεγάλη πρόοδος στη μοντελοποίηση του χρόνου, δεν δημιουργήθηκε ανάλογη πρόοδος στη μοντελοποίηση των ενεργειών. Μερικά ακόμα σημαντικά θέματα όπως είναι για παράδειγμα, η πολλαπλή κατανομή του χρόνου, η επανάληψη, τα σύνθετα περιστατικά και η αποτελεσματική χρήση των χρονικών περιορισμών στη δημιουργία υποθέσεων, χρειάζονται περισσότερη ερευνητική προσοχή. Παρόλη λοιπόν τη δουλειά που έχει γίνει στις εφαρμογές που σχετίζονται με την ιατρική, χρειάζεται ακόμα να γίνει αρκετή πρόοδος έτσι ώστε να ενσωματωθεί επιτυχώς η τεχνική του χρονικού συλλογισμού στην καθημερινή διαδικασία της ιατρικής φροντίδας. Καθώς οι ιατρικές διαδικασίες εξελίσσονται με την προσαρμογή υπαρχουσών θεραπειών σε καινούργια ευρήματα στη συγκεκριμένη περιοχή ή την εύρεση διαδικασιών θεραπείας για καινούργιες ασθένειες, θα προστεθούν καινούργιες προκλήσεις στις ήδη υπάρχουσες. Αυτό οπωσδήποτε υπόσχεται να παρέχει μια πλούσια πηγή προκλήσεων στην κοινότητα της Τεχνητής Νοημοσύνης.

Βιβλιογραφία

- [1] Allen J., “Towards a General Theory of Action and Time”, *Artificial Intelligence*, 23: pp.123-154, 1984.”
- [2] Anselma L., Terenziani P., Montani S., Bottrighi A., “Towards a comprehensive treatment of repetitions, periodicity and temporal constraints in clinical guidelines”, *Artificial Intelligence in Medicine*, v.38 n.2, pp.171-195, October, 2006.
- [3] Augusto J. C., “Temporal reasoning for decision support in medicine”, *Artificial Intelligence in Medicine*, v.33 n.1, pp.1-24, 1 January, 2005.
- [4] Bichindaritz I, Conlon E. Temporal knowledge representation and organization for case based reasoning. In [21]: pp.152-159.
- [5] Bylander T., Allemang D., Tanner M.C. and Josephson J.R., “The computational complexity of abduction”, *Artificial Intelligence* 49 pp.25–60, 1991.
- [6] Chitarro L., Dojat M., “Using a General Theory of Time and Change in Patient Monitoring: Experiment and Evaluation”, *Computers in Biology and Medicine* 1997 (this issue).
- [7] Clifford J., “Formal semantics and pragmatics for natural language querying”, *Cambridge tracts in theoretical computer science*, *Cambridge University Press*, Cambridge, 1990.
- [8] Combi C., Pinciroli F., Pozzi G., “Managing different time granularities of clinical information by an interval-based temporal data model”, *Methods of information in medicine* 34(5): pp.458-474, 1995.
- [9] Console L., Hamscher W., and de Kleer J., (1989), “Readings in model-based diagnosis”, Morgan Kauffman.
- [10] Console L., Torasso P., “Temporal Constraint Satisfaction in Causal Models”, *Information Sciences*, 69: pp.1-32, 1993.

- [11] Console L., Torasso P., “On the Co-operation between Abductive and Temporal Reasoning in Medical Diagnosis”, In [15]: pp.291-311.
- [12] Console, L., and Torasso, P., “Dealing with time in diagnostic reasoning based on causal models”, In *Ras, Z. and Saitta, L. (eds), Methodologies for Intelligent Systems 3*, pp. 230–239, Amsterdam: North-Holland, 1988.
- [13] Dagum P., Galper A., Horvitz E., Seiver A., “Uncertain Reasoning and Forecasting”, *International Journal of Forecasting*, 11: pp. 73-87, 1993.
- [14] Dagum P., Galper A., “Time-series prediction using belief network models”, *International Journal of Human-Computer Studies* 42: pp. 617- 632, 1995.
- [15] De Kleer J., Mackworth A.K, and Reiter R., “Characterizing Diagnoses and Systems”, *Artificial Intelligence*, 56: pp. 197–222, 1992.
- [16] De Kleer J., and Williams B. C., " Diagnosing Multiple Faults", *Artificial Intelligence*, Vol. 82, No. 1, pp. 97-130.
- [17] Ernst G.P., Bovenkamp Jan C.A., van der Lubbe., “Temporal Reasoning with Fuzzy Time-Objects”.
- [18] Fagan L.M. “VM: Representing Time-Dependent Relations in a Medical Setting”, PhD thesis. *Stanford University*, June 1980.
- [19] Gary K.M., “Model-Based Interpretation of Time-Ordered Medical Data”, *Phd thesis. University of California*. San Francisco, December 1988.
- [20] Glymour C., Scheines R., Spirtes P., Kelly K., “Discovering causal structure”, *New York: Academic Press*, 1987.
- [21] Haimowitz I.J, Kohane I.S., “Managing temporal worlds for medical trend diagnosis”, *Artificial Intelligence Med*, 8: pp. 299-321, 1996.
- [22] Hamscher W., Console L., and de Kleer J. (1992), “Readings in model-based diagnosis”, *San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc*. ISBN 1558602496.

