

Ατομική Διπλωματική Εργασία

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ «ΑΙΤΙΑ-ΧΡΟΝΟΣ-ΘΕΡΑΠΕΥΤΙΚΗ
ΕΝΕΡΓΕΙΑ» ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΛΙΝΙΚΗΣ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ**

Φωτεινή Ανδρέου

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Δεκέμβριος 2020

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ «ΑΙΤΙΑ-ΧΡΟΝΟΣ-ΘΕΡΑΠΕΥΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ» ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΛΙΝΙΚΗΣ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ

Φωτεινή Ανδρέου

Επιβλέπων Καθηγητής

Ελπίδα Κεραυνού-Παπαηλίου

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

Δεκέμβριος 2020

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κ. Ελπίδα Κεραυνού-Παπαηλίου για την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω την παρούσα εργασία δείχνοντας μου εμπιστοσύνη και δίνοντας μου πλήρη υποστήριξη και καθοδήγηση για την ολοκλήρωση της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης την οικογένεια μου και τους φίλους μου για τη στήριξη και συμπαράσταση που μου έδειχναν στην διάρκεια των σπουδών μου στο Πανεπιστήμιο Κύπρου.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εντάσσεται στο ευρύτερο πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης στην Ιατρική (Artificial Intelligence in Medicine) και στόχος της είναι η 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, όπου τα περισσότερα περιέχουν αδυναμίες. Στόχος του γενικευμένου διαγνωστικού μοντέλου (C-T-A) βασιζόμενο στη γνώση, είναι να καλύψει τους τρεις αλληλένδετους παράγοντες αιτία, χρόνος και θεραπευτική ενέργεια, έτσι ώστε να πετύχει μια υψηλού επιπέδου θεώρηση της διαγνωστικής διεργασίας και να εξαλείψει τις αδυναμίες που υπάρχουν στα συστήματα όπου δεν μοντελοποιούν ρητά τους βασικούς παράγοντες αυτούς. Οι προκλήσεις που προκύπτουν στην επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων προκαλούν σημαντικό ερευνητικό ενδιαφέρον, όπως για παράδειγμα η αναπαράσταση και ο συλλογισμός με το χρόνο και γενικότερα το θέμα της χρονικής ιατρικής διάγνωσης. Το “C-T-A” μοντέλο, δεν δεσμεύεται ως προς την αναπαράσταση του χρόνου, των αιτιολογικών σχέσεων και των θεραπευτικών ενεργειών. Ωστόσο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα υψηλού επιπέδου ερμηνευτικό πλαίσιο σύγκρισης για την συγκριτική ανάλυση ήδη υπάρχουσών 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 ερμηνευτικό πλαίσιο για τη συγκριτική ανάλυση αυτή.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή.....	1
	1.1 Εισαγωγή	1
	1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας	2
Κεφάλαιο 2	Διαγνώσεις και Είδη Διαγνώσεων.....	4
	2.1 Διάγνωση	4
	2.2 Κλινική Διάγνωση	5
	2.3 Διάγνωση βασιζόμενη στη Συνέπεια (Consistency-based diagnosis)	6
	2.4 Απαγωγική Διάγνωση (Abductive diagnosis)	7
	2.5 Διάγνωση βασιζόμενη σε Μοντέλο (Model-based diagnosis)	7
	2.6 Απαγωγική Διάγνωση βασιζόμενη σε Χρονικά Αντικείμενα (Abductive diagnosis based on time-objects)	11
	2.7 Υπόθεση Μοναδικού Σφάλματος (Single point of failure assumption)	14
	2.8 Υπόθεση Πολλαπλών Σφαλμάτων (Multiple points of failure assumption)	15
	2.9 Σύνθετες Υποθέσεις	15
Κεφάλαιο 3	Η έννοια του Χρόνου στην Ιατρική και στην Επίλυση Διαγνωστικών Προβλημάτων.....	17
	3.1 Χρονικά συστήματα πληροφόρησης στην Ιατρική	17
	3.2 Μοντελοποίηση χρονικών εννοιών	18
	3.3 Η έννοια του χρόνου στην επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων	20
	3.4 Η έννοια της γνώσης στην επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων	22

3.5 Χρονικός Συλλογισμός (Temporal Reasoning)	24
3.6 Χρονική Απαγωγική Διάγνωση (Temporal Abductive Diagnosis)	27
3.7 Χρονική Αφαιρετικότητα Δεδομένων (Temporal Data Abstraction)	29
3.8 Χρονική Αβεβαιότητα (Temporal Uncertainty)	33
3.9 Πολλαπλές Μονάδες Χρόνου (Multiple Granularities)	35
3.10 Χρονική Συνέπεια (Temporal Consistency)	37
3.11 Χρονικοί Περιορισμοί (Temporal Constraints)	38
 Κεφάλαιο 4 Μοντέλο «Αιτία–Χρόνος-Θεραπευτική Ενέργεια» και	
Βιβλιογραφική συγκριτική ανάλυση εφαρμογών	41
4.1 Μοντέλο «Αιτία-Χρόνος-Θεραπευτική Ενέργεια» (Causal-Temporal- Action Model)	41
4.2 Πρόγραμμα καρδιακών παθήσεων (Heart Disease program)	45
4.3 Russ' Χρονική Δομή Παρακολούθησης (Temporal Control Structure – “TCS”)	51
4.4 Χρονική Απαγωγική Διαγνωστική Αρχιτεκτονική των Console και Torasso (Console and Torasso' s Temporal Abductive Diagnostic Architecture)	59
4.5 Μοντέλο CASNET (Causal-Associational Network Model)	64
 Κεφάλαιο 5 Διεργασία της κλινικής διάγνωσης.....	72
5.1 Κύκλος Διάγνωσης-Θεραπείας	72
5.2 Τεκμηρίωση της σημασίας της αιτιολογικής σχέσης	73

5.3 Τεκμηρίωση της σημασίας του χρόνου	76
5.4 Τεκμηρίωση της σημασίας της ικανότητας συλλογισμού αναφορικά με θεραπευτικές ενέργειες που αναφέρονται στο ιστορικό του ασθενή	80
5.5 Συσχετισμός των εννοιών της αιτιότητας, του χρόνου και των θεραπευτικών ενεργειών	82
Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα.....	84
6.1 Γενικά συμπεράσματα	84
6.2 Εισηγήσεις για μελλοντική επέκταση εργασίας	87
Β ι β λ ι ο γ ρ α φ ί α	89
Κατάλογος Όρων	96

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή και στόχος της Διπλωματικής Εργασίας	1
1.2 Δομή Διπλωματικής Εργασίας	2

1.1 Γενική Εισαγωγή

Στα πλαίσια της Διπλωματικής αυτής εργασίας, έγινε μια βιβλιογραφική 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 ερμηνευτικό πλαίσιο για τη συγκριτική αυτή ανάλυση. Η βιβλιογραφική αυτή μελέτη εντάσσεται στο ευρύτερο πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης.

Ο όρος Τεχνητή Νοημοσύνη επινοήθηκε το 1956 από τον Marvin Minsky. Η Τεχνητή Νοημοσύνη 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. Στις μέρες μας, ο τομέας της Τεχνητής Νοημοσύνης αποτελεί σημαντικό πεδίο έρευνας με ολοένα αυξανόμενο εύρος εφαρμογών, το οποίο καλύπτει ένα μεγάλο φάσμα περιοχών γεγονόσ που του δίνει πολυεπιστημονικό χαρακτήρα.

Η επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων, αποτελεί ζήτημα με ιδιαίτερο ενδιαφέρον, κυρίως για το θέμα της χρονικής ιατρικής διάγνωσης. Κάθε κλινική διάγνωση προϋποθέτει χρονικό συλλογισμό, αλλά και αναπαράσταση του χρόνου. Μέσα από μελέτες αποδείχτηκε ότι σε προηγούμενες εφαρμογές δεν δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση σχετικά με τη χρονική διάσταση, καθώς η σχετική τεχνολογία δεν υπήρχε για να

χρησιμοποιηθεί η έννοια του χρονικού συλλογισμού (temporal reasoning), η οποία θεωρείται τόσο σημαντική. Πλέον όμως αυτό δεν ισχύει, καθώς η αναπαράσταση του χρόνου (time representation) και ο συλλογισμός (reasoning), αποτελούν ερευνητικό πεδίο και τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής έχουν εφαρμοστεί επιτυχώς σε διάφορα διαγνωστικά προβλήματα. Παράλληλα, η μοντελοποίηση του χρόνου είναι αναγκαία προϋπόθεση για τα νέα διαγνωστικά συστήματα που βασίζονται στη γνώση (knowledge-based diagnostic systems).

1.2 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Η Διπλωματική Εργασία περιλαμβάνει 6 επιμέρους κεφάλαια:

Το Κεφάλαιο 1 της Διπλωματικής Εργασίας είναι η «Εισαγωγή», όπου γίνεται μια γενική εισαγωγή στο θέμα της Διπλωματικής και στο στόχο της.

Το Κεφάλαιο 2 είναι οι «Διαγνώσεις και Είδη Διαγνώσεων», όπου γίνεται αναφορά στα διάφορα είδη διάγνωσης που σχετίζονται με το πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης.

Το Κεφάλαιο 3 είναι «Η έννοια του Χρόνου στην Ιατρική και στην Επίλυση Διαγνωστικών Προβλημάτων», στο οποίο αναφέρεται η σημασία της ύπαρξης του χρόνου στην επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων και παρουσιάζονται διάφορες έννοιες αναφορικά με το χρόνο.

Το Κεφάλαιο 4 είναι το «Μοντέλο «Αιτία–Χρόνος–Θεραπευτική Ενέργεια» και Βιβλιογραφική συγκριτική ανάλυση εφαρμογών», όπου γίνεται μια γενική περιγραφή του “C-T-A” μοντέλου και στη συνέχεια μια βιβλιογραφική συγκριτική μελέτη διάφορων εφαρμογών με ερμηνευτικό πλαίσιο το μοντέλο αυτό.

Το Κεφάλαιο 5 είναι η «Διεργασία της Κλινικής Διάγνωσης», όπου γίνεται αναφορά στο ρόλο της αιτιολογικής σχέσης, του χρόνου και των θεραπευτικών ενεργειών στη διεργασία μιας κλινικής διάγνωσης.

Το Κεφάλαιο 6 όπου είναι τα «Συμπεράσματα», παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν, μέσα από τους βασικούς στόχους της Διπλωματικής Εργασίας, καθώς και πιθανή μελλοντική επέκταση της εργασίας.

Πέραν από τη βιβλιογραφία η οποία περιλαμβάνει τις πηγές που αξιοποιήθηκαν, έχει συγκροτηθεί και ένας κατάλογος με τους κυριότερους όρους και τις σελίδες αναφοράς τους στο κείμενο της διπλωματικής.

Κεφάλαιο 2

Διαγνώσεις και Είδη Διαγνώσεων

2.1 Διάγνωση	4
2.2 Κλινική Διάγνωση	5
2.3 Διάγνωση βασιζόμενη στη Συνέπεια (Consistency-based diagnosis)	6
2.4 Απαγωγική Διάγνωση (Abductive diagnosis)	7
2.5 Διάγνωση βασιζόμενη σε Μοντέλο (Model-based diagnosis)	7
2.6 Απαγωγική Διάγνωση βασιζόμενη σε Χρονικά Αντικείμενα (Abductive diagnosis based on time-objects)	11
2.7 Υπόθεση Μοναδικού Σφάλματος (Single point of failure assumption)	14
2.8 Υπόθεση Πολλαπλών Σφαλμάτων (Multiple points of failure assumption)	15
2.9 Σύνθετες Υποθέσεις	15

2.1 Διάγνωση

Ο ορισμός της διάγνωσης αποτελεί μια έννοια η οποία δύσκολα μπορεί να διατυπωθεί από οποιονδήποτε ερευνητή τα τελευταία χρόνια. Μέσω μιας διάγνωσης περιμένει κανείς να εξηγηθεί οποιαδήποτε μη φυσιολογική λειτουργία παρατηρείται στη συμπεριφορά ενός συστήματος και η εξέταση στοιχείων και συμπτωμάτων που προκύπτουν, σύμφωνα με τις γνώσεις που έχει για το σχεδιασμό και τη δομή του συστήματος. Ένα διαγνωστικό πρόβλημα μπορεί να διαχωριστεί σε δυο περιπτώσεις [6]. Στην πρώτη περίπτωση η διάγνωση μέσω ενός επαναληπτικού κύκλου πρόβλεψης

συμπεριφοράς του συστήματος, ανιχνεύει πιθανές συγκρούσεις. Για τέτοιου είδους διαγνώσεις υπάρχουν οι εφαρμογές βασιζόμενες στη συνέπεια. Αυτές οι διαγνώσεις, φαίνεται να γνωρίζουν πώς δομούνται και εργάζονται λειτουργικά τα συστατικά μέρη αλλά, δεν γνωρίζουν πώς εμφανίζονται και εκδηλώνονται οι δυσλειτουργίες. Στη δεύτερη περίπτωση η διάγνωση καθορίζει απλά τις μη φυσιολογικές λειτουργίες, δηλαδή τις ασθένειες και τα συμπτώματα των ασθενειών αυτών, για αυτό και χρειάζεται να υπολογιστούν οι μη λειτουργικές παρατηρήσεις. Το γεγονός αυτό, συμβάλλει στη διατήρηση των απαγωγικών εφαρμογών. Με πιο απλά λόγια ο όρος «διάγνωση» αναφέρεται στο αν δυσλειτουργεί ή όχι ένα σύστημα και στη διαδικασία υπολογισμού της απάντησης. Στην ιατρική η έκφραση «διάγνωση» είναι η εύρεση μιας ασθένειας βάσει των συμπτωμάτων και άλλων ενδείξεων που παρουσιάζει ο ασθενής. Στον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης η διάγνωση έχει να κάνει με ανάπτυξη αλγορίθμων και τεχνικών που μπορούν να προσδιορίσουν αν η συμπεριφορά του συστήματος είναι ορθή ή όχι. Στην περίπτωση όπου το σύστημα δε λειτουργεί ορθά ο αλγόριθμος θα πρέπει να προσδιορίσει, όσο το δυνατόν ακριβέστερα, σε ποιο μέρος του συστήματος υπάρχει το πρόβλημα και τι είδους λάθος αντιμετωπίζει. Το αποτέλεσμα βασίζεται στις παρατηρήσεις που γίνονται και αφορούν την τρέχουσα συμπεριφορά.

2.2 Κλινική Διάγνωση

Η κλινική διάγνωση σχετίζεται άμεσα με την απαγωγική διάγνωση και επικεντρώνεται στη μελέτη μιας ασθένειας και των συμπτωμάτων της. Οι τρεις βασικοί τύποι γνώσης για την επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων είναι η αιτιολογική γνώση, η γνώση χρονικών περιορισμών και η γνώση των θεραπευτικών ενεργειών. Η επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία συλλογισμού, ειδικά για τα κλινικά διαγνωστικά προβλήματα [5]. Ο σημαντικότερος παράγοντας στην κλινική διάγνωση είναι ο χρόνος, για αυτό ο ρόλος του στη διαδικασία συλλογισμού πρέπει να είναι κεντρικός αφού σχετίζεται άμεσα με τις υποθέσεις και τις αξιολογήσεις τους. Οι χρονικές απαιτήσεις για το έργο της κλινικής διάγνωσης είναι πολλές [26]. Κάποιες από αυτές χρειάζονται 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 είναι η διάγνωση βασιζόμενη στη συνέπεια η οποία παρατηρώντας τη συμπεριφορά ενός συστήματος καθορίζει αν αυτό έχει την αναμενόμενη συμπεριφορά ή όχι. Εάν το σύστημα δεν έχει την αναμενόμενη συμπεριφορά, έρχεται δηλαδή, σε σύγκρουση με τον τρόπο που πρέπει να συμπεριφέρεται κανονικά τότε, αντιμετωπίζει ένα διαγνωστικό πρόβλημα. Έτσι λοιπόν, πρέπει να προσδιοριστούν τα στοιχεία του συστήματος τα οποία θεωρείται ότι δεν λειτουργούν ορθά, εξηγώντας έτσι την απόκλιση μεταξύ της παρατηρούμενης συμπεριφοράς και της ορθής συμπεριφοράς του συστήματος. Για την επίλυση του διαγνωστικού αυτού προβλήματος, οι μόνες διαθέσιμες πληροφορίες είναι η περιγραφή του συστήματος, δηλαδή ο σχεδιασμός ή και η δομή του, μαζί με την παρατήρηση της συμπεριφοράς του συστήματος. Δεν υπάρχουν ευρετικές πληροφορίες σχετικά με τις δυσλειτουργίες του συστήματος. Επομένως, η διάγνωση βασιζόμενη στη συνέπεια έχει να κάνει με το αν η δομή και η συμπεριφορά του συστήματος είναι τέτοια ώστε να μπορεί να διαπιστώσει εάν το σύστημα δυσλειτουργεί ή όχι. Σύμφωνα με τη θεωρία του Reiter [44] η οποία αποκαλείται ως θεωρία της διάγνωσης βασιζόμενης στη συνέπεια, βασική ιδέα είναι να καθιερωθεί ένα μοντέλο με τη σωστή δομή και συμπεριφορά των διαγνωσμένων αντικειμένων. Η θεωρία του βασίζεται στη λογική της συνέπειας και σύμφωνα με αυτή η διάγνωση Δ σε ένα διαγνωστικό πρόβλημα $(SD, COMPONENTS, OBS)$ είναι ένα ελάχιστο σύνολο $\Delta \subseteq COMPONENTS$ έτσι ώστε $SD \cup OBS \cup \{ \neg ab(c) \mid c \in COMPONENTS - \Delta \}$ να είναι συνεπές. Όπου SD (περιγραφή συστήματος) είναι ένα σύνολο από βασικές προτάσεις οι οποίες αποτελούν την περιγραφή του συστήματος και καθορίζουν τη συμπεριφορά του. Στη συνέχεια, το $COMPONENTS$ (συστατικές μονάδες του συστήματος) είναι ένα σύνολο από σταθερές, όπου αντιπροσωπεύουν τα συστατικά στοιχεία του συστήματος, το OBS είναι ένα σύνολο από φόρμουλες οι οποίες περιγράφουν τις παρατηρήσεις του συστήματος και στο τέλος το ab όπου αποτελεί ένα μοναδιαίο κατηγορημα στο οποίο εμφανίζεται δυσλειτουργία. Όσον αφορά το στοιχείο c ο Reiter εξηγεί ότι αν αυτό είναι ανώμαλο τότε το $ab(c)$ είναι ορθό. Η θεωρία του Reiter παρουσιάζει αδυναμίες σχετικά με το σύνολο των $COMPONENTS$ σε περίπτωση που τα συστήματα έχουν μεγάλους αριθμούς από συστατικά στοιχεία, για αυτό και ο ίδιος προτείνει μια διαγνωστική

μέθοδο η οποία αρχικά προτάθηκε από τον de Kleer [17] και βασίζεται στην έννοια του συνόλου σύγκρουσης.

2.4 Απαγωγική Διάγνωση (Abductive diagnosis)

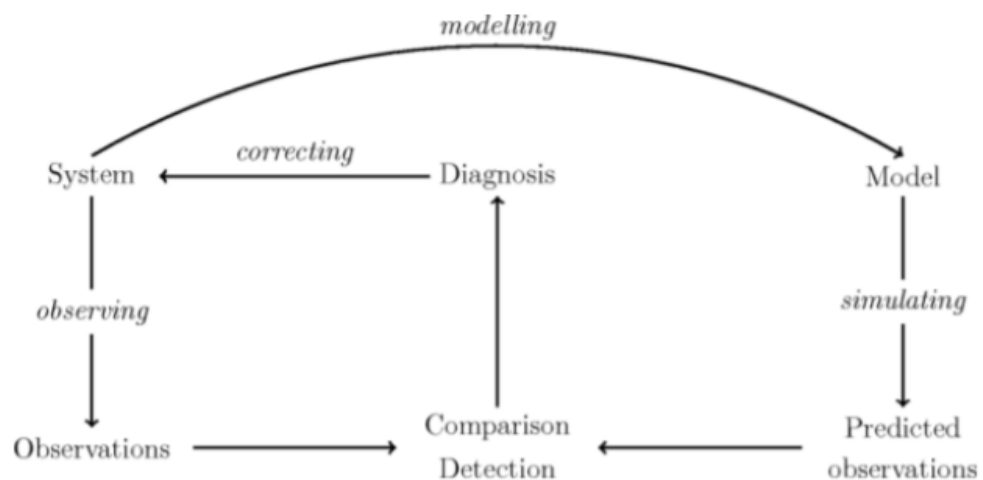
Η άλλη προσέγγιση της διάγνωσης είναι η απαγωγική διάγνωση στην οποία, αντίθετα με τη διάγνωση βασιζόμενη στη συνέπεια οι ευρετικές πληροφορίες διαδραματίζουν κυρίαρχο ρόλο. Στην απαγωγική διάγνωση δεν αρκεί να διαπιστωθεί ότι ένα συστατικό δυσλειτουργεί, αλλά πρέπει να εντοπίσει όσο το δυνατόν ακριβέστερα τις δυσλειτουργίες του συστατικού. Πιο συγκεκριμένα, να επισημανθούν σε επαρκές λεπτομερές επίπεδο, οι αιτίες των παρατηρήσεων της ανωμαλίας. Για τον καθορισμό της απαγωγικής διάγνωσης οι de Kleer, Mackworth και Reiter [16] υποστηρίζουν ότι πρέπει να διακρίνουμε τις προτάσεις που είναι για είσοδο, I, από αυτές που είναι για έξοδο, O, σε ένα σύνολο OBS που αποτελεί τις παρατηρήσεις από ένα σύνολο προτάσεων σε ένα σύστημα. Άρα, ουσιαστικά η απαγωγή είναι η διαδικασία με την οποία μπορεί κανείς να επεξηγήσει κάποια γεγονότα και παρατηρήσεις και να διακρίνει κάποια εύλογη πρόταση μέσα σε ένα σύνολο. Οι παρατηρήσεις που εξηγούνται με την εφαρμογή του απαγωγικού συλλογισμού σε αιτιολογικά συστήματα, λαμβάνονται υπόψη ως οι επιδράσεις των αιτιολογικών παραγόντων. Οι αιτίες αυτές θεωρούνται μέρος της περιγραφής του συστήματος, δηλαδή μέρος του συνόλου των βασικών προτάσεων SD. Μέσω των παρατηρήσεων με τη χρήση της απαγωγής, μπορεί κανείς να ορίσει τα περιεχόμενα των συνόλων SD, I και OBS έχοντας εύστοχα και ικανοποιητικά αποτελέσματα. Μέσα στο σύνολο SD περιέχονται διαφορετικοί τρόποι συμπεριφοράς, έτσι ώστε να διαφοροποιείται η κανονική από τη μη-κανονική συμπεριφορά. Η απαγωγική προσέγγιση είναι ένα σύνολο από υποθέσεις, οι οποίες μαζί με το σύνολο SD συνεπάγονται το σύνολο OBS. Η απαγωγική διάγνωση αντιμετωπίζει τα συστήματα σαν ένα φυσικό οργανισμό όσον αφορά τις αιτίες και τα αποτελέσματα. Κάνει υποθέσεις για τις αιτίες (σφάλματα, ασθένειες) και στη συνέχεια εντοπίζει τα συμπτώματα για κάθε αιτία. Αν για κάθε αιτία υπάρχει πάντα κάποιο ή κάποια συμπτώματα τότε αυτό είναι γεγονός, αντίθετα, αν για κάθε αιτία δεν υπάρχει πάντοτε κάποιο σύμπτωμα τότε είναι απλά μια πιθανή υπόθεση.

2.5 Διάγνωση βασιζόμενη σε Μοντέλο (Model-based diagnosis)

Δεδομένου ότι τα διαγνωστικά συστήματα της πρώτης γενεάς παρουσιάζουν κάποιες αδυναμίες αναπτύχθηκαν τεχνικές συλλογισμού βασιζόμενες σε μοντέλα. Κάποιοι ερευνητές μελέτησαν μια πολύ γενική επέκταση της παραδοσιακής προσέγγισης που βασίζεται στη συνέπεια για να αντιμετωπίσουν τη ρηχή συμπεριφορά των διαγνωστικών συστημάτων της πρώτης γενεάς. Συγκεκριμένα, οι τεχνικές βασιζόμενες σε μοντέλο που διερεύνησαν, είναι σε θέση να αναπτύξουν πολύπλοκα συστήματα επίλυσης προβλημάτων αφού επιτρέπουν την αναπαράσταση βαθιάς γνώσης. Όπως και στη διάγνωση βασιζόμενη στη συνέπεια, έτσι και στη διάγνωση βασιζόμενη σε μοντέλο εντοπίζονται τα στοιχεία ενός συστήματος που δυσλειτουργούν γνωρίζοντας μόνο τη δομή και τη συμπεριφορά του. Επιπλέον, στη διάγνωση βασιζόμενη σε μοντέλο ορίζεται ένα σύνολο από υποθέσεις για δυσλειτουργικές συμπεριφορές έτσι ώστε να μπορεί να καταλήξει στις μη λειτουργικές παρατηρήσεις.

Κάθε μοντέλο αναπτύσσεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να αναπαριστά τη δομή του συστήματος, τα συστατικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται το σύστημα καθώς και τις μεταξύ τους συνδέσεις. Οι διαγνώσεις βασιζόμενες σε μοντέλο είναι κατάλληλες για την επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων που προέρχονται από κάποια παρατήρηση η οποία φαίνεται να έρχεται σε σύγκρουση με την αναμενόμενη συμπεριφορά του συστήματος. Για την επίλυση τέτοιου είδους προβλημάτων, η διάγνωση βασιζόμενη σε μοντέλο εδράζεται στην περιγραφή του συστήματος και τις παρατηρήσεις της συμπεριφοράς του. Μια δυσκολία που έχει να αντιμετωπίσει μια τέτοιου είδους διάγνωση, είναι η μοντελοποίηση. Εξηγώντας το καλύτερα, αφού κάθε μοντέλο είναι αφαιρετικό, δύσκολα μπορεί να βρει κανείς το σωστό τρόπο αφαιρετικότητας με τον οποίο θα πρέπει να μοντελοποιηθεί το σύστημα. Η δυσκολία αυτή αποτελεί ένα σημαντικό ζήτημα στα διαγνωστικά συστήματα βασιζόμενα σε μοντέλο αφού μια από τις απαιτήσεις τους είναι να μπορούν να βασιστούν πάνω στο ίδιο το μοντέλο για διαφορετικές διεργασίες όπως είναι ο έλεγχος, η διάγνωση κλπ. Η επιλογή της κατάλληλης αφαιρετικότητας και της ρύθμισης του σωστού μοντέλου εξαρτώνται άμεσα από τη διεργασία. Έτσι, το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγουμε είναι ότι οι διαγνώσεις βασιζόμενες σε μοντέλο, σχετίζονται με τα διαγνωστικά συστήματα, όπου παρουσιάζουν δυσλειτουργίες και στηρίζονται σε κάποιο προκαθορισμένο μοντέλο το οποίο έχει την ίδια δομή και συμπεριφορά με τα συστήματα αυτά [44]. Κάθε εφαρμογή

υποθέτει ότι έχει στη διάθεση της ένα μοντέλο κάποιου συστήματος πάνω στο οποίο γίνεται διάγνωση. Αυτό το μοντέλο, υπάρχει περίπτωση να έχει την αναμενόμενη συμπεριφορά του συστήματος αλλά μπορεί και όχι ή ακόμη να ισχύουν και τα δυο. Οι δυο επικρατέστερες εφαρμογές βασιζόμενες σε μοντέλο είναι η διάγνωση βασιζόμενη στη συνέπεια [44] και η απαγωγική διάγνωση. Κάτι στο οποίο ξεχωρίζουν αυτές οι δυο διαγνώσεις είναι στον τρόπο που επεξηγούν τη λειτουργικότητα και τα σφάλματα ενός συστήματος. Ένας συλλογισμός βασιζόμενος στη συνέπεια μέσα από ένα σύνολο υποθέσεων για την ορθή συμπεριφορά, πρέπει να απορρίψει αυτές που αποκαθιστούν τη συνέπεια στις παρατηρήσεις δυσλειτουργικών συμπεριφορών. Ένας απαγωγικός συλλογισμός πρέπει να καθορίσει το σύνολο υποθέσεων για δυσλειτουργίες έτσι ώστε να βρεθούν οι παρατηρήσεις που παρουσιάζουν δυσλειτουργία. Άρα, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η διάγνωση βασιζόμενη σε μοντέλο αποτελεί ένα παράδειγμα απαγωγικού συλλογισμού η οποία χρησιμοποιεί κάποιο μοντέλο ενός συστήματος. Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζεται η βασική λειτουργία της διάγνωσης βασιζόμενης σε μοντέλο.



Σχήμα 2.1 Βασικός τρόπος λειτουργίας της διάγνωσης βασιζόμενης σε μοντέλο [21]

Στο Σχήμα 2.1 το μοντέλο που παρουσιάζεται, περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρεται το σύστημα. Παρουσιάζεται μια αφαιρετική συμπεριφορά του συστήματος και έτσι μπορεί να μην είναι ολοκληρωμένη. Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις του συστήματος, η εφαρμογή διαγνώσεων προσομοιώνει το σύστημα με βάση το μοντέλο αυτό και κάνει σύγκριση μεταξύ των παρατηρήσεων που έχουν

καταγραφεί σε σχέση με τις παρατηρήσεις που προβλέπονται από την προσομοίωση. Οι πιο κάτω κανόνες απλοποιούν τη μοντελοποίηση, όπου Ab είναι το κατηγορήμα της δυσλειτουργίας:

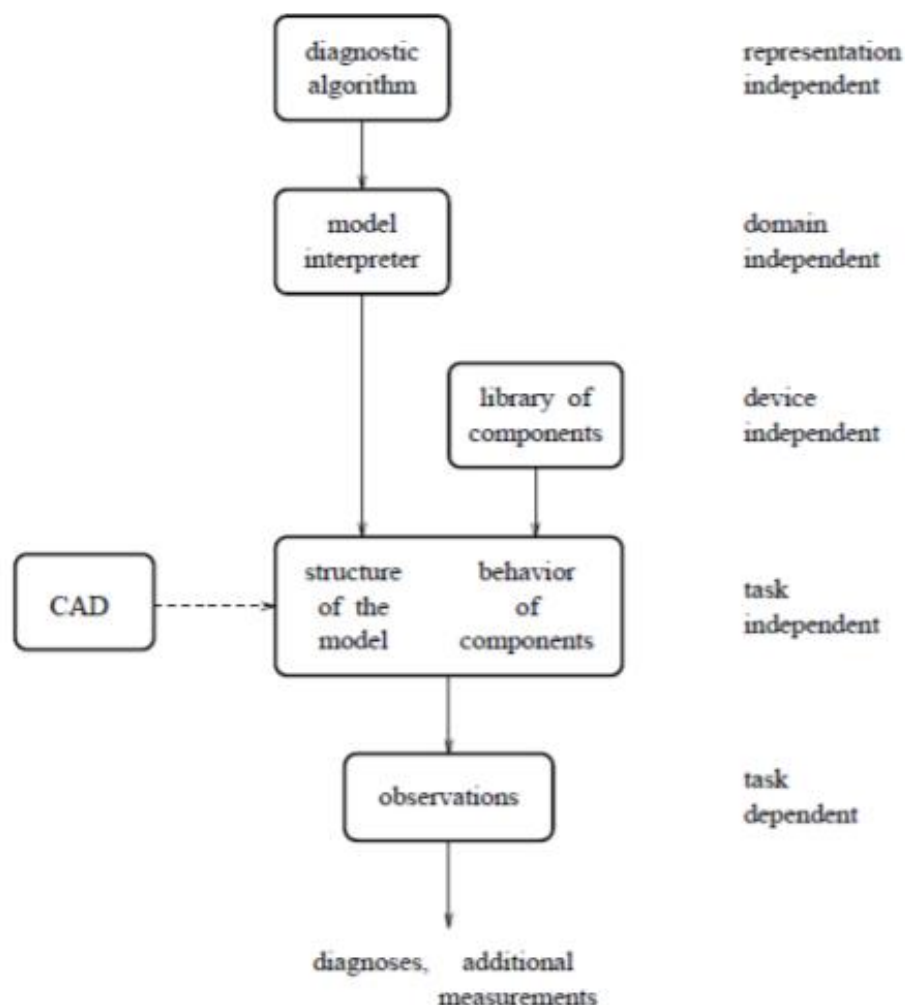
$$\neg Ab(S) \Rightarrow Int1 \wedge Obs1$$

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

Σύμφωνα με τους πιο πάνω κανόνες αν η συμπεριφορά του συστήματος είναι φυσιολογική, τότε η εσωτερική (μη ορατή) συμπεριφορά θα είναι $Int1$ και η ορατή συμπεριφορά $Obs1$. Αντίθετα, στην περίπτωση όπου η συμπεριφορά δεν είναι φυσιολογική, δηλαδή στο σύστημα εμφανίζονται δυσλειτουργίες, η εσωτερική συμπεριφορά θα είναι $Int2$ και η ορατή συμπεριφορά $Obs2$. Δεδομένων των παρατηρήσεων Obs , το πρόβλημα είναι, να προσδιοριστεί κατά πόσο η συμπεριφορά του συστήματος είναι φυσιολογική ή όχι ($\neg Ab(S)$ or $Ab(S)$).

Στόχος των διαγνωστικών συστημάτων αρχικά, ήταν να εξαλείψουν τους περιορισμούς των ευρετικών συστημάτων. Παρόλα αυτά, σύμφωνα με μια έρευνα που έγινε στα συστήματα βασιζόμενα σε μοντέλο αποδείχτηκε ότι είναι τόσο αναποτελεσματικά που η χρησιμότητα τους είναι ελάχιστη. Έτσι, με την πάροδο των χρόνων οι διαγνώσεις βασιζόμενες σε μοντέλο βελτιστοποιήθηκαν αρκετά. Οι πιο πολλές εφαρμογές που υποστηρίζουν αυτού τους είδους διάγνωση, παρουσιάζουν τη διάγνωση ενός συστήματος ως ένα σύνολο από δυσλειτουργικά συστατικά στοιχεία όπου επεξηγούν τα συμπτώματα.

Στο Σχήμα 2.2 φαίνεται η αρχιτεκτονική ενός τυπικού διαγνωστικού συστήματος βασιζόμενου σε μοντέλο:



Σχήμα 2.2 Αρχιτεκτονική διαγνωστικού μοντέλου βασισμένο σε μοντέλο [21]

Στο Σχήμα 2.2 βασική ιδέα είναι ένας διαγνωστικός αλγόριθμος, ο οποίος είναι σχεδόν ολοκληρωτικά ανεξάρτητος περιεχομένων και η ανάπτυξη ενός μοντέλου συσκευής πρέπει να αποτελεί εύκολη διαδικασία. Κάθε μοντέλο αποτελείται από τη δομή του και τη συμπεριφορά των συστατικών του στοιχείων. Σε ένα τεχνικό αντικείμενο, η δομή του είναι κυρίως στη δικαιοδοσία ενός CAD συστήματος, ενώ η συμπεριφορά των συστατικών του στοιχείων σχεδιάζεται από μια γενική βιβλιοθήκη. Επομένως, ένα τέτοιο μοντέλο χρησιμεύει στην πρόβλεψη, έλεγχο, διαχείριση ή διάγνωση.

2.6 Απαγωγική Διάγνωση βασισμένη σε Χρονικά Αντικείμενα (Abductive diagnosis based on time-objects)

Κάθε διαγνωστική επίλυση ενός προβλήματος, έχει ως στόχο να διατυπώσει την καλύτερη και πιο λογική λύση η οποία, θα παρέχει την πιο λογική εξήγηση της δυσλειτουργίας που εντοπίζει σε ένα άνθρωπο ή ένα σύστημα. Για την ανάπτυξη ενός τέτοιου διαγνωστικού συστήματος χρειάζεται η γνώση για το πώς δημιουργείται μια λογική λύση, η σημασία μιας λογικής επεξήγησης καθώς και το πώς επιλέγεις την καλύτερη λύση. Οι γνώσεις αυτές, αποτελούν τη βάση του απαγωγικού συλλογισμού. Ο χρόνος αποτελεί βασικό κομμάτι ενός διαγνωστικού συλλογισμού για αυτό το λόγο και πρέπει να αξιοποιείται ρητά στη διαγνωστική επίλυση ενός προβλήματος. Για να επιτευχτεί αυτό, προϋποθέτει να μοντελοποιηθούν όλες οι σχετικές έννοιες ως χρονικά αντικείμενα. Σύμφωνα με ένα απαγωγικό πλαίσιο που προτάθηκε [30], τα χρονικά αντικείμενα χρησιμοποιούνται για την επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων. Ο χρόνος, αποτελεί σημαντικό κομμάτι σε διάφορους ιατρικούς τομείς όπως για παράδειγμα οι σκελετικές δυσπλασίες. Τα χρονικά αντικείμενα, αποτελούν ένα συσχετισμό μιας ιδιότητας με μια ύπαρξη όπου, καθορίζεται ένα σύνολο από γενικά κριτήρια αξιολόγησης μέσω των οποίων αναπτύχθηκε ο χρόνος. Όσον αφορά τις σκελετικές δυσπλασίες, τα χρονικά αντικείμενα αποτελούν την έννοια της σημαντικότητας του χρόνου [30]. Παράδειγμα μιας τέτοιας περίπτωσης χρονικού αντικειμένου είναι ο συσχετισμός <platyspondyly, from-birth>, όπου platyspondyly είναι η ιδιότητα και from-birth είναι η ύπαρξη. Η αξιολόγηση των σημαντικών λύσεων, γίνεται βάσει όλων των κριτηρίων και μπορεί να συνδυαστεί κατάλληλα με μια ανάλογη εφαρμογή έτσι ώστε να οριστούν οι πιο λογικές και καλύτερες επεξηγήσεις.

Στην απαγωγική διάγνωση βασιζόμενη στα χρονικά αντικείμενα, μοντελοποιούνται τα σφάλματα, οι δυσλειτουργίες, οι θεραπευτικές ενέργειες καθώς και η λειτουργικότητα, ως χρονικά αντικείμενα με σκοπό να κατηγοριοποιήσει όλα τα στοιχεία του πεδίου. Ένα χρονικό αντικείμενο αποτελεί μια δυναμική οντότητα όπου ο χρόνος είναι αναπόσπαστο κομμάτι της. Η ύπαρξη των χρονικών αντικειμένων, όπως προαναφέρθηκε αποτελεί μια συσχέτιση μεταξύ μιας ιδιότητας και μιας ύπαρξης. Τυπικά, ένα χρονικό αντικείμενο, ορίζεται ως ζεύγος $\langle \pi_t, \varepsilon_t \rangle$ όπου π_t είναι η ιδιότητά του και ε_t η συνάρτηση ύπαρξής του. Η έννοια της ύπαρξης μπορεί να εκφραστεί σε σχέση με διάφορους χρονικούς άξονες (χρονικά πλαίσια), με απόλυτους ή σχετικούς όρους με ή χωρίς αβεβαιότητα. Τα χρονικά αντικείμενα σε μια απαγωγική διάγνωση, μπορεί να είναι σύνθετα, δηλαδή, να αποτελούνται από ένα σύνολο από πιο απλά

χρονικά αντικείμενα και να αλληλεπιδρούν με άλλα χρονικά αντικείμενα όπως για παράδειγμα μέσω μιας αιτίας που σχετίζονται. Επιπλέον, διαφορετικές ιδιότητες μπορούν να εμπλέκονται σε χρονικά αντικείμενα και με βάση τις χρονικές, αιτιολογικές και δομημένες σχέσεις τους έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν για τη ρητή μοντελοποίηση δυναμικών διαδικασιών με φυσικό τρόπο. Επίσης, το υψηλό επίπεδο αφαιρετικότητας σχετικά με τα χρονικά διαστήματα (time-intervals) και τα χρονικά σημεία (time-points) αποτελεί ένα ακόμη χαρακτηριστικό των χρονικών αντικειμένων, κάτι το οποίο εξυπηρετεί στην πιο ακριβή και εννοιολογική μοντελοποίηση της πραγματικότητας. Η χρήση ενός χρονικού άξονα που αποσκοπεί στην έκφραση διαφορετικών τύπων περιστατικών, πιο συγκεκριμένα απλών ή σύνθετων περιστατικών, αποτελεί τη βασική έννοια του χρονικού αντικειμένου. Υπάρχουν τρεις τύποι σχέσεων μεταξύ των χρονικών αντικειμένων. Οι χρονικές σχέσεις που υιοθετήθηκαν και επεκτάθηκαν από το σύνολο που πρότεινε ο Allen [20], οι δομικές σχέσεις, όπου δίνουν τη δυνατότητα για τη σύνθεση και αποσύνθεση των χρονικών αντικειμένων και οι αιτιολογικές σχέσεις. Οι σχέσεις αυτές αποσκοπούν στην έκφραση των απλών και σύνθετων περιστατικών. Όσον αφορά τις δομικές σχέσεις των αντικειμένων, είναι η is-a-component-of με την αντίθετη σχέση contains όπως επίσης και η σχέση variant-component με την αντίθετη σχέση variant-contains. Οι αιτιολογικές σχέσεις καθορίζονται στο επίπεδο των χρονικών αφαιρετικών αντικειμένων, συγκεκριμένων χρονικών αντικειμένων και αφαιρετικών ιδιοτήτων. Οι σχέσεις αυτές είναι οι causes, causality-link και cause-spec [31]. Κάθε χρονικό αντικείμενο και κάθε χρονικός άξονας μπορεί να είναι είτε αφηρημένο/ς είτε συγκεκριμένο/ς. Τα μοντέλα ασθενειών όπως και το ιστορικό του ασθενή είναι παραδείγματα που αποτελούνται από συγκεκριμένα χρονικά αντικείμενα.