- [23] Keravnou E.T., “Temporal constraints in clinical diagnosis”, *Artificial Intelligence Fuzzy Systems* 12, 2002 (1).
- [24] Keravnou E.T., “A Multidimensional and Multigranular Model of Time for Medical Knowledge-Based Systems”, *Journal of Intelligent Information Systems*, v.13 n.1-2, pp. 73-120, July-Oct., 1999.
- [25] Keravnou E.T. (guest editor), “Special Issue on Temporal Reasoning in Medicine”, *Artificial Intelligence in Medicine* 1996; 8(3).
- [26] Keravnou E.T., “Engineering time in medical knowledge-based systems through time-axes and time-objects”, In [21]: pp. 160-167.
- [27] Keravnou E.T., Washbrook J., “A Temporal Reasoning Framework Used in the Diagnosis of Skeletal Dysplasias”, *Artificial Intelligence in Medicine*, 2: pp. 239-265, 1990.
- [28] Keravnou E.T., “Temporal Diagnostic Reasoning Based on Time-Objects”, *Artificial Intelligence in Medicine*, 8(3), pp. 235–265, 1996c.
- [29] Keravnou E.T., Washbrook J., “Abductive diagnosis using time-objects: criteria for the evaluation of solutions”, Submitted for publication.
- [30] Keravnou E.T., “A time ontology for medical knowledge-based systems”, *In Proceedings EMCSR’98*, pp. 831–835, 1998.
- [31] Keravnou E.T., Washbrook J., “Temporal Abductive Diagnosis”, *Proc. 9th Portuguese Conference on Artificial Intelligence (EPIA ‘99)*, Springer Verlag Lecture Notes in AI, Vol. 1695, pp. 312-326, 1999.
- [32] Keravnou, E.T., Shahr Y., “Temporal Reasoning in Medicine”, in Fisher M.D., Gabbay D.M. and Vila L. (eds.), *Handbook of Temporal Reasoning in AI*, Elsevier Science B.V, pp. 587-653, 2005.
- [33] Konolige K., “Using Default and Causal Reasoning in Diagnosis”, pp. 97-135.

- [34] Kowalski R., Sergot M., “A logic-based calculus of events”, *New Generation Computing*, 4: pp. 67-95, 1986.
- [35] Larizza C., Moglia A., Stefanelli M., “M-HTP: A System for Monitoring Heart Transplant Patients”, *Artificial Intelligence in Medicine*, 4: pp. 111-126, 1992.
- [36] Long W.J., “Reasoning about state from causation and time in a medical domain”, in: *Proc. IAAA 1983, IEEE Society Press*, pp. 251–254, 1983.
- [37] Long W.J., “Medical Diagnosis Using a Probabilistic Causal Network”, *Applied Artificial Intelligence* 3, pp. 367-383, 1989.
- [38] Long W. J., Naimi S. and Criscitiello M. G., “Development of a Knowledge Base for Diagnostic Reasoning in Cardiology”, *Computers in Biomedical Research* 25, pp. 292-311, 1992.
- [39] Long W. J., “Temporal Reasoning for Diagnosis in a Causal Probabilistic Knowledge Base”, *Artificial Intelligence in Medicine*, 8: pp. 193-215.
- [40] McDermott D.V., “A temporal logic for reasoning about processes and plans”, *Cognitive Science*, 6(2): pp. 101-155, 1982.
- [41] Miksch S., Horn W., Popow C., Paky F., “Time-oriented analysis of data in ICU monitoring”, In: *Lavrac N., Keravnou E., Zupan B., editors. Intelligent data analysis in medicine and pharmacology: an overview. Boston: Kluwer Academic Publishers*, 1997.
- [42] Montanari A., Pernici B., “Temporal Reasoning”, In [66]: pp. 534-562.
- [43] Ozsoyoglu G., Snodgrass R.T., “Temporal and real-time databases: a Survey”, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 7(4): pp. 513-532, 1995.
- [44] Patil R. S., Szolovits P. and Schwartz W. B., “Causal understanding of patient illness in medical diagnosis”, In *Proceedings of the Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 893-899, 1981.
- [45] Pearl J., “Causality: models, inference and reasoning”, *Cambridge University Press*, 2000.

- [46] Poole D., "Representing Knowledge for Logic-Based Diagnosis", *Proc. International Conference on Fifth Generation Computing Systems*, Tokyo, pp. 1282-1290.
- [47] Preist C., Eshghi K., Bertolino B., "Consistency-Based and Abductive Diagnoses as Generalized Stable Models", *Annals of Mathematics, Artificial Intelligence*. 11(1-4): pp. 51-74, 1994.
- [48] Reiter R., "A theory of diagnosis from first principles", *Artificial Intelligence* 32, pp. 57-95, 1987.
- [49] Riva A., Bellazzi R., "Learning temporal probabilistic causal models from longitudinal data", In[16]: pp. 217-234.
- [50] Russ T. A., "Temporal Control Structure Reference Manual", *Massachusetts Institute of Technology, Laboratory for Computer Science Technical Manual, MIT-LCS-TM-331*, June 1987.
- [51] Russ T.A., "Using hindsight in medical decision making", *Compute Methods Programs Biomed*, 32(1): pp. 81-90, 1990.
- [52] Russ T. A., In Martin D. Fox, Mary Anne F. Epstein, et al. editors, "Coordinating Advice and Actual Treatment", *Proceedings of the 1991 IEEE Seventeenth Annual Northeast Bioengineering Conference*, pp. 261-262, April 1991.
- [53] Russ T. A., "A system for using time-dependent data in patient management", In Salamon, R., Blum, B., and Jorgensen, M. (eds), *MEDINFO '86: Proceedings of the Fifth Conference on Medical Informatics*. pp. 165–169, North-Holland, Amsterdam, 1986.
- [54] Seyfang A., Miksch S., "Advanced temporal data abstraction for guideline execution. In: Presented at computer-based support for clinical guidelines and protocols", *Symposium on computerized guidelines and protocols (CGP 20004)*. IOS Press, pp.88-103, 1990.

- [55] Shahar Y., "Dynamic temporal interpretation contexts for temporal abstraction", In [21]: pp. 64-71.
- [56] Shahar Y., "A framework for knowledge-based temporal abstraction", *Artificial Intelligence*, 1997, 90 (in press).
- [57] Shahar Y., "A knowledge-based method for temporal abstraction of clinical data", *Ph.D. thesis, Department of Computer Science, Stanford University* (Report No. KSL-94-64 or STAN-CS-TR-94-1529).
- [58] Singh M., "Toward a Model Theory of Actions: How Agents do it in Branching Time", Technical Report: TR-96-17, 1998.
- [59] Snodgrass R.T (ed)., "The TSQL2 temporal query language", *Kluwer Academic Publishers*, Boston, MA, 1995.
- [60] Stacey M., C. McGregor, "Temporal abstraction in intelligent clinical data analysis: A survey", *Sydney, Australia, Essex, UK: Elsevier Science Publishers Ltd.* ISSN: 0933-3657, 2007.
- [61] Stacey M., "Knowledge based temporal abstraction within the neonatal intensive care domain", In: Presented at CSTE innovation conference. *University of Western Sydney*, 2005.
- [62] Stefik M., "Introduction to knowledge systems", pp. 724-729, 1995.
- [63] Vila L., Godo L., "On Fuzzy Temporal Constraint Networks", *ftcn.ps.gz, Mathware and Soft Computing* Vol. 1, n. 3, pp. 315-334, 1994.
- [64] Woods W., "What's in a Link: Foundations for Semantic Networks", in Bobrow and Collins (Eds.), *Representation and Understanding. Academic Press*, New York, 1975.
- [65] Kulikowski, C. A. and Weiss, S. M. "Representation of Expert Knowledge for Consultation: The CASNET and EXPERT Projects." Chapter 2 in Szolovits, P. (Ed.) *Artificial Intelligence in Medicine*. Westview Press, Boulder, Colorado. 1982.