Ο χρονικός άξονας και το χρονικό αντικείμενο αποτελούν τα βασικά στοιχεία της έννοιας του χρόνου, τα οποία παρέχουν ένα μοντέλο του χρόνου και αντίστοιχα ένα μοντέλο των περιστατικών. Έτσι, προβλέπεται μια απλή και ομοιόμορφη αναπαράσταση της χρονικής, θεραπευτικής και αιτιολογικής γνώσης. Ο χρονικός άξονας, αποτελεί ένα μηχανισμό για μια πιο αποτελεσματική εννοιολογική οργάνωση χρονικών αντικειμένων, όπου αντιπροσωπεύει μια περίοδο έγκυρου χρόνου και εκφράζεται ως μια ακολουθία από διακριτές χρονικές τιμές αρχίζοντας από ένα σημείο αναφοράς. Κάποιοι από τους τύπους των χρονικών αξόνων είναι, ο ατομικός άξονας

όπου χρησιμοποιεί μια μονάδα του χρόνου και ο spanning άξονας όπου καλύπτει μια αλυσίδα από άλλους χρονικούς άξονες και χρησιμοποιεί υβριδική μονάδα χρόνου. Η εμβρυική περίοδος αποτελεί ένα παράδειγμα ατομικού άξονα και ο συνδυασμός νηπιακής ηλικίας, της παιδικής ηλικίας, της εφηβείας και της ωριμότητας αποτελεί παράδειγμα ενός spanning άξονα. Κάθε εφαρμογή, έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί είτε ένα μοναδικό άξονα και μια μονάδα χρόνου είτε μια συλλογή από χρονικούς άξονες και πολλαπλές μονάδες χρόνου.

Επομένως, συμπεραίνουμε ότι αφού ο χρόνος σχετίζεται άμεσα με τα διαγνωστικά προβλήματα, έτσι και ο χρονικός συλλογισμός αποτελεί βασικό κομμάτι για το σχηματισμό και την αξιολόγηση των σημαντικών διαγνωστικών λύσεων. Ο χρόνος, πρέπει να αποτελεί σημαντική πτυχή της γνώσης και του συλλογισμού κάθε διαγνωστικού συστήματος. Για εφαρμογές στις οποίες ο χρόνος είναι πολύ σημαντικός είναι απαραίτητη η αναπαράστασή του με ολοκληρωμένο τρόπο. Έτσι, η χρήση χρονικών αντικειμένων στην αναπαράσταση αυτή είναι χρήσιμη για τη συμπερίληψη του χρόνου. Επιπρόσθετα, με τη μοντελοποίηση του χρόνου γίνεται πιο ακριβής σχηματισμός των σημαντικών λύσεων όπως επίσης και πιο ακριβής αξιολόγησή τους. Το γεγονός ότι σε ένα απαγωγικό συλλογισμό βασική ιδέα είναι η παραγωγή μιας λύσης η οποία επεξηγεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις παρατηρήσεις, φανερώνει πόσο σημαντικά θεωρούνται τα κριτήρια αξιολόγησης. Επομένως, τα κριτήρια αυτά, είναι καλό να αναπαριστώνται ξεχωριστά και ρητά για να μπορούν να συνδυάζονται σε διαφορετικά πλαίσια συλλογισμού.

2.7 Υπόθεση Μοναδικού Σφάλματος (Single point of failure assumption)

Όπως γνωρίζουμε μέχρι τώρα, ένα διαγνωστικό μοντέλο βασιζόμενο στη συνέπεια αναφέρεται στο ότι κάθε λειτουργία έχει την αναμενόμενη συμπεριφορά. Για την κατασκευή ενός διαγνωστικού συστήματος σύμφωνα με την αρχή της συνέπειας μπορεί κανείς να βρει άμεσα τις λειτουργίες και τη συμπεριφορά τους μέσω του σχεδιασμού του συστήματος αλλά, όχι τη γνώση για τα σφάλματα και τις παρατηρήσεις τους αφού χρειάζεται την ανάλογη εμπειρία με το σύστημα. Ένα απαγωγικό σύστημα διάγνωσης, υποστηρίζει την υπόθεση του μοναδικού σφάλματος, δηλαδή τη γνώση για την ύπαρξη

σφάλματος σε μόνο ένα συστατικό στοιχείο του συστήματος και τις επιπτώσεις της συμπεριφοράς του.

Με την έννοια ότι μια διαγνωστική εφαρμογή λειτουργεί κάτω από την υπόθεση του μοναδικού σφάλματος, εννοείται ότι σε οποιαδήποτε διάγνωση γίνει εντοπίζεται το πολύ ένα σφάλμα για την παρατηρούμενη συμπεριφορά [30]. Επομένως, μια είναι η αιτία για τις δυσλειτουργίες που παρατηρούνται. Κάθε διαγνωστικό σύστημα που κάνει διάγνωση των μοναδικών στοιχείων σφαλμάτων, βρίσκει ένα σύνολο από αυτά τα μοναδικά στοιχεία ύποπτων σφαλμάτων και στη συνέχεια προσπαθεί να τα περιορίσει. Ενημερώνει το χρήστη για κάθε στοιχείο ύποπτου σφάλματος που δεν μπορεί να εξαλείψει.

2.8 Υπόθεση Πολλαπλών Σφαλμάτων (Multiple points of failure assumption)

Η υπόθεση των πολλαπλών σφαλμάτων είναι υπολογιστικά περίπλοκη διαδικασία και συνήθως παρατηρείται στις περιπτώσεις της κλινικής διάγνωσης όπου εμφανίζονται πολλαπλές ασθένειες ειδικά στα άτομα της τρίτης ηλικίας. Επομένως, κάθε κλινικό διαγνωστικό σύστημα πρέπει να είναι σε θέση να μπορεί να αντιμετωπίσει τις περιπτώσεις πολλαπλών ασθενειών. Πιο συγκεκριμένα, εάν σε μια διαγνωστική λύση περιλαμβάνονται περισσότερα από ένα ανεξάρτητα αιτιολογικά προκείμενα τότε το διαγνωστικό σύστημα αυτό θεωρείται ότι ενεργεί κάτω από την υπόθεση πολλαπλών σφαλμάτων. Έτσι, οι δυσλειτουργίες που παρατηρούνται μπορούν να χωριστούν μεταξύ ξεχωριστών και ανεξάρτητων αιτιών [30].

2.9 Σύνθετες Υποθέσεις

Σε κάθε κλινική διαγνωστική υπόθεση δεν καθορίζονται πάντα όλες οι δυσλειτουργίες αλλά ούτε και προσδιορίζονται πλήρως οι εξηγήσεις τους σύμφωνα με το ιστορικό του ασθενή. Στην απαγωγική διαγνωστική συλλογιστική περιλαμβάνονται η δημιουργία και αξιολόγηση διαγνωστικών υποθέσεων οι οποίες αποτελούν δυο ξεχωριστά αλλά στενά συνδεδεμένα βήματα. Κάθε συλλογισμός εκτελείται υπό την προϋπόθεση των μεμονωμένων ή πολλαπλών σφαλμάτων, προκαλώντας έτσι, απλές ή σύνθετες υποθέσεις αντίστοιχα. Μια σύνθετη υπόθεση εμφανίζεται στην περίπτωση όπου για

κάποιο συγκεκριμένο ασθενή παρατηρείται ένα σύνολο δυσλειτουργικών καταστάσεων όπου αποτελούν τη γενική κλινική εικόνα και καθορίζονται οι πιθανές αιτίες και οι μηχανισμοί που επιφέρουν τις κλινικές εκδηλώσεις.

Κεφάλαιο 3

Η έννοια του Χρόνου στην Ιατρική και στην Επίλυση Διαγνωστικών Προβλημάτων

3.1 Χρονικά συστήματα πληροφόρησης στην Ιατρική	17
3.2 Μοντελοποίηση χρονικών εννοιών	18
3.3 Η έννοια του χρόνου στην επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων	20
3.4 Η έννοια της γνώσης στην επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων	22
3.5 Χρονικός Συλλογισμός (Temporal Reasoning)	24
3.6 Χρονική Απαγωγική Διάγνωση (Temporal Abductive Diagnosis)	27
3.7 Χρονική αφαιρετικότητα δεδομένων (Temporal Data Abstraction)	29
3.8 Χρονική Αβεβαιότητα (Temporal Uncertainty)	33
3.9 Πολλαπλές Μονάδες Χρόνου (Multiple Granularities)	35
3.10 Χρονική Συνέπεια (Temporal Consistency)	37
3.11 Χρονικοί Περιορισμοί (Temporal Constraints)	38

3.1 Χρονικά συστήματα πληροφόρησης στην Ιατρική

Ο ρόλος του χρόνου στα ιατρικά συστήματα είναι πολύ σημαντικός, αφού είναι μια διαδοσμένη έννοια του πραγματικού κόσμου. Κατά την αναπαράσταση πληροφοριών σε συστήματα που βασίζονται στους υπολογιστές, ο χρόνος πρέπει να ληφθεί υπόψη

κατά την αναζήτηση πληροφοριών σχετικά με τα χρονικά χαρακτηριστικά του πραγματικού κόσμου που εκπροσωπούνται, καθώς και κατά τη συλλογιστική για τα δεδομένα με βάση το χρόνο. Στο πεδίο των χρονικών συστημάτων στην ιατρική, έχουν διαμορφωθεί χρονικά μοντέλα δεδομένων, χρονική συντήρηση καθώς και χρονική συλλογιστική, για την υποστήριξη ηλεκτρονικών ιατρικών αρχείων και συστημάτων υποστήριξης ιατρικών αποφάσεων.

Τα χρονικά συστήματα πληροφόρησης στην Ιατρική είναι συστήματα πληροφοριών τα οποία έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν, να διαχειρίζονται, να υποβάλλουν ερωτήματα και να υποστηρίζουν διαφορετικές εργασίες συμπερασμάτων σε κλινικά δεδομένα με βάση το χρόνο. Τα συστήματα αυτά έχουν διάφορες προοπτικές. Μια προοπτική, αφορά το είδος των τεχνικών εργασιών που πρέπει να αντιμετωπίσουν χρονικές πτυχές των κλινικών δεδομένων. Τέτοιου είδους εφαρμογές είναι η πρόβλεψη μελλοντικών τιμών κλινικών δεδομένων, με βάση προηγούμενων τάσεων, η διαχείριση των δεδομένων με βάση το χρόνο που είναι αποθηκευμένα σε ιατρικά αρχεία, η υποστήριξη αποφάσεων βασισμένη στο χρόνο, όπως συστήματα που υποστηρίζουν τη διάγνωση, την παρακολούθηση ή τον σχεδιασμό θεραπείας κλπ. Εξίσου σημαντική είναι η προοπτική που αφορά τα ιατρικά καθήκοντα, η οποία υποστηρίζεται από συστήματα όπως της διάγνωσης, της χορήγησης και παρακολούθησης θεραπείας, της θεραπείας με πρωτόκολλο και κατευθυντήρια γραμμή καθώς και της διαχείρισης ασθενών. Τέλος, έχουμε την προοπτική που αφορά τους κλινικούς τομείς για τους οποίους έχουν σχεδιαστεί εφαρμογές βασιζόμενες στο χρόνο, όπως είναι η καρδιολογία, η ογκολογία, η ψυχιατρική κλπ.

3.2 Μοντελοποίηση χρονικών εννοιών

Στις ιατρικές εφαρμογές, οι απαιτήσεις αναπαράστασης του χρόνου είναι πολλές και ποικίλες, αφού ο χρόνος εκδηλώνεται με διαφορετικούς τρόπους σε εκφράσεις ιατρικών γνώσεων και πληροφοριών για τον ασθενή. Σύμφωνα με το βιβλίο των Combi, Keravnou και Shahar ‘Temporal Information Systems in Medicine’ [8], τα δυο ζητήματα που υπάρχουν είναι, το πώς θα μοντελοποιηθεί ο χρόνος και πώς οι καταστάσεις ή περιστατικά που ποικίλλουν χρονικά. Πιο συγκεκριμένα, πρέπει να

εξεταστεί τόσο ο τρόπος μοντελοποίησης της έννοιας του χρόνου όσο και ο τρόπος μοντελοποίησης οντοτήτων που έχουν μια χρονική διάσταση.

Η μοντελοποίηση του χρόνου με σκοπό τη διαχείριση των χρονικά προσανατολισμένων κλινικών δεδομένων ή την αιτιολογία για τα δεδομένα αυτά, απαιτεί πολλές βασικές επιλογές, ανάλογα με τις ανάγκες που υπάρχουν στον κάθε τομέα.

Για την αναπαράσταση του χρόνου, χρησιμοποιούνται συνήθως δυο έννοιες, η έννοια του χρονικού σημείου και η έννοια του χρονικού διαστήματος. Οι έννοιες αυτές σχετίζονται κυρίως με στιγμιαία συμβάντα (π.χ. έμφραγμα του μυοκαρδίου) ή με καταστάσεις που διαρκούν για ένα χρονικό διάστημα (π.χ. φαρμακευτική αγωγή). Με τον τρόπο συσχέτισης αυτών των εννοιών και των κλινικών οντοτήτων όπως τα συμπτώματα, τις θεραπείες και τις παθολογίες πρέπει να υπάρξει ιδιαίτερη προσοχή. Ένα έμφραγμα μυοκαρδίου για παράδειγμα, μπορεί να θεωρηθεί ως ένα στιγμιαίο συμβάν σε σχέση με το συνολικό ιστορικό του ασθενούς, ή μια έννοια βασισμένη σε διαστήματα, αν παρατηρείται κατά τη διάρκεια που ο ασθενής βρίσκεται στην εντατική μονάδα παρακολούθησης. Για τον καθορισμό των βασικών χρονικών οντοτήτων, συνήθως υιοθετούνται τα χρονικά σημεία (π.χ. στιγμιότυπα). Η παρουσίαση των διαστημάτων γίνεται στα υψηλότερα και χαμηλότερα όρια τους (αρχικά και τελικά χρονικά σημεία). Στις περισσότερες εφαρμογές της ιατρικής-πληροφορικής χρησιμοποιούν συνήθως, μια προσέγγιση βάσει του χρονικού σημείου, παρόμοια με τα σημεία του McDermott [40], αντί να χρησιμοποιούν χρονικά διαστήματα όπως προτάθηκαν από τον Allen [2]. Επομένως, διαπιστώνουμε ότι δύο είναι οι κύριες μέθοδοι που σχετίζουν το χρόνο με τις χρονικές οντότητες. Η μια μέθοδος, έχει να κάνει με μια οντότητα που σχετίζεται με στιγμιότυπα καθώς και με οντότητες που σχετίζονται με χρονικά διαστήματα [36], ενώ η άλλη μέθοδος συσχετίζει τις κλινικές οντότητες μόνο με μια συγκεκριμένου τύπου χρονική έννοια, συνήθως το χρονικό διάστημα και μπορεί επιπλέον να ανταπεξέλθει με ομοιογενή τρόπο με χρονικά διαστήματα που έχουν την τάση να μετατρέπονται σε χρονικά μοναδικά διαστήματα.

Με ένα άξονα χρόνου, ο οποίος αποτελείται από στιγμιότυπα, μπορούν να συσχετιστούν διαφορετικές ιδιότητες. Συνήθως, στις βάσεις δεδομένων που στηρίζονται σε κλινικά δεδομένα, ο χρόνος είναι γραμμικός. Το σύνολο των χρονικών σημείων είναι

εντελώς διατεταγμένο [9]. Παρόλα αυτά, για τη διαδικασία της διάγνωσης, της προβολής ή της πρόβλεψης (όπως την πρόβλεψη μιας κλινικής εξέλιξης με την πάροδο του χρόνου), είναι χρήσιμος ένας διακλαδωμένος χρόνος έτσι ώστε, να επιτρέπεται η αναπαράσταση πολλαπλών εναλλακτικών εξελίξεων τόσο στο παρελθόν, όσο και στο μέλλον. Για την περιγραφή επαναλαμβανόμενων περιστατικών χρειάζεται ο κυκλικός χρόνος, όπου ένα παράδειγμα είναι ο «έλεγχος ινσουλίνης κάθε πρωί».

Η θέση ενός διαστήματος ή μιας στιγμής στον άξονα του χρόνου μπορεί να δοθεί ως απόλυτη θέση, όπως ο ημερολογιακός χρόνος σε ένα άξονα χρόνου (π.χ. « στις 26 Σεπτεμβρίου 1998»). Αυτή, αποτελεί μια κοινή προσέγγιση η οποία υιοθετείται από μοντέλα δεδομένων που είναι βασισμένα σε χρονικές βάσεις δεδομένων. Ωστόσο, στον τομέα της Ιατρικής είναι επίσης κοινός ο συλλογισμός με σχετικές χρονικές αναφορές όπως για παράδειγμα «την επόμενη μέρα». Η ενσωμάτωση καθαρά χρονικά σχετικών, βασισμένων σε διαστήματα πληροφοριών, ειδικά διαζεύξεων μέσα σε ένα πρότυπο μιας χρονικής βάσης δεδομένων, αποτελεί ακόμη ένα δύσκολο έργο όπου θα αναλυθεί σε μεγαλύτερο βάθος στην συνέχεια. Σχετικές με το θέμα των σχετικών χρόνων (relative times) είναι πολλές προτάσεις οι οποίες υιοθετούν έμμεσα ή άμεσα χρονικά πλαίσια, τα οποία υποστηρίζουν την αναπαράσταση σχετικών ή ευαίσθητων στα πλαίσια χρονικών κλινικών πληροφοριών ή τη γνώση.

Στην Ιατρική-Πληροφορική για τη μοντελοποίηση των χρονικών σχέσεων, έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως η άλγεβρα του Allen [21]. Επίσης, έχουν προταθεί οι επεκτάσεις των δεκατριών βασικότερων σχέσεων διαστημάτων του Allen [9]. Οι χρονικές σχέσεις περιλαμβάνουν δύο κύριους τύπους οι οποίοι είναι, ο ποιοτικός (συνάχι πριν από τον πονοκέφαλο) και ο ποσοτικός (συνάχι δυο ώρες πριν τον πονοκέφαλο). Είναι πολλοί οι γενικοί φορμαλισμοί και προσεγγίσεις που έχουν υιοθετηθεί αποτελεσματικά, για την ικανοποίηση των διαφόρων αναγκών που παρουσιάζονται κατά τη μοντελοποίηση των χρονικών σχέσεων σε κλινικά δεδομένα.

3.3 Η έννοια του χρόνου στην επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων

Η σημασία του χρόνου είναι πολύ σημαντική στον πραγματικό κόσμο για αυτό και είναι απαραίτητο, κάθε φορά, να τη διαχειριζόμαστε με πολλούς και διαφορετικούς

τρόπους. Για παράδειγμα, διάφορα περιστατικά παρατηρούνται σε μερικά χρονικά σημεία, κάποια γεγονότα εμφανίζονται για μια χρονική περίοδο και μεταξύ των περιστατικών αυτών και των γεγονότων υπάρχουν χρονικές σχέσεις [43]. Ο χρόνος είναι σημαντικό να αναλογίζεται στις περιπτώσεις όπου αναπαριστώνται πληροφορίες σε υπολογιστικά συστήματα [7], όταν συζητούνται χρονικά χαρακτηριστικά του αναπαριστάμενου πραγματικού κόσμου [53] και στην περίπτωση όπου γίνεται συλλογισμός για δεδομένα που σχετίζονται με το χρόνο [42]. Για την επίλυση ενός διαγνωστικού προβλήματος χρειάζεται μια σύνθετη διαδικασία συλλογισμού, ειδικότερα στις περιπτώσεις των κλινικά διαγνωστικών προβλημάτων. Σε κάθε κλινική διάγνωση, ο χρόνος αποτελεί ένα πολύ κρίσιμο στοιχείο για αυτό και ο ρόλος του πρέπει να είναι κεντρικός όσον αφορά τη διαδικασία συλλογισμού, για το σχεδιασμό διαγνωστικών υποθέσεων και την αξιολόγηση τους. Πρέπει να τονιστεί ότι, υποθέσεις οι οποίες είναι χρονικά αστήρικτες δεν πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη. Πολλές είναι οι προκλήσεις που παρουσιάζονται στη διαδικασία επίλυσης διαγνωστικών προβλημάτων και ειδικότερα στα κλινικά διαγνωστικά προβλήματα, λόγω της πολυπλοκότητας της ιατρικής γνώσης και των δεδομένων που αφορούν τους ασθενείς. Μια από αυτές είναι η μοντελοποίηση του χρόνου, η οποία επιτρέπει το σχηματισμό ακριβέστερων πιθανών λύσεων όπως για παράδειγμα, η εμφάνιση μιας ανωμαλίας, μπορεί να μην είναι διαγνωστικά σημαντική, αλλά το συγκεκριμένο πρότυπο παρουσίασης (specific pattern) της να είναι. Επιπρόσθετα, βοηθά στην πιο ακριβή αξιολόγηση των εξεταζόμενων λύσεων, όπως για παράδειγμα, η εικόνα μιας ασθένειας/δυσλειτουργίας δεν είναι η αναμενόμενη, αλλά κάθε φορά είναι διαφορετική αφού εξαρτάται από το στάδιο της εξέλιξης στο οποίο βρίσκεται. Οι έννοιες οι οποίες σχετίζονται χρονικά μεταξύ τους, αποτελούν σημαντικό στοιχείο στη διαδικασία των κλινικών διαγνώσεων. Ο γιατρός είναι σημαντικό, να γνωρίζει τη χρονική σειρά με την οποία εμφανίζονται τα συμπτώματα και πόση είναι η διάρκειά τους. Ακόμη, η διαδικασία επίλυσης ενός διαγνωστικού προβλήματος δεν αποτελεί μια στιγμιαία δραστηριότητα, αλλά μια δραστηριότητα η οποία εξελίσσεται στη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου. Αυτό, συμβαίνει λόγω του ότι οι πληροφορίες που χρειάζονται για τη διαδικασία μιας διάγνωσης μπορεί να μην είναι άμεσα διαθέσιμες, αλλά να χρειάζεται να παραχθούν μέσω της εκτέλεσης χρονοβόρων διαδικασιών ή απλά βλέποντας την εξέλιξη της κατάστασης ενός ασθενή, πριν τα τελικά συμπεράσματα. Οι αποτελεσματικές θεραπείες βασίζονται στα ακριβή συμπεράσματα, για αυτό και είναι

καλό να διατυπώνονται όσο το δυνατό γρηγορότερα έτσι ώστε να υπάρχει αρκετός χρόνος για την εφαρμογή μιας πιθανής θεραπείας. Μια εύλογη λύση σε ένα διαγνωστικό πρόβλημα εξηγά τη δυσλειτουργία που παρουσιάζεται σε κάποιο σύστημα δεδομένου ότι ικανοποιεί κάποια ελάχιστα κριτήρια που σχετίζονται με την εφαρμογή. Πολλές φορές, θα υπάρχουν πολλαπλές εύλογες λύσεις, για αυτό και θα πρέπει να εφαρμόζονται επιπλέον κριτήρια για την επιλογή της καλύτερης επεξήγησης. Επομένως, μια διαγνωστική λύση σε ένα πρόβλημα πρέπει να παρέχει μια εύλογη επεξήγηση της δυσλειτουργίας και να είναι η καλύτερη ανάμεσα στο σύνολο των ευλόγων λύσεων.

3.4 Η έννοια της γνώσης στην επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων

Η γνώση παίζει καθοριστικό ρόλο για την επίλυση προβλημάτων αφού αποτελεί το θεμέλιο λίθο της τεχνολογίας των έμπειρων συστημάτων σύμφωνα με διάφορους ερευνητές. Βασική ιδέα είναι, η αυτοματοποίηση της εξειδικευμένης γνώσης, δηλαδή η αναπαράσταση της με τυπικό, συμβολικό τρόπο. Η γνώση κάθε ανθρώπου βελτιώνεται συνεχώς μέσω ενημέρωσης και εμπειρίας, δεν μένει στατική. Η ικανότητα αυτή 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 και εστιάζεται κυρίως στην αυτοματοποίηση συλλογισμού. Κάποια ιδιαίτερα ενδιαφέρον θέματα είναι για παράδειγμα, η ανάπτυξη διάφορων λογισμών για την αναπαράσταση της γνώσης και του συλλογισμού, όπως είναι ο περιγραφικός λογισμός, ο μη αθροιστικός λογισμός, ο λογισμός με πιθανότητες, ο χρονικός λογισμός κλπ. Η TN νοημοσύνη βασίζεται στην γνώση, για αυτό και οι τεχνικές της είναι μέθοδοι που αξιοποιούν τη γνώση. Έτσι, η αναπαράσταση της γνώσης (knowledge representation) είναι σημαντική για την TN σε σχέση με τα είδη γνώσης που απαρτίζουν κάποια εμπειρογνωμοσύνη. Για την αναπαράσταση της γνώσης λοιπόν, υπάρχουν τέσσερις βασικοί τρόποι, η κατηγορηματική λογική, τα δίκτυα συσχέτισης, τα πλαίσια και οι κανόνες παραγωγής. Με τη σύγκριση των δεδομένων, της πληροφορίας και της γνώσης προκύπτει ότι, 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.

Η αναπαράσταση της γνώσης χρησιμοποιείται έτσι ώστε να μπορεί να διεξαχθεί συλλογισμός με αυτή τη γνώση με στόχο την επίλυση σχετικών προβλημάτων. Η ικανότητα επομένως, αποδοτικού και αποτελεσματικού συλλογισμού κρίνεται εξίσου σημαντική, εάν όχι πιο σημαντική από την ικανότητα να εκφράσουμε την εν λόγω γνώση. Η αναπαράσταση πρέπει να είναι σαφής και κατανοητή από τους ανθρώπους και να δίνει τη δυνατότητα επιθεώρησης της γνώσης ακόμη και αν δεν είναι γνωστό πώς αυτή θα χρησιμοποιηθεί. Ένας φορμαλισμός αναπαράστασης της γνώσης, αποτελεί μια σύζευξη ενός συμβολικού τρόπου έκφρασης της γνώσης και ενός συνόλου μηχανισμών συλλογισμού, όπου για την υλοποίηση του χρειάζεται να δοθεί τυπική σύνταξη και σημασιολογία στο συμβολικό τρόπο. Τα κριτήρια αξιολόγησης για την αναπαράσταση μιας γνώσης αφορούν τις πρακτικές και θεωρητικές ιδιότητες της αναπαράστασης. Σε μια αναπαράσταση της γνώσης οι πρακτικές ιδιότητες είναι η λογική επάρκεια (καλύπτονται όλοι οι σημασιολογικοί διαχωρισμοί σε μια αναπαράσταση), η διευκόλυνση συμβολισμού ή αποδοτικότητα απόκτησης που αφορούν τη 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 έχει να κάνει με τη χρήση της βάσης γνώσης για την επίλυση προβλημάτων (πόσο αποδοτικοί είναι οι μηχανισμοί συλλογισμού της αναπαράστασης). Τώρα, οι θεωρητικές ιδιότητες μιας αναπαράστασης γνώσης σχετίζονται με το δυναμικό μέρος, δηλαδή, το μηχανισμό συλλογισμού ή τους κανόνες εξαγωγής συμπερασμάτων. Αυτές οι ιδιότητες, καθορίζουν το πόσο έγκυρος είναι ένας μηχανισμός συλλογισμού. Πιο συγκεκριμένα, ο μηχανισμός συλλογισμού αυτός, δεν μπορεί να δώσει αναληθή συμπεράσματα από μια αληθή βάση γνώσης, έχει πληρότητα όταν μπορεί να εξαχθεί κάθε έγκυρο αποτέλεσμα και έχει αποφασιστικότητα όταν οποιοδήποτε ερώτημα επαλήθευσης μπορεί να απαντάται θετικά ή αρνητικά. Μια αναπαράσταση γνώσης μπορεί να θεωρηθεί περιγραφική ή διαδικαστική. Μια περιγραφική αναπαράσταση περιγράφει τη γνώση για τον «κόσμο» και δεν είναι ιδιαίτερα χρήσιμη η γνώση αυτή. Από την άλλη, μια διαδικαστική αναπαράσταση διατυπώνει τις διαδικασίες για το πώς χρησιμοποιείται η γνώση και όχι για το ποια είναι

η γνώση. Παρόλα αυτά, η περιγραφική αναπαράσταση είναι επικρατέστερη από την διαδικαστική καθώς έχει περισσότερα πλεονεκτήματα.

3.5 Χρονικός Συλλογισμός (Temporal Reasoning)

Ο χρονικός συλλογισμός αποτελεί θεμελιώδη στόχο στη ζωή μας αφού είναι απαραίτητος για τη λήψη αποφάσεων για πιθανές ενέργειες. Η έννοια της ανάληψης δράσης είναι δύσκολο να καθοριστεί, πόσο μάλλον μια σειρά ενεργειών και μιας σειράς των συνεπειών της λήψης μια σειράς ενεργειών, χωρίς να εισάγεται ρητά ή έμμεσα η έννοια του χρόνου. Αυτό είναι απαραίτητο επίσης, και στον τομέα της πληροφορικής στα προγράμματα όπου επιχειρούν να σκεφτούν σχετικά με τον κόσμο. Επιπλέον, η έννοια του χρόνου είναι αναγκαία και στον τομέα της επεξεργασίας της φυσικής γλώσσας αφού χωρίς αυτόν δεν μπορούν να γίνουν κατανοητά κάποια γεγονότα (π.χ. «μέχρι να έρθεις σπίτι εγώ θα έχω ήδη φύγει πριν 3 ώρες»). Ο σχεδιασμός ενεργειών χρειάζεται συλλογισμό σχετικά με τη χρονική σειρά των ενεργειών και για το χρονικό διάστημα που θα χρειαστεί για την εκτέλεση της κάθε ενέργειας. Για τον προσδιορισμό της αιτίας μιας συγκεκριμένης κατάστασης χρειάζεται η εξέταση της χρονικής προτεραιότητας ή τουλάχιστον, της χρονικής ισοδυναμίας. Τα ιατρικά πεδία, δεν αποτελούν εξαίρεση στη θεμελιώδη ανάγκη συλλογισμού του χρόνου αφού χρειάζεται, στις διαγνώσεις, τον έλεγχο, την πρόβλεψη, την προβολή και τον προγραμματισμό. Οι διεργασίες αυτές είναι συνήθως αλληλοεξαρτώμενες. Στην προβολή υπολογίζονται οι επιπτώσεις ενός συνόλου συνθηκών ή ενεργειών, που συχνά δίνονται σαν ένα σύνολο σχέσεων τύπου «αιτία - επίπτωση». Η διαδικασία της προβολής είναι ιδιαίτερα σχετική με τη διαδικασία του προγραμματισμού (π.χ. όταν θα χρειαστεί να αποφασίσουμε πώς θα είναι η κατάσταση του ασθενή μετά από τη χορήγηση ενός συγκεκριμένου φάρμακου του οποίου γνωρίζουμε τις παρενέργειες). Η διαδικασία της πρόβλεψης, περιλαμβάνει την πρόβλεψη συγκεκριμένων μελλοντικών τιμών για διάφορες παραμέτρους, δεδομένου ενός διανύσματος παλαιών και ενεργών υπολογιζόμενων χρονοπροσδιοριζόμενων (time-stamped) τιμών. Ο προγραμματισμός, σχετίζεται με την παραγωγή μιας ακολουθίας ενεργειών για έναν πάροχο περίθαλψης (π.χ. νοσηλεύτη), με βάση την αρχική κατάσταση του ασθενή και μιας κατάστασης στόχου ή ενός συνόλου καταστάσεων, με σκοπό να καταφέρει να επιτευχθεί μια από τις καταστάσεις στόχου του ασθενή. Συνήθως, οι πιθανές ενέργειες είναι λειτουργίες με

προκαθορισμένες ή πιθανολογικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Οι ενέργειες αυτές, μπορεί να απαιτούν ένα σύνολο δυνατοτήτων έτσι ώστε να είναι εφικτές ή αποτελεσματικές. Η επίτευξη της κατάστασης στόχου, όπως και η επίτευξη κάποιων προϋποθέσεων, μπορεί να βασίζεται στη σωστή προβολή των ενεργειών μέχρι ενός σημείου, έτσι ώστε να προσδιοριστεί εάν οι προϋποθέσεις διατηρούνται όταν απαιτείται. Η διαδικασία της ερμηνείας, περιλαμβάνει την αφαιρετικότητα ενός συνόλου χρονικά προσανατολισμένων δεδομένων ενός ασθενή, είτε σε ένα ενδιάμεσο επίπεδο σημαντικών χρονικών προτύπων, όπως συμβαίνει και στη διεργασία της χρονικής-αφααιρετικότητας ή στη διεργασία ελέγχου, ή στο επίπεδο μιας οριστικής διάγνωσης ή ενός συνόλου διαγνώσεων τα οποία εξηγούν ένα σύνολο από γεγονότα και συμπτώματα, ή στη διεργασία μιας διάγνωσης. Στην ερμηνεία, αντίθετα με την πρόβλεψη και την προβολή, εμπλέκεται ο συλλογισμός που αφορά παλαιά και τωρινά δεδομένα και όχι μελλοντικά.

Ένα γενικό κριτήριο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μεθοδολογικής άποψης όταν η έρευνα η οποία ταξινομείται εφαρμόζεται στο χρονικό συλλογισμό σε κλινικά δεδομένα, είναι κατά πόσο χρησιμοποιείται μια αιτιοκρατική ή πιθανολογική μέθοδος [26].

Η πιθανολογική μέθοδος τυπικά συσχετίζεται με τις διεργασίες της ερμηνείας ή της πρόβλεψης των time-stamped κλινικών δεδομένων, όπου οι τιμές τους επηρεάζονται από διαφορετικές πηγές αβεβαιότητας [39]. Η μεθοδολογία Dynamic Network Model (DNMs) αναπτύχθηκε από τον Dagum και τους υπόλοιπους συνεργάτες του [14,15], η οποία αποτελεί μια σύνθεση μοντέλων δικτύου αποφάσεων και κλασικών μοντέλων χρονοσειρών και με την εφαρμογή τους είχαν ενθαρρυντικά αποτελέσματα σε πεδία όπως, στην πρόβλεψη της έκβασης της πορείας κρίσιμα άρρωστων ασθενών εντατικής παρακολούθησης [14] και στη πρόβλεψη επεισοδίων ασφυξίας σε ασθενείς κατά την διάρκεια του ύπνου τους [15]. Τα αιτιολογικά πιθανολογικά δίκτυα (Causal Probabilistic Networks – CPNs) αποτελούν ένα γραφικό φορμαλισμό, ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως σε πιθανολογικά συστήματα τα οποία εφαρμόζονται σε κλινικά προβλήματα [39]. Λαμβάνοντας υπόψη το χρόνο για κλινικά προβλήματα, έγιναν πολλές έρευνες για το ενδεχόμενο επέκτασης των CPN και άλλων φορμαλισμών [38]. Για την ανάλυση της χρονικής αφαιρετικότητας, ο Aliferis [1] και άλλοι ερευνητές,

χρησιμοποίησαν ένα πλαίσιο το οποίο όρισαν προηγουμένως με το όνομα Modifiable Temporal Belief Networks (MTBNs), ενώ ο Ngo και κάποιοι άλλοι συστήνουν μια γλώσσα για την αναπαράσταση χρονικής πιθανολογικής γνώσης εξαρτώμενης από τα συμφραζόμενα, η οποία στηρίζεται σε ένα πρότυπο φορμαλισμού για την αναπαράσταση δικτύων πεποιθήσεων.

Το έμπειρο σύστημα Skeletal Dysplasia's Diagnosis (SDD) αποτελεί παράδειγμα διαγνωστικού συστήματος υποστήριξης, του οποίου το χρονικά συλλογιστικό πλαίσιο περιγράφεται από την Κεραυνού και τον Washbrook [28]. Συγκεκριμένα, έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να παρέχει υποστήριξη στη διαδικασία διάγνωσης σκελετικής δυσπλασίας και συνδρόμων. Στο σύστημα SDD, το χρονικό συλλογιστικό στοιχείο έχει μια επίπεδη αρχιτεκτονική και είναι σε θέση να εξετάζει ευρήματα και χαρακτηριστικά γνωρίσματα με σκοπό να παρέχει στο χρήστη υψηλότερου επιπέδου αναπαραστάσεις ευρημάτων και προσδοκιών εύρεσης δυσπλασίας για κάποιο συγκεκριμένο ασθενή. Παρόλο, που το χρονικό πλαίσιο του SDD συστήματος έχει κάπως πρακτικό προσανατολισμό, είναι απαραίτητο να επικεντρωθεί [28] και στην επιρροή της θεωρίας που εμπλέκει τον υπολογισμό ενός γεγονότος (event calculus theory) [35].

Για την επέκταση και γενίκευση διάφορων αποτελεσμάτων και ιδιοτήτων στα συστήματα χρονικού συλλογισμού χρησιμοποιούνται δυο μέθοδοι όσον αφορά τον ιατρικό τομέα. Η μια από αυτές τις μεθόδους σχετίζεται με το γεγονός ότι πολλοί ερευνητές προσπαθούν να καθορίσουν ένα γενικό πλαίσιο, λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορετικές ανάγκες που προκύπτουν από διαφορετικές κλινικές εφαρμογές [51,27,50,24]. Αντίθετα, στη δεύτερη μέθοδο κάποιοι άλλοι ερευνητές προσπαθούν να εφαρμόσουν γενικές θεωρίες από το πεδίο του χρονικού συλλογισμού που σχετίζεται με τον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης, όπως για παράδειγμα το συλλογισμό ενός γεγονότος, το συλλογισμό που βασίζεται σε περιπτώσεις, τα χρονικά περιορισμένα δίκτυα και τα δίκτυα πεποιθήσεων με σκοπό να επιλύσουν κλινικά προβλήματα [34,10,8].

Για το χρονικό συλλογισμό, το πώς μοντελοποιείται ο χρόνος καθώς και το πώς μοντελοποιούνται τα περιστατικά (occurrences) αποτελούν αλληλένδετα θέματα. Με τον όρο 'περιστατικό' καλύπτονται οι έννοιες των γεγονότων, συμβάντων, ενεργειών

κλπ. Παρόλο που η μοντελοποίηση των δυο πιο πάνω εννοιών είναι αρκετά δύσκολη, κρίνεται σημαντική η εύρεση διαφοροποίησης τους. Για αυτό και πρέπει ο χρόνος να αντιμετωπιστεί ως αναπόσπαστο κομμάτι ενός περιστατικού. Πιο συγκεκριμένα, αν για παράδειγμα οι χρονικοί περιορισμοί που σχετίζονται με την εσωτερική δομή των σύνθετων περιστατικών μπορούν να επεξηγηθούν μόνο αν αυτά τα περιστατικά περιλαμβάνουν το χρόνο ως σημαντικό στοιχείο. Στην περίπτωση όπου τα περιστατικά (είτε αφαιρετικά, είτε πραγματικά) είναι σημαντικό να είναι δυναμικές οντότητες, τότε είναι απαραίτητο να ενσωματώνουν το χρόνο.

Επομένως, το συμπέρασμα που μπορούμε να βγάλουμε είναι ότι ο χρόνος αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό κομμάτι για την επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων. Η βασική ιδέα είναι, όταν ο χρόνος είναι διαγνωστικά σημαντικός, πρέπει να μοντελοποιείται ρητά έτσι ώστε η διατύπωση και αξιολόγηση των διαγνωστικών λύσεων να είναι πιο ακριβής. Μια εφαρμογή θεραπείας, θεωρείται αποτελεσματική όταν τα διάφορα στάδια της θεραπείας εφαρμόζονται με ακριβή σειρά και συχνότητα σε κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Στο χρονικό συλλογισμό, υποστηρίζεται ότι τα τρία σημαντικά στάδια για τη θεραπεία ενός ασθενούς που χρειάζονται υποστήριξη απόφασης είναι η διάγνωση, η πρόγνωση και ο χρονοπρογραμματισμός της θεραπείας. Ο σχηματισμός λύσεων και η αξιολόγηση τους είναι αλληλένδετα θέματα σε ένα διαγνωστικό συλλογισμό και αυτό είναι κάτι το οποίο αποτελεί την ουσία του απαγωγικού συλλογισμού.

3.6 Χρονική Απαγωγική Διάγνωση (Temporal Abductive Diagnosis)

Η χρονική απαγωγική διάγνωση [22] επικεντρώνεται στην ενσωμάτωση του χρόνου σε ένα απαγωγικό διαγνωστικό πλαίσιο. Για να επιτευχθεί αυτό, δηλαδή να ενσωματωθεί ο χρόνος, είναι απαραίτητο ο χρόνος να χειριστεί ως αναπόσπαστη πτυχή των οντοτήτων που αποτελούν τα επεξεργασμένα στοιχεία των συστημάτων. Στις περισσότερες προσεγγίσεις στη χρονική απαγωγική διάγνωση, δίνεται 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 αποτελεί αναγκαία πτυχή αναπαράστασης και μπορεί να εκφραστεί είτε με απόλυτο τρόπο (διαζεύξεις χρονικών σχέσεων, διάρκειες ή χρονικοί βαθμοί) είτε με σχετικό τρόπο (διαζεύξεις χρονικών σχέσεων μεταξύ δυο διαστημάτων). Σε όλες τις πιο πάνω εφαρμογές, τα περιστατικά αντιμετωπίζονται ως στατικές οντότητες και όχι ως δυναμικές, τα οποία ενσωματώνουν το χρόνο ως μια αναπόσπαστη πτυχή και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

Σε μια άλλη προσέγγιση της χρονικής απαγωγικής διάγνωσης, υποστηρίζεται ότι η ουσιαστική χρήση του χρόνου επιτυγχάνεται με τη μοντελοποίηση των σφαλμάτων, δυσλειτουργιών και θεραπευτικών ενεργειών ως χρονικά αντικείμενα. Επιπλέον, υποστηρίζονται τα σύνθετα περιστατικά και προτείνεται η μοντελοποίηση των δυσλειτουργιών σχετικά με αιτιολογικά δίκτυα χρονικών αντικειμένων [32]. Σε κάθε απαγωγική διαγνωστική θεωρία, περιλαμβάνονται δυσλειτουργικά μοντέλα για όλες τις γνωστές δυσλειτουργίες που βρίσκονται σε ένα πλαίσιο εφαρμογής. Μια δυσλειτουργία, ανακαλύπτεται μέσω των αισθητών εκδηλώσεων της, δηλαδή, μέσω των σχετικών της σφαλμάτων. Στο βιβλίο ‘Temporal Abductive Diagnosis’ [32], αναφέρεται ότι το γεγονός ότι οι δυσλειτουργίες καθορίζουν τις διαγνώσεις θεωρείται υπόθεση. Σε ένα τυπικό μοντέλο μιας δυσλειτουργίας, υπάρχει μια μη κυκλική (acyclic) αιτιολογική δομή η οποία συμπεριλαμβάνει ένα αριθμό από αιτιολογικά μονοπάτια τα οποία, προέρχονται από ένα κόμβο που αντιπροσωπεύει τη δυσλειτουργία και τερματίζει στους κόμβους που συνήθως αποτελούν τα φανερά σφάλματα. Ως συνήθως, οι ενδιάμεσοι κόμβοι σε τέτοιου είδους μονοπάτια αποτελούν εσωτερικές, μη φανερές, αιτιολογικές καταστάσεις. Η δομή αυτή που περιγράφεται πιο πάνω, αποτελεί μια συλλογή από αφαιρετικά αντικείμενα όπου κάθε κόμβος αντιπροσωπεύει ένα χρονικό αντικείμενο και το κάθε τόξο τη σχετική περίπτωση της σχέσης ‘causes’.

Ένα πλαίσιο βασισμένο στη λογική για την αφηρημένη χρονική διάγνωση (Abstract temporal diagnosis – ATD) αναπτύχθηκε από τους Gamper και Nejdil [22], το οποίο εφαρμόσαν με βασικό στόχο να έχει αποτελέσματα στο πεδίο της ηπατίτιδας Β. Μέσω των χρονικών διαστημάτων από άμεσες παρατηρήσεις στα χρονικά σημεία, δίνεται έμφαση στην αυτόματη παραγωγή αφηρημένων παρατηρήσεων στο πλαίσιο αυτό, κάτι το οποίο αποτελεί σημαντικό στοιχείο. Κάτι εξίσου σημαντικό εκτός από την εφαρμογή

πλαίσιου για έλεγχο ενός ασθενή, είναι και η δήλωση της ουσίας της χρονικής αφαιρετικότητας δεδομένων σε διαγνωστικά πλαίσια. Το χρονικό διάστημα χωρίς διακοπές (convex time-interval) θεωρείται πρωτεύον στοιχείο στη χρονική λογική του Allen [2]. Υπάρχει μια υποθετική χρονική γραμμή, η οποία αποτελεί μια γραμμική και πυκνή δομή που είναι απεριόριστη και στις δυο κατευθύνσεις παρελθόν και μέλλον και περιλαμβάνει πραγματικούς αριθμούς, Άρα, τα διαστήματα έχουν ρητά αρχικά και τελικά σημεία, $[A, T]$. Στην αφηρημένη χρονική διάγνωση (ATD), η αναπαράσταση της διαγνωστικής γνώσης γίνεται ως ένα σύνολο από περιγραφές μιας διεργασίας, μια από τις οποίες αντιστοιχεί σε λειτουργική συμπεριφορά ενώ οι υπόλοιπες αναπαριστούν διαφορετικές δυσλειτουργικές συμπεριφορές. Η ATD αποτελεί ένα απαγωγικό πλαίσιο που είναι βασισμένο στη λογική, με στόχο την παραγωγή επεξηγήσεων και για αυτό πρέπει να καθορίζει το σύνολο των απαγωγικών στοιχείων, αυτών δηλαδή που θεωρούνται αποδεκτά ως επεξηγήσεις. Για μια πληροφορία ενός ασθενή, η επεξήγηση είναι μια σύζευξη από απαγωγικά στοιχεία τα οποία μαζί με την διαγνωστική γνώση, καταλήγουν στις αφαιρετικές παρατηρήσεις που καθορίζουν τη δυσλειτουργία και είναι συνεπείς με όλες τις αφαιρετικές πληροφορίες [33].

3.7 Χρονική Αφαιρετικότητα Δεδομένων (Temporal Data Abstraction)

Ο χρόνος αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο για την επίλυση ενός ιατρικού προβλήματος για αυτό και είναι τόσο σημαντικός. Έτσι, η σχέση που έχει με την ιατρική γνώση αλλά και τον ασθενή είναι άμεση. Παραδείγματος χάρη, ο χρόνος πρέπει να καθορίζεται ρητά και να αποτελεί μέρος του συλλογισμού σε περιπτώσεις όπως είναι οι διεργασίες μιας αρρώστιας, οι ιατρικοί φάκελοι οι οποίοι περιέχουν το ιστορικό των ασθενών και οι θεραπευτικές ενέργειες. Το ιστορικό ενός ασθενή μπορεί να αποτελέσει μια βάση δεδομένων με πληροφορίες που αφορούν το παρελθόν, το παρόν ακόμα και προβλέψεις για το μέλλον της υγείας του ασθενή. Η περίπτωση όπου τα δεδομένα ενός ασθενή θεωρούνται ως χρονικά αντικείμενα αποτελεί μια πιο ρεαλιστική αναπαράσταση, όπου κάθε χρονικό αντικείμενο αντιπροσωπεύει μια συσχέτιση μεταξύ ενός αντικειμένου πληροφορίας και του χρόνου. Για τον πιο ακριβή σχηματισμό πιθανών λύσεων και πιο ακριβή αξιολόγηση τους, είναι απαραίτητη η μοντελοποίηση του χρόνου. Ο χρόνος στην περίπτωση που καθοριστεί ρητά και σε μια έμφυτη διάσταση των δεδομένων ενός

ασθενή και της ιατρικής γνώσης, τότε αποτελεί βασικό κομμάτι στην αφαιρετικότητα δεδομένων, για αυτό και το όνομα της χρονικής αφαιρετικότητας δεδομένων.

Χρονικές αφαιρετικότητες ονομάζονται οι αφαιρετικότητες για τις οποίες ο χρόνος έχει κεντρικό ρόλο. Η πολυπλοκότητα στην παραγωγή χρονικών αφαιρετικοτήτων αυξάνεται λόγω του χρόνου και αποτελεί μια συλλογή χρονοπροσδιοριζόμενων (time-stamped) δεδομένων η οποία αφορά ένα αφαιρετικό χρονικό στοιχείο. Η χρονική αφαιρετικότητα χαρακτηρίζεται ως ‘εννοιολογική και χρονική αφαιρετικότητα’ δηλαδή, από μια συγκεκριμένη έννοια μπορεί να πάει σε μια περισσότερο αφηρημένη έννοια μεταβαίνοντας από διακριτά χρονικά σημεία σε χρονικά διαστήματα. Επιπλέον, η χρονική αφαιρετικότητα χρειάζεται χρονικό συλλογισμό κοινής λογικής (π.χ. χειρισμός των πολλαπλών μονάδων του χρόνου και των χρονικών σχέσεων όπως είναι για παράδειγμα, οι χρονικές σχέσεις ‘πριν’, ‘επικαλύψεις’, ‘διάξευξη’ κλπ).

Στη διαδικασία της χρονικής αφαιρετικότητας, σαν είσοδο παίρνει μη επεξεργασμένα ή προ-επεξεργασμένα δεδομένα και με αυτά παράγει εξαρτώμενες και ποιοτικές αναπαραστάσεις που βασίζονται στο χρονικό διάστημα. Η διαδικασία αυτή, είναι απαραίτητη έτσι ώστε οι συμβολικές στρατηγικές συλλογισμού να μπορούν να προχωρήσουν και να αποτελέσουν ένα πρώτο σημείο εισόδου για γνώση μέσα από ένα σύστημα ανάλυσης δεδομένων. Έτσι, στην πορεία οι χρονικές αφαιρετικότητες μπορούν να ερμηνευτούν ως ταίριασμα έναντι προκαθορισμένων προτύπων ή οδηγιών [49,10,28] ή να αιτιολογηθούν σε υψηλότερο πλαίσιο. Σύμφωνα με τον Shahar [52], το έργο της χρονικής αφαιρετικότητας αποτελεί μια διαδικασία η οποία, με δεδομένο ένα σύνολο χρονοπροσδιοριζόμενων (time-stamped) παραμέτρων, εξωτερικών γεγονότων και στόχων για αφαιρετικότητα, παράγει αφαιρετικότητες δεδομένων οι οποίες έχουν την ικανότητα να ερμηνεύσουν πιο παλιές αλλά και σημερινές καταστάσεις και τάσεις σχετικές με το δεδομένο σύνολο εργασιών. Επομένως, συνήθως η χρονική αφαιρετικότητα χρησιμοποιείται κυρίως για διερμηνεία χρονικών δεδομένων προς υποστήριξη εργασιών όπως είναι η διάγνωση, ο έλεγχος κλπ. Υπάρχουν αρκετά παραδείγματα τύπων χρονικής αφαιρετικότητας. Η αφαιρετικότητα συγχώνευσης (merge abstraction) ή αλλιώς αφαιρετικότητα κατάστασης (state abstraction) είναι ένας σημαντικός τύπος χρονικής αφαιρετικότητας, όπου στόχο έχει την εξόρυξη διαστημάτων πάνω στα οποία δεν υπάρχει καμία αλλαγή στην κατάσταση κάποιων

παραμέτρων και έτσι, ισχύει μια ενοποιήσιμη ιδιότητα. Ο τύπος αυτός, παρουσιάζει ευαισθησία στα διάφορα πλαίσια αναφοράς (context-sensitive). Ένας άλλος τύπος χρονικής αφαιρετικότητας, είναι η αφαιρετικότητα εύλογης ύπαρξης (persistence abstraction) που πάλι έχει ως στόχο την εξόρυξη μέγιστων διαστημάτων για τα οποία ισχύει κάποια ιδιότητα. Κάθε ιδιότητα έχει μόνο ένα δεδομένο που την αφορά. Η αφαιρετικότητα αυτού του τύπου είναι χρήσιμη για δεδομένα στα οποία υπάρχουν κενά για οποιοδήποτε λόγο και παρουσιάζουν ευαισθησία στα διάφορα πλαίσια αναφοράς. Επιπρόσθετα, η αφαιρετικότητα τάσης (trend abstraction) είναι ένας άλλος τύπος όπου στόχο έχει την παραγωγή σημαντικών αλλαγών κατά τη διάρκεια της εξέλιξης κάποιας παραμέτρου και του ρυθμού με τον οποίο αυτές γίνονται. Μια άλλη χρονική αφαιρετικότητα, είναι η αφαιρετικότητα περιοδικότητας στην οποία παράγονται επαναλαμβανόμενα περιστατικά με αξιόπιστο τρόπο και με ένα οργανωμένο μοτίβο επανάληψης. Δηλαδή, χαρακτηριστικό της είναι το επαναληπτικό στοιχείο, το περιστατικό σύνθετο ή απλό το οποίο έχει επαναλαμβανόμενη εμφάνιση, το μοτίβο που είναι ουσιαστικά ο αλγόριθμος που στην περίπτωση που του δοθεί ένα 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 χρονική διάσταση είναι πρωταρχικής σπουδαιότητας στη διαδικασία αφαιρετικότητας δεδομένων που ασχολείται με τη διερμηνεία δεδομένων των ασθενών. Οι μέθοδοι αφαιρετικότητας δεδομένων έχουν να κάνουν κυρίως με τη διερμηνεία χρονικών δεδομένων όπου οι χρονικές τάσεις και τα πιο σύνθετα χρονικά πρότυπα αποτελούν τους κύριους τύπους τέτοιου είδους αφαιρετικοτήτων. Για την ποιοτική αξιολόγηση αυτών των μεθόδων, είναι απαραίτητη η απόδοση αφού κύριος στόχος είναι η διαδικτυακή υποστήριξη αποφάσεων. Πιο συγκεκριμένα, αν δηλαδή μια μέθοδος παρέχει επαρκή στήριξη για το διαγνωστικό συλλογισμό. Έτσι, μπορούμε να διακρίνουμε ότι η απεικόνιση των δεδομένων είναι υπερβολικά σημαντική για την υποστήριξη δημιουργίας αποφάσεων καθώς και για την επιτυχή εκτέλεση για ένα πρόβλημα επίλυσης μιας εργασίας. Ακόμη, για την εύρεση σύνθετων μοντέλων για τα δεδομένα που αφορούν κάποιο χρήστη απαιτούνται υψηλότερα επίπεδα χρονικής αφαιρετικότητας σε σχέση με τα καθορισμένα επίπεδα χρονικής αφαιρετικότητας [55]. Η χρονική αφαιρετικότητα αποτελεί το μέσο για την επίτευξη ακριβών ποιοτικών

περιγραφών δεδομένων. Οι περιγραφές αυτές, μπορούν στην συνέχεια να αποτελέσουν τις εισόδους σε μια μηχανή συλλογισμού, όπου θα αξιολογούνται δεδομένα μιας βάσης γνώσεων με στόχο να καταλήξουν σε κλινικές υποθέσεις. Βασικός στόχος της χρονικής αφαιρετικότητας, είναι η μετατροπή δεδομένων ενός ασθενή από ένα χαμηλό επίπεδο ποσοτικής μορφής όπου βρίσκονται συνήθως, σε υψηλότερου επιπέδου ποιοτικές περιγραφές που είναι πιο κοντά στη γλώσσα των νοσοκομειακών γιατρών [56]. Για αυτό όπως αναφέρει και η Miksch και άλλοι συγγραφείς [41], όταν τα δομημένα-λειτουργήσιμα μοντέλα δεν είναι αρκετά κατανοητά στις περιπτώσεις της ιατρικής για παράδειγμα, είναι σχεδόν αδύνατο να κατασκευαστούν ποσοτικά μοντέλα για σκοπούς ανάλυσης. Επίσης, το περιεχόμενο μιας ανάλυσης μπορεί να αλλάξει εξαιτίας της αλλαγής των φαρμάκων και της προόδου των καταστάσεων μιας ασθένειας, δηλαδή οι τιμές των δεδομένων που θεωρούνταν φυσιολογικές σε κάποια στιγμή στο χρόνο ή σε ένα συγκεκριμένο περιεχόμενο, μπορεί να θεωρούνται μη φυσιολογικές σε ένα άλλο.

Μπορούμε να συμπεράνουμε λοιπόν, ότι εξαιτίας του μεγάλου όγκου ιατρικών δεδομένων που περιλαμβάνουν διαφορετικές συχνότητες παρατηρήσεων, διαφορετικές τακτικότητες, διαφορετικούς τύπους και θόρυβο και εξαιτίας του κενού που υπάρχει σχετικά με τη συλλογή και την κατανόηση δεδομένων, είναι έντονη η ανάγκη για εύρεση εργαλείων και μεθοδολογιών επεξεργασίας και μετασχηματισμού δεδομένων, αλλά, αντίστοιχα και για εξαγωγή πληροφοριών από δεδομένα και παρουσίαση τους σε αφαιρετικό επίπεδο. Η έννοια της αφαιρετικότητας δεδομένων στον τομέα της ιατρικής, είναι στην ουσία περιγραφές ιατρικών δεδομένων σχετικά με τους ασθενείς σε επίπεδο όπου να είναι κοντά στις γνώσεις των ιατρών. Έτσι, μπορούμε να πούμε ότι η διαδικασία της αφαιρετικότητας δεδομένων, βασίζεται στη γνώση και χρησιμοποιεί ευρετικές μεθόδους για την παραγωγή των αφαιρετικοτήτων. Επομένως, οι μέθοδοι αφαιρετικότητας δεδομένων χρησιμεύουν για την υποστήριξη συγκεκριμένων δραστηριοτήτων που βασίζονται στη γνώση για την επίλυση διάφορων προβλημάτων (διερμηνεία δεδομένων, διάγνωση, έλεγχος, κλπ) με την εξαγωγή χρήσιμων αφαιρετικοτήτων από μη επεξεργασμένα, συνήθως αριθμητικά δεδομένα. Παράλληλα, οι μέθοδοι χρονικής αφαιρετικότητας δεδομένων αποτελούν ένα άλλο σημαντικό υποσύνολο στο οποίο τα επεξεργασμένα δεδομένα είναι χρονικά. Ο τρόπος με τον οποίο παράγονται οι αφαιρετικότητες, είναι συχνά συμφραστικά εξαρτώμενος ή/και κατανεμημένος και ισχύει για τις συνεχείς παροχές των δεδομένων. Οι τάσεις, τα

περιοδικά συμβάντα καθώς και άλλα χρονικά πρότυπα, αποτελούν χρήσιμους τύπους αφαιρετικοτήτων. Μέσω μιας απεικόνισης μπορούν να ανακαλυφθούν οι χρονικές αφαιρετικότητες και μια αφαιρετικότητα μπορεί να εκτελεσθεί πάνω σε μία μοναδική περίπτωση, για παράδειγμα σε ένα μοναδικό ασθενή ή πάνω σε συλλογή περιπτώσεων.

3.8 Χρονική Αβεβαιότητα (Temporal Uncertainty)

Οι αβέβαιες πληροφορίες και τα αβέβαια γεγονότα σε ένα συλλογισμό είναι μια διαδικασία που δύσκολα μπορεί να εξεταστεί. Με την έννοια χρονική αβεβαιότητα, αναφερόμαστε στην ανακρίβεια που υπάρχει στη μέτρηση του χρόνου σε σχέση με δεδομένα και ιατρική γνώση. Η ρητή αναπαράσταση των αβέβαιων γεγονότων όπως και της χρονικής αβεβαιότητας είναι απαραίτητα σε πολλές εφαρμογές. Στον ιατρικό τομέα, ένα παράδειγμα είναι, όταν ένας ασθενής μπορεί να δώσει πληροφορίες για τα συμπτώματα μια ασθένειας από την οποία υπέφερε παλαιότερα και οι πληροφορίες αυτές να είναι χρονολογικά ανακριβείς.

Η χρονική αβεβαιότητα (ανακρίβεια σε σχέση με το χρόνο μιας μέτρησης) αφορά την εμφάνιση μιας πρότασης στο χρόνο αντίθετα με την αβεβαιότητα σε γεγονότα (ανακρίβεια που υπάρχει σε μια μέτρηση) η οποία αφορά τα στοιχεία που υπάρχουν διαθέσιμα σε μια πρόταση. Είναι απαραίτητο 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. Δηλαδή, είναι επιθυμητό η αναπαράσταση της αβεβαιότητας των γεγονότων καθώς και της χρονικής αβεβαιότητας να είναι ρητή. Άρα, σε κάθε συλλογισμό που χρησιμοποιείται ο χρόνος, όλες οι καθορισμένες προτάσεις σε ένα σύστημα πρέπει να εξαρτώνται από το χρόνο. Όπως για παράδειγμα, η πρόταση ‘χρώμα(σπίτι)’ μετατρέπεται σε ‘χρώμα(σπίτι στο χρόνο t1)’, και έτσι με τον τρόπο αυτό όλες οι προτάσεις τοποθετούνται στο χρόνο. Στο άρθρο ‘Temporal Reasoning with Fuzzy Time-Objects’ [18], αναφέρεται ότι 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 και τα αβέβαια γεγονότα θεωρούνται χρονικά αντικείμενα. Επιπλέον, η αναπαράσταση αυτή είναι αναγκαίο να υποστηρίζει τον

ορισμό χρονικά αβέβαιων σχέσεων όπως είναι για παράδειγμα, οι σχέσεις ‘κάπως μετά/πριν’ και την αναφορά σε αβέβαια γεγονότα.

Οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να εκφραστεί η χρονική αβεβαιότητα η οποία αναγνωρίζεται ως μια απαραίτητη πτυχή αντιπροσώπευσης είναι είτε με απόλυτο τρόπο (σειρές για τις καθυστερήσεις, διάρκειες ή χρονικά μεγέθη), είτε με σχετικό τρόπο (διάζευξη των χρονικών σχέσεων μεταξύ δύο χρονικών διαστημάτων) και αφορά δεδομένα και την ιατρική γνώση. Το σύνδρομο της δυσμορφίας Morquio, αποτελεί παράδειγμα της απόλυτης χρονικής αβεβαιότητας, το οποίο αναμένει ότι η άνω επίφυση μηριαίου οστού ήταν επίπεδη από την ηλικία περίπου των 2 ετών μέχρι την ηλικία περίπου των 10 ετών και ότι η οστεοποίηση του άνω μηριαίου οστού θα απουσίαζε από την ηλικία των 10 ετών μέχρι περίπου την ηλικία των 15 ετών [29]. Κάποια άλλα αντίστοιχα παραδείγματα 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 στη συνέχεια αναμένεται να εμφανίζεται σχετικά φυσιολογικός όπως επίσης και το γεγονός ότι η διάρκεια κάποιου επεισοδίου μπορεί να είναι καθορισμένη όμως η έναρξη του εκφράζεται σε σχέση με άλλα επεισόδια [29]. Έστω λοιπόν το διάστημα $I=[I-,I+]$, είναι ένα μη κενό, κυρτό σύνολο από χρονικά σημεία όπου το $I-$ αποτελεί την ελάχιστη επέκταση και το $I+$ τη μέγιστη. Αν το $I-$ είναι ίσο με το $I+$ δηλαδή, $I- = I+$, τότε δεν υπάρχει αβεβαιότητα.

Οι πιο πολλές προσεγγίσεις που εξετάζουν την αβεβαιότητα στο χρονικό συλλογισμό, αρχίζουν είτε με τυπικές χρονικές θεωρίες, είτε με ασαφή λογική (fuzzy logic). Σε ένα συλλογισμό που αφορά τη χρονική αβεβαιότητα, η μεγαλύτερη προσπάθεια που γίνεται συνήθως είναι ο περιορισμός των χρονικών σχέσεων μεταξύ γεγονότων και συμβάντων. Στόχος είναι η επίτευξη ενός συνεπούς συνόλου χρονικών σχέσεων. Για αυτό, και οι περισσότερες προσεγγίσεις που αφορούν τη χρονική αβεβαιότητα βασίζονται σε χρονικά δίκτυα και γραφήματα [18].

Μέσα από διάφορα άρθρα, μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι στις χρονικές αναπαραστάσεις δεν αναπαριστάται ρητά η χρονική αβεβαιότητα και η αβεβαιότητα των γεγονότων. Επιπρόσθετα, ο ταυτόχρονος συλλογισμός δεν αντιμετωπίστηκε με αβέβαιο χρόνο και γεγονότα και οι παρούσες χρονικές αναπαραστάσεις δεν

επεκτάθηκαν εύκολα με στόχο η αβεβαιότητα για το χρόνο και τα γεγονότα να μπορούν ακόμη να ξεχωρίζουν. Επιπλέον, ο συλλογισμός περιορίζεται σε σχέση με μερικούς συμπερασματικούς τρόπους λόγω της χρονικής αναπαράστασης που επιλέγηκε. Έτσι λοιπόν, για να αποφευχθούν τα προβλήματα και οι περιορισμοί αυτοί, η αναπαράσταση της χρονικής αβεβαιότητας και της αβεβαιότητας γεγονότων κρίθηκε καθοριστική με ασαφή χρονικά αντικείμενα. Μέσω των αντικειμένων, οι πιο πάνω αβεβαιότητες αναπαριστώνται ξεχωριστά. Ταυτόχρονα, η χρήση αντικειμένων σε ένα συλλογισμό δεν απαγορεύεται μέσω της αναπαράστασης και η αβεβαιότητα στο χρόνο και στα γεγονότα μπορεί να προκύψει επίσης ξεχωριστά [18].

3.9 Πολλαπλές Μονάδες Χρόνου (Multiple Granularities)

Για την αυτοματοποίηση των αποφάσεων υποστήριξης σε μια διάγνωση, πρόγνωση ή θεραπεία βασικό ρόλο έχουν η κατανομή του χρόνου (time-granularity) ή η αναπαράσταση πληροφοριών. Η κατανομή του χρόνου βρίσκεται παντού, σε κάθε χρονικό σύστημα και οι αποφάσεις που λαμβάνονται σε τέτοιο επίπεδο επηρεάζουν τη λειτουργία του συστήματος. Ουσιαστικά, με την κατανομή του χρόνου εξασφαλίζονται τρόποι για ασφαλή μετατροπή χρονικών αναφορών σε διαφορετικές χρονικές μονάδες. Η ανάγκη συσχέτισης των διαδικασιών που αναπτύσσονται με βάση μια καθορισμένη κατανομή χρόνου με αυτές που αναπτύσσονται με βάση μια διαφορετική κατανομή χρόνου υπάρχει πάντοτε, είτε μιλάμε για μια διάγνωση είτε για μια θεραπεία. Στον τομέα της ιατρικής, είναι πιο δύσκολο να διαχειριστείς αποτελεσματικά την κατανομή του χρόνου από μια μετατροπή των σχετικών ημερολογιακών μονάδων (calendric-related unit). Πιο συγκεκριμένα, μερικές φορές για παράδειγμα τα συμπτώματα διακρίνονται όταν ένα φαινόμενο παρατηρείται κάθε μέρα για μια εβδομάδα ή περισσότερο. Από την άλλη όμως, ένα φαινόμενο που παρατηρείται εδώ και εβδομάδες μπορεί να συνδέεται με μια εποχή, για παράδειγμα όταν γίνεται διάγνωση για υψηλό πυρετό. Έτσι, στα ιατρικά συστήματα εισάγονται τα χρονικά αντικείμενα (time-objects) για την καλύτερη διαχείριση της κατανομής του χρόνου και τα οποία, έχουν χρονική ύπαρξη στο σύστημα και είναι εννοιολογικά συγκεντρωμένα μέσω των χρονικών αξόνων. Μέσω των χρονικών, αιτιολογικών και δομικών συσχετίσεων των χρονικών αντικειμένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη ρητή μοντελοποίηση δυναμικών διαδικασιών με φυσικό τρόπο. Η συσχέτιση μιας ιδιότητας και μιας ύπαρξης, με άλλα

λόγια τα χρονικά αντικείμενα, χρησιμοποιούνται ως ένα πλαίσιο αναπαράστασης και καθορίζεται ένας αριθμός αρχικών γενικών κριτηρίων αξιολόγησης μέσα στο οποίο ενσωματώνεται ο χρόνος. Κάθε χρονικό αντικείμενο μπορεί να είναι σύνθετο καθώς μπορεί να αποτελείται από ένα σύνολο πιο απλών αντικειμένων. Λόγω του ότι είναι δυναμικό έχει τη δυνατότητα να αλληλεπιδρά με άλλα χρονικά αντικείμενα όπως για παράδειγμα μέσω του συλλογισμού ή της αιτιότητας.

Η μονάδα του χρόνου, αποτελεί ένα εργαλείο αφαιρετικότητας έτσι ώστε να αποφεύγεται η συσσώρευση περιττής λεπτομέρειας ή να αποκρύπτονται χάσματα πληροφορίας με στόχο να επιτευχθεί μια αποτελεσματική επίλυση ενός προβλήματος. Οι πολλαπλές μονάδες χρόνου, δίνουν τη δυνατότητα διερεύνησης διάφορων περιστατικών. Για αυτό και για διαφορετικούς τύπους περιστατικών, επειδή η κατάλληλη μονάδα χρόνου μπορεί να είναι διαφορετική, εξυπηρετούν καλύτερα οι πολλαπλές μονάδες χρόνου, οι οποίες είναι γενικά αναγνωρίσιμες. Κάτι που μπορεί να δημιουργήσει απορία, είναι πώς πρέπει να συμπεριληφθεί η πολλαπλότητα των μονάδων του χρόνου. Η μοντελοποίηση του χρόνου για παράδειγμα, είναι μια μοναδική, γραμμική, διακριτή, χρονική γραμμή και εκφράζεται σε σχέση με μια μονάδα του χρόνου. Οι ολικές (grosser) μονάδες χρόνου ορίζονται σε σχέση με αυτή τη μονάδα χρόνου. Κάθε περιστατικό εκφράζεται σχετικά με την πιο εφικτή, απλή μονάδα του χρόνου, όπου τέτοιου είδους εκφράσεις μπορούν να μεταφραστούν σε ολικότερα (grosser) επίπεδα με τη χρήση των σχέσεων μεταξύ των διαφορετικών μονάδων του χρόνου. Η πολλαπλότητα των μονάδων του χρόνου δεν είναι η ίδια με το μοντέλο του χρόνου ανά δευτερόλεπτο. Στην ιατρική, σε ένα χρονικό συλλογισμό η ανάγκη για ύπαρξη πολλαπλών μονάδων χρόνου προκύπτει σε σχέση με ένα μοντέλο χρόνου. Σε ένα μοντέλο χρόνου, μπορούν να ενσωματωθούν ρητά οι πολλαπλές μονάδες χρόνου, αν το τελευταίο υποστηρίζει πολλαπλότητα εννοιολογικών χρονικών πλαισίων όπως για παράδειγμα, πολλαπλότητα ονομαζόμενων χρονικών αξόνων. Ο χρονικός άξονας λοιπόν, διευκολύνει τη μοντελοποίηση των εννοιολογικών χρονικών πλαισίων και πολλαπλών μονάδων χρόνου. Ακόμη, κάτι εξίσου σημαντικό είναι ότι στη διαδικασία επίλυσης διαγνωστικών προβλημάτων είναι απαραίτητη η χρήση πολλαπλών μονάδων χρόνου. Σε ένα ιατρικό διαγνωστικό σύστημα μπορεί να χρειαστεί να επιλυθεί ένα πρόβλημα για μια περίοδο η οποία καλύπτει χρονολογικά διαφορετικές διαβουλευτικές περιόδους. Επομένως, για την επίτευξη του πιο πάνω προβλήματος, μια χρονική

οντότητα για την ιατρική διαγνωστική επίλυση του προβλήματος πρέπει να υποστηρίζει περιόδους, χρονική αβεβαιότητα και πολλαπλές μονάδες χρόνου, τα οποία χαρακτηριστικά σχετίζονται με την ιατρική γνώση και τα δεδομένα του ασθενή.

3.10 Χρονική Συνέπεια (Temporal Consistency)

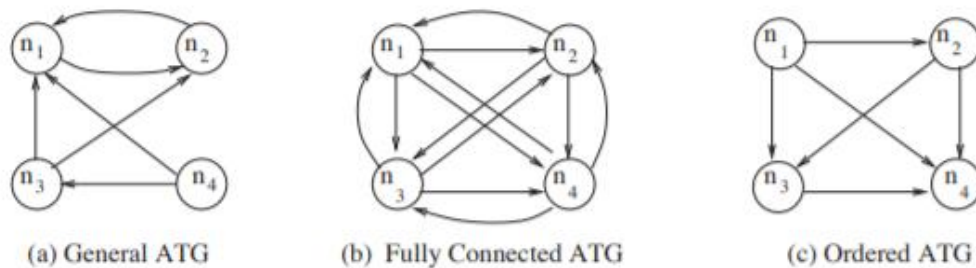
Σύμφωνα με το άρθρο ‘Temporal constraints in clinical diagnosis’ [23], ορίζονται διάφορες μετρήσεις της συνέπειας μεταξύ ενός μοντέλου μιας ασθένειας και των πληροφοριών ενός ασθενή. Μία από αυτές είναι η χρονική συνέπεια, που υπολογίζεται με βάση τις αναμενόμενες και πραγματικές χρονικές αποστάσεις μεταξύ ζευγαριών γεγονότων. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε ζεύγος γεγονότων στις πληροφορίες ενός ασθενή το οποίο περιλαμβάνεται επίσης στο ελάχιστο δίκτυο της διαταραχής, υπολογίζεται το ύψος της τομής του δεδομένου ζεύγους διαστημάτων. Η χρονική συνέπεια, είναι το ελάχιστο μεταξύ των ληφθέντων υψών. Για αυτό, μια χρονική συνέπεια που έχει τιμή 1 σημαίνει ότι οι πραγματικές και αναμενόμενες χρονικές αποστάσεις κάθε ζεύγους σχετικών γεγονότων αντιστοιχούν σε μια χαρακτηριστική τιμή. Αντίθετα, μια χρονική συνέπεια που έχει τιμή 0 σημαίνει ότι για τουλάχιστον ένα ζεύγος σχετικών γεγονότων οι πραγματικές και αναμενόμενες χρονικές αποστάσεις δεν αντιστοιχούν ακόμη και σε μια μόνο πιθανή τιμή. Έτσι, μια χρονική απόσταση με τιμή μικρότερη από 1 αλλά μεγαλύτερη από 0 σημαίνει ότι για τουλάχιστον ένα ζευγάρι σχετικών γεγονότων η αντιστοιχία ήταν για μια πιθανή τιμή. Κάτι επίσης σημαντικό, είναι ότι στην περίπτωση που δεν υπάρχουν κοινά γεγονότα και έτσι δεν υπάρχουν ούτε κοινές εκδηλώσεις μεταξύ ενός μοντέλου πληροφοριών και των πληροφοριών για ένα ασθενή, τότε η χρονική συνέπεια είτε δεν είναι καθορισμένη είτε θεωρείται από προεπιλογή 1. Η χρονική συνέπεια υπάρχει μόνο 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 στην απαγωγική διάγνωση. Οτιδήποτε, που δεν βρίσκεται σε σύγκρουση με μια προσδοκία θεωρείται ότι είναι συνεπές. Φυσικά, η χρονική συνέπεια για μια ασθένεια, αποτελεί μόνο μια απαίτηση για 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 μπαίνει η έννοια της αιτιολογίας μέσα στην επεξήγηση.

3.11 Χρονικοί Περιορισμοί (Temporal Constraints)

Ο ρόλος των χρονικών περιορισμών είναι πολύ σημαντικός όσον αφορά τις κλινικές οδηγίες. Οι κλινικές οδηγίες είναι απαραίτητες για την υποστήριξη των ιατρών στην επίτευξη κάποιας διάγνωσης και θεραπείας για κάποια ασθένεια ή στην εκπαίδευση τους. Συγκεκριμένα κάποια παραδείγματα είναι, οι περιορισμοί που αφορούν τη διάρκεια των ενεργειών, οι καθυστερήσεις μεταξύ των ενεργειών και οι περιοδικές επαναλήψεις τους αντίστοιχα, τα οποία είναι απαραίτητα στοιχεία έτσι ώστε να αντιμετωπιστεί η κλινική θεραπεία. Σύμφωνα με το άρθρο ‘Towards a comprehensive treatment of repetitions, periodicity and temporal constraints in clinical guidelines’ [3], υπάρχει μια προσέγγιση όπου βασίζεται στη χρήση υπολογιστών για την αναπαράσταση των χρονικών περιορισμών στις κλινικές οδηγίες και την επίτευξη συλλογισμού μαζί με αυτούς τους περιορισμούς. Επίσης, προτείνεται μια χρονική αναπαράσταση φορμαλισμού και δυο αλγόριθμοι διάδοσης περιορισμών που λειτουργούν βασιζόμενοι στην αναπαράσταση αυτή. Στη συνέχεια, φαίνεται πώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι δυο αυτοί αλγόριθμοι για να μπορούν να προμηθεύσουν τα κλινικά συστήματα οδηγιών με διαφορετικές χρονικές διευκολύνσεις. Κάτι σημαντικό που πρέπει να αναφερθεί είναι, ότι αν ένας φορμαλισμός 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 συνέπεια τους, τότε δεν είναι ιδιαίτερα χρήσιμος. Ένας χρήστης, δεν μπορεί να αναπαραστήσει οποιοδήποτε σύνολο περιορισμών χωρίς το χρονικό συλλογισμό, ακόμη ούτε και ένα μη συνεπές σύνολο χωρίς καμιά αντίδραση από το σύστημα [3].

Στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης υπήρξε ιδιαίτερο ενδιαφέρον στα δίκτυα περιορισμών και συγκεκριμένα στους αλγόριθμους συνέπειας τόξων και μονοπατιών. Οι κλινικοί χρονικοί περιορισμοί θα είχαν τη δυνατότητα να είναι μεικτών τύπων και το πιο βασικό θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν διαφορετικές κατανομές του χρόνου. Επομένως, σε μια κλινική διάγνωση είναι αναγκαίο να εξετάζονται οι πιο σύνθετες μορφές των χρονικών περιορισμών. Όπως 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. Επιπρόσθετα, σε μια

απλή σειρά δεν μπορεί να μοντελοποιηθεί η ασάφεια που αναπτύσσεται συχνά στα κλινικά πεδία [23]. Μια αφηρημένη δομή που ορίστηκε, η οποία αναφέρεται ως ένας αφηρημένος χρονικός γράφος (ATG Abstract Temporal Graph) [23], αποσκοπεί στην αναπαράσταση των χρονικών περιορισμών που σχετίζονται με την κλινική διάγνωση. Αυτή η αφηρημένη δομή, εκτός του ότι τοποθετεί τους διαφορετικούς τύπους περιορισμών μέσα σε ένα ενοποιημένο πλαίσιο, επιτρέπει παράλληλα την ανάλυση και διαφοροποίηση των διαφόρων τύπων περιορισμών. Τα αρχικά της δομής ATG, αναφέρονται σε ένα κατευθυνόμενο γράφο όπου οι κόμβοι του αναπαριστούν χρονικές οντότητες όπως για παράδειγμα τα γεγονότα, οι περιπτώσεις κλπ και τα τόξα του αντιπροσωπεύουν τους πιθανούς περιορισμούς μεταξύ των δεδομένων ζευγαριών των κόμβων. Πιο κάτω στο Σχήμα 3.1 φαίνονται κάποια παραδείγματα ATG.



Σχήμα 3.1 Αφηρημένοι Χρονικοί Γράφοι (ATG Abstract Temporal Graph) [8]

Οι χρονικοί περιορισμοί μπορούν να εκφραστούν με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους [23]. Ένας από αυτούς τους τρόπους, είναι η έκφραση τους με τη χρήση του συνόλου των χρονικών σχέσεων του Allen [21]. Με βάση το μοντέλο «Αιτία-Χρόνος-Θεραπευτική Ενέργεια» ή αλλιώς “C-T-A” μοντέλο, οι χρονικοί περιορισμοί καταλαμβάνουν ένα τέταρτο επίπεδο, αφού μπορούν να αναφερθούν σε οποιαδήποτε οντότητα ή σύνδεση, μέσα ή μεταξύ των επιπέδων. Όπως αναφέρεται και στον ορισμό, οι χρονικοί περιορισμοί λειτουργούν με στόχο τον περιορισμό ύπαρξης ασθενειών, καταστάσεων και εκδηλώσεων. Σύμφωνα με το “C-T-A” μοντέλο υπάρχουν δυο κατηγορίες, όπου στη μια, η διαγνωστική γνώση αναπαριστάται ως ένα μοναδικό αιτιολογικό δίκτυο και έτσι οι χρονικοί περιορισμοί αναφέρονται στις καθυστερήσεις μεταξύ αιτίων και αποτελεσμάτων και στην επιμονή των καταστάσεων, ενώ στην άλλη

κατηγορία, κάθε ασθένεια μοντελοποιείται ξεχωριστά με συνεταιριστικούς αντί αιτιολογικούς όρους όπως για παράδειγμα σχετικά με τις εξωτερικές εκδηλώσεις της. Οι χρονικοί περιορισμοί σε τέτοιου είδους προσεγγίσεις, αναφέρονται στις χρονικές σχέσεις μεταξύ γεγονότων και σημειώνουν την αρχή και το τέλος των εκδηλώσεων. Συμπερασματικά, το επίπεδο των χρονικών περιορισμών είναι το μέρος του “C-T-A” μοντέλου, το οποίο έχει τη δυνατότητα να συνδέει τα πάντα μεταξύ τους [23].

Κεφάλαιο 4

Μοντέλο «Αιτία–Χρόνος-Θεραπευτική Ενέργεια» και Βιβλιογραφική συγκριτική ανάλυση εφαρμογών

4.1 Μοντέλο «Αιτία-Χρόνος-Θεραπευτική Ενέργεια» (Causal-Temporal-Action Model)	41
4.2 Πρόγραμμα καρδιακών παθήσεων (Heart Disease program)	45
4.3 Russ' Χρονική Δομή Παρακολούθησης (Temporal Control Structure –“TCS”)	51
4.4 Χρονική Απαγωγική Διαγνωστική Αρχιτεκτονική των Console και Torasso (Console and Torasso' s Temporal Abductive Diagnostic Architecture)	59
4.5 Μοντέλο CASNET (causal-associational network model)	64

4.1 Μοντέλο «Αιτία-Χρόνος-Θεραπευτική Ενέργεια» (Causal-Temporal-Action Model)

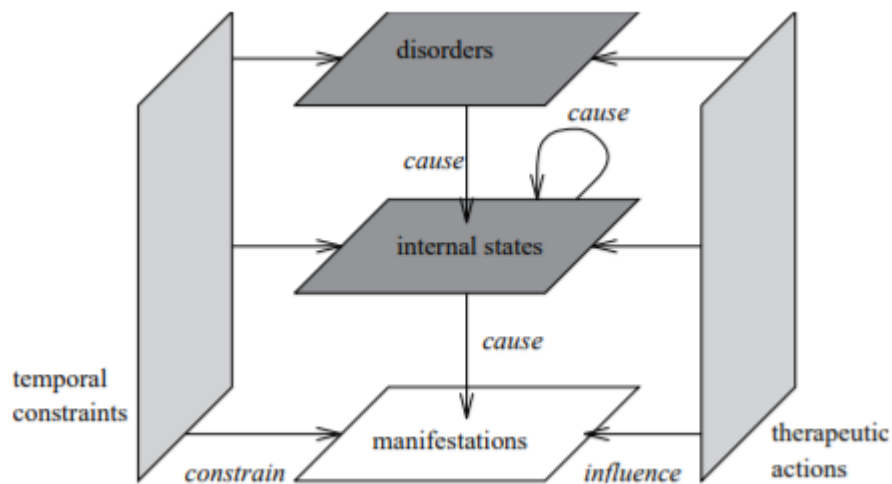
Το “C-T-A” μοντέλο δίνει μια υψηλού επιπέδου θεώρηση της διαγνωστικής γνώσης, η οποία δεν κάνει δέσμευση για την αναπαράσταση των αιτιολογικών σχέσεων, των θεραπευτικών ενεργειών και του χρόνου. Κατά συνέπεια, μπορεί να αντιμετωπιστεί είτε ως ένα ερμηνευτικό πλαίσιο υψηλού επιπέδου για τη γνώση που θα χρειαστεί ένα νέο διαγνωστικό σύστημα, είτε ως ένα πλαίσιο για την κριτική ανάλυση των ήδη υπάρχουσών προσεγγίσεων που αφορούν την κλινική διάγνωση. Για την αναπαράσταση της γνώσης που αφορά τις δυσλειτουργίες και τις φυσιολογικές διεργασίες, το γενικευμένο διαγνωστικό μοντέλο “C-T-A” περιλαμβάνει μια τρι-επίπεδη δομή, χρησιμοποιώντας αιτιολογικούς όρους. Έτσι, η διαγνωστική γνώση οργανώνεται σε πέντε επίπεδα. Το τρι-επίπεδο αυτό δικτυωτό πλέγμα (δυσλειτουργίες,

εσωτερικές καταστάσεις, ενδείξεις), αποτελεί την κεντρική δομή και δίνει μια γενική εικόνα για τις δυσλειτουργίες. Οι εσωτερικές δυσλειτουργικές καταστάσεις που υπάρχουν, συνήθως δεν παρατηρούνται, όμως στην πορεία, οδηγούν σε ενδείξεις που είναι παρατηρητές. Στη δομή του “C-T-A” μοντέλου, υπάρχουν άλλα δυο κάθετα επίπεδα τα οποία αναπαριστούν τους χρονικούς περιορισμούς και τις θεραπευτικές ενέργειες. Στόχος των επιπέδων αυτών είναι, ο περιορισμός της ύπαρξης χρονικών οντοτήτων στην κεντρική δομή. Οι χρονικοί περιορισμοί, αποτελούν το τέταρτο επίπεδο, το οποίο είναι κάθετο στην τρι-επίπεδη ιεραρχική δομή εφόσον, έχουν τη δυνατότητα να αναφέρονται σε οποιαδήποτε οντότητα ή σύνδεσμο, μέσα ή μεταξύ των επιπέδων. Παράλληλα, ο ρόλος τους είναι ο περιορισμός των δυσλειτουργιών, των εσωτερικών καταστάσεων και των ενδείξεων. Με τον ίδιο τρόπο οι θεραπευτικές ενέργειες αποτελούν το πέμπτο κάθετο επίπεδο ως προς την τρι-επίπεδη ιεραρχική δομή και επομένως, οι επιδράσεις μπορούν να αναφέρονται σε οποιοδήποτε επίπεδο ή σε οποιοδήποτε εσωτερικό σύνδεσμο.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, σχετικά με τις κλινικές διαγνώσεις, οι οποίες επικεντρώνονται γύρω από ασθένειες, το επικρατέστερο μοντέλο διάγνωσης είναι το μοντέλο της απαγωγικής διάγνωσης. Το μοντέλο συσχετίσεων (associational model), θεωρείται το πιο απλό μοντέλο για τις ασθένειες (αναπαράσταση εξωτερικών παρατηρήσιμων εκδηλώσεων)[62], καθώς δεν λαμβάνει υπόψη την εξέλιξη μιας ασθένειας, μέσω των σχετικών αιτιολογικών μηχανισμών και αγνοεί επίσης και την έννοια του χρόνου. Επιπλέον, κάθε κλινικό διαγνωστικό σύστημα βασιζόμενο στο απλό αυτό μοντέλο συσχετίσεων ασθενειών-εκδηλώσεων, δεν έχει καθόλου γνώση σχετικά με τις θεραπευτικές ενέργειες, κυρίως για την επίδρασή τους στην εξέλιξη των ασθενειών.

Το γενικευμένο μοντέλο διάγνωσης «Αιτία-Χρόνος-Θεραπευτική Ενέργεια» (“C-T-A”), βασιζόμενο στη γνώση, έχει ως στόχο να εξαλείψει τις αδυναμίες που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Με τη χρήση αυτού του μοντέλου, η αναπαράσταση των εσωτερικών μηχανισμών της εξέλιξης των ασθενειών καλύπτεται μέσω της αιτιολογικής σχέσης, οι χρονικοί περιορισμοί αναπαριστώνται ρητά, τόσο σε σχέση με την αιτιολογική σχέση, όσο και με ευρύτερους χρονικούς περιορισμούς, καθώς επίσης γίνεται και ρητή αναπαράσταση των θεραπευτικών ενεργειών, κυρίως από την πλευρά των επιδράσεων τους (και τυχόν παρενεργειών τους). Το “C-T-A” μοντέλο, για να θεωρηθεί ένα

χρήσιμο μεθοδολογικό εργαλείο για την ανάπτυξη διαγνωστικών συστημάτων, πρέπει να ορίσει και να τυποποιήσει τα πέντε επίπεδα γνώσης από τα οποία αποτελείται καθώς και τις μεταξύ τους διασυνδέσεις. Πιο συγκεκριμένα, είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί μια γενικευμένη αρχιτεκτονική για κλινικά διαγνωστικά συστήματα, που να συγχωνεύει τα κύρια στοιχεία του μοντέλου αυτού και επιπλέον να παρέχει τη δυνατότητα επιλογής συγκεκριμένων κατασκευαστικών τεμαχίων για μια δεδομένη μονάδα γνώσης στο πλαίσιο κάποιας εφαρμογής. Έτσι η εφαρμογή του διαγνωστικού μοντέλου θα είναι ευέλικτη σε κάθε τομέα. Πιο κάτω στο Σχήμα 4.1 φαίνεται το διαγνωστικό μοντέλο “C-T-A” που όπως προαναφέρθηκε η δομή του αποτελείται από πέντε επίπεδα, ένα κεντρικό τρι-επίπεδο δικτυωτό πλέγμα και δυο κάθετα επίπεδα από τα οποία περιβάλλεται.



Σχήμα 4.1 Μοντέλο «Αιτία-Χρόνος-Θεραπευτική Ενέργεια» (Causal-Temporal-Action [C-T-A] Model) [8]

Στο κεφάλαιο αυτό, στόχος είναι η διεξαγωγή μιας συγκριτικής μελέτης πάνω στο θέμα της χρονικής ιατρικής διάγνωσης (temporal medical diagnosis) χρησιμοποιώντας το γενικευμένο μοντέλο διάγνωσης «Αιτία-Χρόνος-Θεραπευτική Ενέργεια» (Causal-Temporal-Action [C-T-A] Model) ως το ερμηνευτικό πλαίσιο για τη συγκριτική ανάλυση αυτή. Με άλλα λόγια, για κάθε εφαρμογή στόχος είναι να διαφανεί ποιό από τα πέντε επίπεδα που αποτελούν τη δομή του “C-T-A” μοντέλου περιλαμβάνεται στην εφαρμογή και κυρίως να καθοριστεί πώς εκφράζονται οι χρονικοί περιορισμοί στην περίπτωση του επιπέδου με τους χρονικούς περιορισμούς. Γνωρίζουμε ότι τα δυο κάθετα επίπεδα που αντιπροσωπεύουν τους χρονικούς περιορισμούς και τις

θεραπευτικές ενέργειες, αποτελούν πολύ σημαντικά στοιχεία του “C-T-A” μοντέλου. Το επίπεδο των χρονικών περιορισμών είναι το κομμάτι του “C-T-A” μοντέλου, το οποίο συνδέει όλα τα επίπεδα μεταξύ τους, επειδή ο παράγοντας «χρόνος» έχει καθοριστικό ρόλο γενικά στην εκτέλεση των ενεργειών και των αιτιατών φαινομένων. Ο χρόνος σχετίζεται άμεσα τόσο με την έννοια της αιτιότητας όσο και με τις ενέργειες. Έτσι, σε κάθε διαγνωστική εφαρμογή αναμένεται να υπάρχουν οι έννοιες των χρονικών περιορισμών και οι θεραπευτικών ενεργειών. Όπως αναφέρεται, το γενικευμένο μοντέλο “C-T-A” θεωρείται πολύ γενικό [8], και για να γίνει πιο χρήσιμο στην ανάπτυξη διαγνωστικών συστημάτων, είναι σημαντικό να καθοριστούν και να τυποποιηθούν ικανοποιητικά τα διάφορα επίπεδα και σύνδεσμοι από τα οποία αποτελείται. Με τη διερεύνηση του επιπέδου των χρονικών περιορισμών, είναι πιθανή η βελτίωση του μοντέλου, καθώς όπως αναφέρθηκε συνδέεται με όλα τα υπόλοιπα επίπεδα του μοντέλου.

Σύμφωνα με το άρθρο “Temporal Reasoning in Medicine” [33] και όπως προαναφέρθηκε, το “C-T-A” μοντέλο, είναι ένα γενικευμένο διαγνωστικό μοντέλο για εφαρμογές κλινικής διάγνωσης, με κύριο στόχο να καθορίσει τη σημαντικότητα της αιτιότητας, του χρόνου καθώς και το συσχετισμό τους με τις θεραπευτικές ενέργειες. Οι τρεις αυτοί παράγοντες είναι αλληλένδετοι. Παρόλα αυτά, με βάση τη βιβλιογραφική διερεύνηση που έγινε, φαίνεται ότι οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν και τους τρεις αυτούς παράγοντες είναι ελάχιστες. Υπάρχουν μάλιστα, και περιπτώσεις στις οποίες παραλείπονται εντελώς αν χρησιμοποιούνται μη χρονικά συσχετισμένα μοντέλα για τις δυσλειτουργίες. Στις πιο πολλές εφαρμογές κλινικής διάγνωσης παραλείπονται συνήθως οι θεραπευτικές ενέργειες. Εξάιρεση αποτελεί το Heart Disease Program (HDP) όπου η διαγνωστική γνώση παρουσιάζεται ως ένα Bayesian πιθανολογικό δίκτυο του οποίου τα τόξα αντιπροσωπεύουν τις αιτιολογικές σχέσεις. Στη συνέχεια θα υπάρξει πιο λεπτομερής ανάλυση όταν θα το συγκρίνουμε με το “C-T-A” μοντέλο.

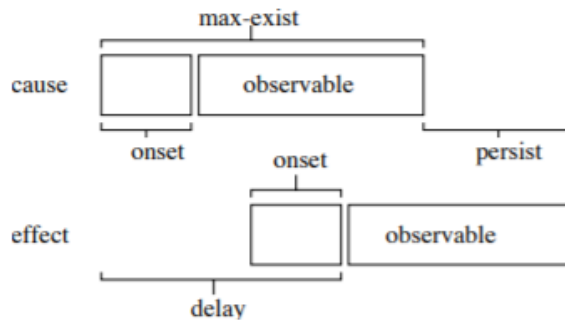
Η εργασία αυτή εντάσσεται στο ευρύτερο πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης στην Ιατρική (Artificial Intelligence in Medicine). Η επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων συνεχίζει να προσελκύει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον λόγω των διάφορων ανοικτών ζητημάτων που αποτελούν πρόκληση. Μια τέτοια πρόκληση είναι η αναπαράσταση 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 μιας ασθένειας. Στόχος μιας διαγνωστικής επίλυσης προβλήματος, είναι η επεξήγηση μιας παρατηρητέας απόκλισης από την αναμενόμενη λειτουργία κάποιου ανθρώπινου οργανισμού, για αυτό και αποτελεί μια περίπλοκη διαδικασία. Σε κάθε κλινική διάγνωση, είναι χρήσιμο να λαμβάνονται υπόψη η αιτιότητα, ο χρόνος και οι θεραπευτικές ενέργειες για την επίλυση κάποιου διαγνωστικού προβλήματος. Ωστόσο, δεν απαιτούνται όλοι οι πιο πάνω παράγοντες σε κάθε περίπτωση. Η σχέση μεταξύ των τριών αυτών παραγόντων είναι άμεση. Οι αιτιολογικές αλληλεπιδράσεις οδηγούν σε αλλαγές και κάθε αιτιολογικό φαινόμενο θεωρείται ένα χρονικό φαινόμενο [8]. Οι ενέργειες ενσωματώνουν αιτιολογικούς μηχανισμούς με αποτέλεσμα η εκτέλεση των ενεργειών αυτών να φέρνει επιθυμητές ή μη επιθυμητές αλλαγές. Όπως ήδη έχει αναφερθεί, ο χρόνος είναι το σημαντικότερο στοιχείο σε μια κλινική διάγνωση, για αυτό και είναι το πιο βασικό μέρος ενός συλλογισμού ως προς το σχηματισμό και την εξέλιξη διαγνωστικών υποθέσεων. Μια ορθή κλινική διάγνωση πρέπει να λαμβάνει υπόψη της, τις χρονικές απαιτήσεις που υπάρχουν, όπως για παράδειγμα τους αριθμητικούς περιορισμούς, τους σχετικούς περιορισμούς, τις πολλαπλές μονάδες χρόνου, την περιοδικότητα, τη χρονική αφαιρετικότητα των δεδομένων κλπ. Για αυτό και η σημασία της χρονικής ιατρικής διάγνωσης κρίνεται τόσο σημαντική.

4.2 Πρόγραμμα καρδιακών παθήσεων (Heart Disease program)

Το πρόγραμμα καρδιακών παθήσεων (Heart Disease Program – HDP) είναι ένα υπολογιστικό πρόγραμμα, το οποίο κάνει διαγνώσεις σχετικά με διαταραχές που υπάρχουν στο καρδιαγγειακό σύστημα κάποιου ασθενή [59]. Σύμφωνα με τους Combi, Keravnou και Shahar [8], οι περισσότερες από τις καρδιαγγειακές διαταραχές είναι χρόνιες, προοδευτικές και οι περισσότερες δεν μπορούν να διορθωθούν χωρίς καρδιακή μεταμόσχευση. Οι πιο πολλοί ασθενείς έρχονται με ήδη υπάρχουσες ασθένειες και θεραπείες με αποτέλεσμα, να δημιουργείται πρόβλημα στον προσδιορισμό των νέων ασθενειών ή επιπλοκών σε σχέση με τις ήδη γνωστές ασθένειες. Επομένως, οι θεραπείες έχουν τόσο ευεργετικά αποτελέσματα στη συγκεκριμένη εφαρμογή κλινικής

διάγνωσης για αυτό και θεωρούνται τόσο σημαντικά. Η διαγνωστική γνώση διαμορφώνεται ως πιθανολογικό δίκτυο Bayesian, του οποίου οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν παθολογικές καταστάσεις, εκδηλώσεις ή θεραπείες, ενώ τα τόξα αντιστοιχούν στις αιτιολογικές σχέσεις. Το Bayesian πιθανολογικό δίκτυο λοιπόν, καθορίζει την αναπαράσταση των χρονικών διαρκειών των αιτιών και των επιδράσεων, οι οποίες σχετίζονται με διαγνώσεις για ασθένειες που αφορούν την καρδιά. Για παράδειγμα, η διαφοροποίηση των περιπτώσεων στις οποίες ένα καρδιακό επεισόδιο παρουσιάζεται πριν ή μετά τις τελευταίες έξι ώρες καθώς οι διαδικασίες που ακολουθούν στη κάθε περίπτωση είναι διαφορετικές. Κατά τη διάρκεια μιας διαβούλευσης με το σύστημα HDP, οι κόμβοι του Bayesian πιθανολογικού δικτύου αρχικοποιούνται, με αποτέλεσμα οι παρατηρήσιμες εκδηλώσεις να ορίζονται ως χρονικά διαστήματα όπου ο χρόνος εκφράζεται με βάση ένα τρέχων σημείο στο χρόνο. Οι χρονικοί περιορισμοί που αναφέρονται πιο πάνω, επιτρέπουν την παραγωγή τέτοιων χρονικών διαστημάτων τόσο για μια αιτία δεδομένης της επίδρασής της όσο και το αντίστροφο. Πιο κάτω στο Σχήμα 4.2 φαίνεται η σχέση των αιτιολογικών χρόνων στο HDP.



Σχήμα 4.2 Σχέση των αιτιολογικών χρόνων στο HDP [8]

Το σύστημα HDP σχετίζεται άμεσα με την πολλαπλότητα των χρονικών μονάδων (temporal granularities), δεδομένου ότι κάποιες διαδικασίες υλοποιούνται μέσα σε λίγα λεπτά, ενώ άλλες χρειάζονται μήνες ή και χρόνια για να ολοκληρωθούν. Παρόλα αυτά, δεν αντιμετωπίζεται με συστηματικό τρόπο. Επίσης, οι διαθέσιμες παρατηρήσεις είναι περιορισμένες με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητος ο συλλογισμός με στόχο να

ανακαλυφθεί τι πραγματοποιείται. Οι κύριες ασθένειες που αφορούν το πεδίο εφαρμογής του HDP, είναι οι ασθένειες του μυ της καρδιάς όπως είναι, το μυοκαρδιακό έμφραγμα (καρδιακή προσβολή) και διάφορα είδη της καρδιομυοπάθειας, η βαλβιδική δυσλειτουργία και ο περιορισμός της καρδιάς από το περικάρδιο [59]. Κάθε ασθένεια έχει τα δικά της χαρακτηριστικά και ευρήματα, τα οποία αποτελούν και τη διαφορά της από τις υπόλοιπες ασθένειες ακόμα και στις περιπτώσεις όπου τα ευρήματα είναι παρόμοια. Στο σύστημα HDP δεν υποστηρίζεται η χρονική αφαιρετικότητα, αλλά το κύριο στοιχείο αναπαράστασης του είναι ότι, οι θεραπείες και οι αντίστοιχες επιδράσεις τους μοντελοποιούνται με παρόμοιο τρόπο όπως και οι αιτίες. Κάθε επίδραση, είναι αναγκαίο να επικαλύπτει την αιτία και να παρατηρείται μετά από την παρακολούθηση της αιτίας. Στο χρονικό μοντέλο του συστήματος HDP, το οποίο παρουσιάζει τους χρονικούς περιορισμούς που σχετίζονται με τις αιτιολογικές σχέσεις, η αιτιολογική σχέση που υπάρχει, επιτρέπει την αναπαράσταση ενός μικρού αριθμού διαφορετικών προτύπων αιτιότητας. Τα πρότυπα αυτά είναι η “immediate” αιτιότητα, όπου η επίδραση της αν εμφανίζεται καθόλου εμφανίζεται αμέσως, και η “progressive” αιτιότητα, στην οποία αν πραγματοποιηθεί η επίδραση, συνεχίζει. Γενικά, οι “progressive” καταστάσεις αντέχουν στο χρόνο και απλά αρχίζουν να χειροτερεύουν εκτός και αν γίνει κάποια ριζική διόρθωση. Επιπλέον, υπάρχει η “accumulative” αιτιότητα όταν η αιτία απαιτείται να υπάρχει για ένα καθορισμένο διάστημα και η “corrective” αιτιότητα όταν υπάρχουν μερικές καταστάσεις, οι οποίες επιστρέφουν άλλες καταστάσεις σε λειτουργικότητα. Οι καταστάσεις αυτές, μπορεί να είναι είτε θεραπείες, είτε σε ορισμένες περιπτώσεις αποτελούν παθοφυσιολογικές καταστάσεις, οι οποίες έχουν επιδράσεις αντίθετες με το αποτέλεσμα. Ακόμη υπάρχει η “event-like” αιτιότητα, η οποία είναι αποτέλεσμα των παθοφυσιολογικών καταστάσεων που προδιαθέτουν τον ασθενή, η “delayed” αιτιότητα που είναι παρόμοια με την “immediate”, με τη διαφορά ότι υπάρχει ένα ευπροσδίοριστο χρονικό διάστημα μεταξύ της αιτίας και της επίδρασης. Τέλος, είναι η “intermittent” αιτιότητα κατά την οποία, όταν παρουσιάζεται μια αιτία, εμφανίζονται περιοδικά μερικές επιδράσεις και συμπεράσματα. Πέραν των πιο πάνω χαρακτηριστικών της αιτιολογίας, υπάρχουν μερικά χαρακτηριστικά των καταστάσεων που επιφέρουν επιπτώσεις στο χρονικό συλλογισμό. Υπάρχουν καταστάσεις, οι οποίες έχουν μια μέγιστη χρονική περίοδο, ενώ υπάρχουν και άλλες καταστάσεις που διαρκούν μόνο για μια χρονική περίοδο, επειδή μπορεί να είναι σε ισχύ είτε ο ασθενής να μην επιβιώνει. Συνεπώς, τα χαρακτηριστικά

αυτά, περιορίζουν τα χρονικά όρια των αιτιών και των επιδράσεων και στο ποιά συμπεράσματα μπορούν να φτάσουν μέσω των ευρημάτων.

Ο διαγνωστικός συλλογισμός είναι το πιο ανεπτυγμένο μέρος του προγράμματος, καθώς συμπεριλαμβάνει την παραλαβή των συμπερασμάτων του παθολόγου και τη δημιουργία μιας διαφορικής σύστασης με τις πιο πιθανές υποθέσεις που αποτελούν τα συμπεράσματα. Κάθε υπόθεση συνοδεύεται από μια πλήρη αιτιολογική επεξήγηση, για το πώς οι ασθένειες και οι μηχανισμοί στην υπόθεση παρέχουν ένα συνεπές υπολογισμό για τα συμπεράσματα [59]. Σύμφωνα με το άρθρο “Development of a Knowledge Base for Diagnostic Reasoning in Cardiology” [58], το πρόγραμμα έχει περάσει από δυο αξιολογήσεις, μια όταν ο συλλογισμός βασιζόταν αποκλειστικά σε ένα πιθανολογικό δίκτυο και όταν ενσωματώθηκαν στο συλλογισμό χρονικοί και ισχυρότεροι περιορισμοί. Η εφαρμογή του HDP, για να ενισχύσει την ακρίβεια της διάγνωσης εκμεταλλευόμενο τους χρονικούς περιορισμούς που υπάρχουν έμφυτοι στον καρδιαγγειακό συλλογισμό, επεκτείνεται με τις χρονικές ικανότητες συλλογισμού. Τα αιτιολογικά πρότυπα που αναφέρθηκαν πιο πάνω χρειάζονται ένα αριθμό από επιπρόσθετες ιδιότητες σε ένα κόμβο και στις περιγραφές των συνδέσεων στη βάση γνώσης για την αναπαράστασή τους. Τα χρονικά διαστήματα “onset”, “delay” και “persistence” αποτελούν τρεις από τις ιδιότητες αυτές όπως φαίνονται και στο Σχήμα 4.2. Κάτι σημαντικό, είναι ότι οι χρονιές σημασιολογίες μιας αιτιολογικής σχέσης είναι πλούσιες. Η χρονική σημασιολογία “onset”, θεωρείται ως το υποτιθέμενο διάστημα του χρόνου κατά το οποίο παρατηρείται επίδραση, δηλαδή μια κατάσταση μπορεί να παραμείνει σε ισχύ μετά που η αιτία παύει να ισχύει. Το χρονικό διάστημα της καθυστέρησης “delay”, είναι το διάστημα κατά το οποίο η αιτία πρέπει να βρίσκεται σε ισχύ πριν αρχίζει να εμφανίζεται η επίδραση (συμπεριλαμβάνει και το “onset” χρονικό διάστημα). Στη συνέχεια, υπάρχει η χρονική σημασιολογία “persist”, η οποία αποτελεί το χρονικό διάστημα, κατά το οποίο η επίδραση θα παραμείνει στην περίπτωση όπου η αιτία που την προκάλεσε πάψει να ισχύει. Τέλος, υπάρχει το χρονικό διάστημα “max-exist”, το οποίο θεωρείται ως ο μέγιστος χρόνος που η αιτία θα παραμείνει ακόμα και αν η επίδραση εξακολουθεί να υπάρχει. Όλες οι πιο πάνω χρονικές σημασιολογίες, αναπαριστώνται ως χρονικά διαστήματα και η πιθανή διάρκεια τους εκφράζεται πιθανολογικά. Υπάρχουν κάποιοι κανόνες που καλύπτουν δυο πρακτικές εκτιμήσεις όσον αφορά την εφαρμογή των πιο πάνω ιδιοτήτων. Η μια πρακτική 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.

Ο διαγνωστικός συλλογισμός σχετίζεται άμεσα με τον απαγωγικό συλλογισμό. Συνεπώς, ο διαγνωστικός συλλογισμός αναφέρεται στο συμπέρασμα που προκύπτει βάσει της αιτίας από μια επίδραση αρχίζοντας από τις επιδράσεις που ταιριάζουν στα συμπεράσματα για ένα ασθενή. Κύριος στόχος, είναι ο συσχετισμός μεταξύ των εσωτερικών καταστάσεων και των παρατηρήσιμων συμπερασμάτων. Σε μια πλήρη αιτιολογική επεξήγηση που περιλαμβάνει μια διαγνωστική υπόθεση, καθορίζεται πώς οι ασθένειες και οι μηχανισμοί στην υπόθεση παρέχουν ένα συνεπές υπολογισμό των ευρημάτων του ασθενή. Με την έννοια της συνέπειας, δηλώνεται ότι ικανοποιούνται όλοι οι χρονικοί περιορισμοί των δεδομένων αιτιολογικών σχέσεων. Στο σύστημα HDP, οι κυριότερες λειτουργίες του χρονικού συλλογισμού που εκτελούνται, 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. Επιπλέον, τα χρονικά χαρακτηριστικά δίνουν τη δυνατότητα ρύθμισης των πιθανοτήτων στις περιπτώσεις όπου 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 [8]. Είναι πολύ σημαντικό το ότι ο χρόνος συμπεριλήφθηκε στην αξιολόγηση των υποθέσεων στο HDP, καθώς βοήθησε όχι μόνο στο να είναι πιο ακριβείς οι πιο πάνω υποθέσεις, αλλά και στην ενίσχυση της απόδοσης του HDP [33]. Συμπερασματικά, το σύστημα 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 [59].

Αφού έχουμε δώσει την περιγραφή του συστήματος HDP, βρισκόμαστε σε θέση να το αναλύσουμε σε σχέση με το “C-T-A” μοντέλο. Μπορούμε να δούμε, ότι στο HDP περιλαμβάνονται και τα πέντε επίπεδα της δομής του μοντέλου “C-T-A”. Το σύστημα αυτό, όπως προαναφέρθηκε γνωρίζει τις σχετικές θεραπείες που χρειάζεται να γίνουν. Και στα δυο μοντέλα, οι θεραπείες και οι επιπτώσεις μοντελοποιούνται με παρόμοιο τρόπο όπως και οι αιτίες. Αυτό αποτελεί ισχυρό στοιχείο αναπαράστασης. Το γεγονός

ότι προστέθηκε ο χρονικός συλλογισμός [26], έχει περιορίσει ένα σημαντικό σύνολο από λάθη που γίνονταν προηγουμένως όπως για παράδειγμα, συμπεράσματα με μακροχρόνια χρονιότητα από την προτεινόμενη αιτία ή αδιαφορία για τις πιθανές αιτίες, επειδή κάποιο μέρος της αιτιολογικής αλυσίδας δεν ήταν πλέον αληθινό. Επιπρόσθετα, οι καρδιολόγοι είναι ευχαριστημένοι με τις υποθέσεις που παράγονται από το σύστημα HDP, καθώς θεωρούν ότι έχουν νόημα και δεν αποκαλύπτουν οποιεσδήποτε ανεπάρκειες στη διαδικασία του χρονικού συλλογισμού. Ο τομέας των καρδιακών παθήσεων επιτρέπει ένα καλό πεδίο δοκιμής για την ανάπτυξη του χρονικού συλλογισμού σε ένα διαγνωστικό πλαίσιο, καθώς υπάρχει μια ευρεία ποικιλία από χρονικές καταστάσεις που απαιτούν ρητό συλλογισμό για κατάλληλο χειρισμό. Επομένως, υπάρχει η προσδοκία ότι οι εμπειρίες στον τομέα αυτό, μπορούν να μεταβιβαστούν σε διάφορα άλλα πεδία. Παράλληλα, μέσω του χρονικού συλλογισμού στην εφαρμογή του HDP, η δημιουργία των διαγνωστικών επεξηγήσεων γίνεται πιο αποτελεσματική παρεμποδίζοντας τον πολλαπλασιασμό των ασυμβίβαστων χρονικών δυνατοτήτων [8]. Ο χρόνος αναπαριστάται μέσω των χρονικών διαστημάτων “onset”, “delay” και “max-exist” και οι σχέσεις μεταξύ τους φαίνονται πιο πάνω στο Σχήμα4.2. Η αιτιολογική σχέση τώρα, αναπαριστάται μέσω του Bayesian πιθανολογικού δικτύου, το οποίο όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι ένα αιτιολογικό δίκτυο με πιθανότητες, αφού κυρίαρχη σχέση είναι αυτή της αιτιότητας. Οι χρονικοί περιορισμοί εκφράζονται σε σχέση με τους αιτιολογικούς συνδέσμους [8]. Διασφαλίζοντας ότι το Bayesian δίκτυο είναι πιστό στην αίσθηση της αιτιολογίας, προκύπτει η διαβίβαση των βρόγχων στο δίκτυο, οι οποίοι δεν είναι συνεπείς με τα μαθηματικά ενός Bayesian δικτύου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το σύστημα HDP να χρησιμοποιεί ένα ψευδό-Bayesian πιθανολογικό δίκτυο [59]. Παρόλο που οποιαδήποτε συγκεκριμένη υπόθεση δεν έχει βρόγχους διαβίβασης, η βάση γνώσης έχει. Για την επίτευξη συλλογισμού σε ένα τέτοιο δίκτυο, είναι απαραίτητες οι ευρετικές μέθοδοι [57]. Σε κάθε διαβούλευση, οι κόμβοι του αιτιολογικού δικτύου ορίζονται με την πιο πρόωρη και την πιο πρόσφατη αρχή και τέλος σε σχέση με το χρονικό σημείο αναφοράς πχ “now”. Επίσης, υπάρχει ένα μοναδικό αιτιολογικό δίκτυο που 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, επιλέγεται η χρήση μιας αιτιολογικής αναπαράστασης δικτύου με πιθανότητες στις συνδέσεις [54,55]. Στο παθοφυσιολογικό μοντέλο των

καρδιαγγειακών και σχετικών συστημάτων (περίπου 200 κόμβοι) υπάρχει ένας αριθμός από βρόγχους διαβίβασης στο δίκτυο, οι οποίοι το καθιστούν αδύνατο να ορίσει ένα συνεπές σύνολο πιθανοτήτων στους κόμβους. Για αυτό, και όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, σε μια συγκεκριμένη υπόθεση δεν υπάρχουν βρόγχοι διαβίβασης, αλλά υπάρχει μια συνεπής ερμηνεία της ολοκληρωτικής πιθανότητας.

4.3 Χρονική Δομή Παρακολούθησης (Temporal Control Structure – “TCS”)

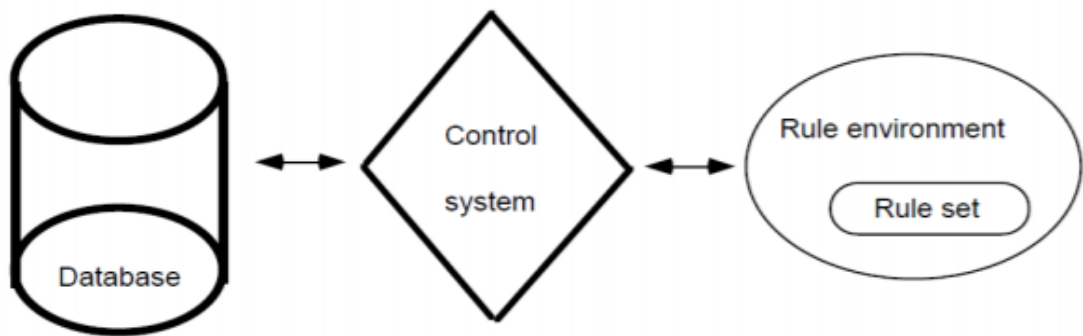
Ο Russ πρότεινε ένα σύστημα βασισμένο σε δεδομένα και σχεδιασμένο για τη δημιουργία έξυπνων, χρονικών προγραμμάτων ελέγχου και το χειρισμό προβλημάτων που αναπτύσσονται στο σχεδιασμό ενός έξυπνου συστήματος για τη χρήση σε μια μονάδα εντατικής θεραπείας. Το σύστημα αυτό ονομάστηκε από τον Russ ως μια χρονική δομή παρακολούθησης (Temporal Control Structure – “TCS”). Η δημιουργία του συστήματος αυτού, 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. Στην περίπτωση που ένα σύστημα έχει ως στόχο να τηρήσει έναν ακριβή απολογισμό της κατάστασης ενός ασθενή, τότε είναι αναπόφευκτες οι αναπροσαρμογές γνώσης. Με την έννοια της υστερινής γνώσης, εννοούμε τη χρήση πρόσφατων διαθέσιμων πληροφοριών για την αναθεώρηση των προηγούμενων αποφάσεων. Η διαδικασία αυτή, συνήθως γίνεται με πληροφορίες που διατρέχονται σε μεταβλητές μνήμης πίσω στο χρόνο, οι οποίες μπορούν να μεταφέρουν δεδομένα από μια μονάδα σε μια επιτυχημένη ή προηγούμενη μονάδα διαστήματος. Αν δεν είχαν τη δυνατότητα να μεταφέρουν δεδομένα, τότε δεν θα μπορούσε να υπάρχει συλλογισμός για μια αλλαγή. Για αυτό λοιπόν, η χρήση της υστερινής γνώσης στα έμπειρα συστήματα, απαιτεί απαραίτητη προσοχή στις χρονικές σχέσεις των δεδομένων η οποία επιδεικνύεται στην αναπροσαρμογή των αποφάσεων. Για παράδειγμα, ένα τυπικό σενάριο είναι η παροχή ενός φάρμακου σε ένα ασθενή σχεδιασμένο για να υπερνικήσει τα συμπτώματα που έχει, τα οποία αποτελούν αποτέλεσμα παραπλανητικής αρχικής διάγνωσης. Έτσι, επανεξετάζονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την αρχική διάγνωση και την αξιολόγηση τους, καθώς τα αναμενόμενα αποτελέσματα δεν επιτεύχθηκαν με την πάροδο του χρόνου [4]. Με περισσότερα δεδομένα είναι εφικτή μια πιο ακριβής αξιολόγηση της κατάστασης ενός ασθενή καθώς επίσης, υπάρχει

δυνατότητα προσδιορισμού και επίλυσης αβεβαιοτήτων, εικασιών και λαθών που δημιουργούνται αρχικά κατά τη διάρκεια της κλινικής πορείας του ασθενή.

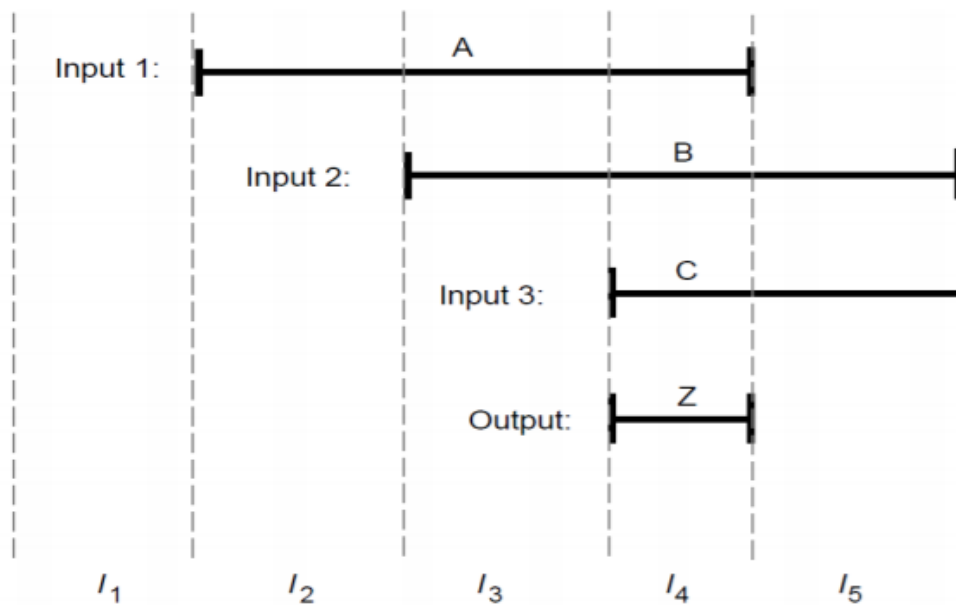
Η εφαρμογή του “TCS”, παρέχει το σχεδιασμό των μονάδων συλλογισμού που λειτουργούν σε δεδομένα, τα οποία περιέχονται σε μεταβλητές και αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου. Στο πλαίσιο του συστήματος αυτού, υπάρχει η δυνατότητα αναθεώρησης των αποφάσεων, έτσι ώστε να λαμβάνονται υπόψη τα νέα δεδομένα και τα δεδομένα που αλλάζουν σύμφωνα με την πορεία της κλινικής κατάστασης του ασθενή. Στο σύστημα “TCS”, τα δεδομένα είναι οργανωμένα και φυλάγονται σε μεταβλητές που ορίζονται από το χρήστη στη βάση δεδομένων και γίνεται συλλογισμός πάνω σε ομοιογενή διαστήματα για συστατικά μέρη τα οποία επίσης ορίζονται από το χρήστη στις μονάδες οι οποίες λειτουργούν στις μεταβλητές. Κάθε μονάδα μπορεί να επικοινωνεί με μια άλλη μονάδα μέσω μεταβλητών και ορίζει τις εισόδους και εξόδους της. Οι μεταβλητές που αντιπροσωπεύουν τις εισόδους και εξόδους, περιγράφουν την εξάρτηση των δεδομένων της μονάδας. Μέσω της δήλωσης των εξαρτήσεων αυτών, το σύστημα “TCS” μπορεί να προγραμματίζει την εκτέλεση των μονάδων ως ανταπόκριση στις αλλαγές των δεδομένων. Επιπλέον, κάθε μονάδα έχει τη δυνατότητα να μπορεί να υπολογίσει οποιαδήποτε συνάρτηση των επιθυμητών εισόδων της και να μεταφέρει τα αποτελέσματα στις μεταβλητές εξόδους της. Με τη χρήση μιας εσωτερικής κατάστασης, μια μονάδα μπορεί να επηρεάσει τη δική της εκτέλεση. Οι διαδικασίες συσχετίζονται με τις μονάδες, καθώς με την εκτέλεση μιας διαδικασίας δημιουργείται μια νέα διαδικασία για κάθε μονάδα. Το σύστημα ελέγχου, είναι υπεύθυνο για τη διασφάλιση ότι όλες οι μονάδες λειτουργούν στα τρέχοντα δεδομένα, καταγράφοντας τις καταστάσεις. Έτσι, με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται ο προγραμματιστής στην περίπτωση αλλαγής των δεδομένων, να μην χρειαστεί να προβεί σε αλλαγές. Παράλληλά, η δομή ελέγχου εξετάζει την εσωτερική κατάσταση των μονάδων, έτσι ώστε οι αλλαγές στην κατάσταση να μπορούν να ωθήσουν την επανεκτέλεση μιας μονάδας συλλογισμού [45]. Η αρμοδιότητα για τη διατήρηση μιας ενημερωμένης περιγραφής της κατάστασης συλλογισμού είναι του χρονοπρογραμματιστή, ο οποίος επιτρέπει τη διόρθωση λανθασμένων δεδομένων, αλλά δεν τον ενδιαφέρει η σειρά με την οποία τα δεδομένα τίθενται στη διάθεση του συστήματος.

Το σύστημα ελέγχου αποτελείται από τρεις βασικές οντότητες στο επίπεδο του χρήστη, τις μεταβλητές, τις μονάδες και τα συστήματα. Οι μεταβλητές και οι μονάδες είναι οργανωμένες στα συστήματα και δεν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών συστημάτων. Στο σύστημα “TCS”, οι μεταβλητές πρέπει να είναι καθορισμένες και χρησιμοποιούνται για να κρατούν πληροφορίες που εξαρτώνται από το χρόνο [45]. Υπάρχουν δύο τύποι χρονικών μεταβλητών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ο ένας τύπος είναι το χρονικό σημείο που συνδέει μια μοναδική χρονική τιμή (πχ. μια ακριβή ημερομηνία) με κάθε δεδομένο και ο άλλος τύπος, τα διαστήματα (χρονικές εκτάσεις στις οποίες οι τιμές είναι έγκυρες) που συνδέουν μια μη μηδενική διάρκεια και έχουν ένα αρχικό και τελικό χρόνο [47]. Οι μεταβλητές δεν έχουν ιδιαίτερους περιορισμούς για τις τιμές που μπορούν να πάρουν, όμως ο χρόνος που συνδέεται με τις τιμές των μεταβλητών πρέπει να διευκρινίζεται επακριβώς. Ο μόνος περιορισμός που υπάρχει, είναι ότι πρέπει να υπάρχει ένα κατηγορημα ισότητα όπως για παράδειγμα η συνάρτηση “equal”. Επίσης, στο σύστημα υπάρχουν καθορισμένα τρία είδη μεταβλητών, “now”, “past” και “future”, τα οποία παρέχουν 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, καθώς το μέρος της τιμής και το μέρος του χρόνου της μεταβλητής είναι τα ίδια. Αφού, η μεταβλητή “now” είναι μεταβλητή ενός σημείου, η τιμή της θα είναι διαθέσιμη μόνο μέσα στο διάστημα το οποίο περιέχει το σημείο. Στη συνέχεια, οι μεταβλητές “past” και “future” έχουν την τιμή έστω t_1 το διάστημα από το πλην άπειρο στον τρέχοντα χρόνο και την τιμή t_2 από τον τρέχοντα χρόνο στο συν άπειρο. Με τη χρήση των μεταβλητών αυτών, θα επιτευχθεί η τμηματοποίηση της διαδικασίας 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. Για αυτό λοιπόν, η γνώση του τρέχοντος χρόνου και η ικανότητα αναγνώρισης του συλλογισμού στο παρελθόν με αυτού στο μέλλον είναι ιδιαίτερα σημαντική. Πιο συγκεκριμένα, στο μέλλον υπάρχει πιθανότητα να αλλάξουν οι ενέργειες, ενώ οι επεξηγήσεις μπορούν να αλλάξουν σε οποιοδήποτε χρόνο. Στην περίπτωση όπου οι τιμές των μεταβλητών αλλάξουν, η δομή της εξάρτησης δεδομένων βεβαιώνει ότι όλες οι επηρεασμένες μονάδες εκτελούνται και οι καινούριες τιμές της μεταβλητής ελέγχονται σε σχέση με τις παλιές τιμές για να σταματήσει η παραγωγή τιμών μόλις καμία άλλη αλλαγή δεν ανιχνεύεται.

Η «αφαιρετικότητα μιας κατάστασης» όπως αποκαλείται, αποτελεί σημαντικό μέρος της μεθοδολογίας του συστήματος “TCS”. Κάθε τέτοιου είδους αφαιρετικότητα, 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 να έχουν μια συγκεκριμένη τιμή. Τα διαστήματα αφαιρετικής κατάστασης είναι παρόμοια με τις καταστάσεις του συστήματος VM, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν ως σκανδάλες (triggers) για τους κανόνες του VM που είναι βασισμένες σε πλαίσια [8]. Σύμφωνα με το Σχήμα 4.3 πιο κάτω, μπορούμε να δούμε ότι το σύστημα “TCS”, λειτουργεί σαν ένας ρυθμιστής παρακολούθησης του συστήματος μεταξύ της βάσης δεδομένων και του κανόνα περιβάλλοντος. Στο σύστημα “TCS”, οι πραγματικές διαδικασίες συλλογισμού (πχ. συγκεκριμένοι κανόνες ενός πεδίου) ενεργοποιούνται από το σύστημα πάνω σε όλα τα διαστήματα τα οποία αναπαριστούν τέτοιες σταθερές καταστάσεις και έτσι μπορούν να κάνουν συλλογισμό και στις περιπτώσεις όπου οι κανόνες δεν αναπαριστούν ρητά το χρόνο. Η αγνόηση του χρόνου από τους κανόνες είναι επιτρεπτή, αφού σύμφωνα με 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 έτσι ο χρόνος δεν αποτελεί πλέον τον κύριο παράγοντα. Στο Σχήμα 4.4, φαίνεται ένα παράδειγμα από ένα σύνολο προτάσεων 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.

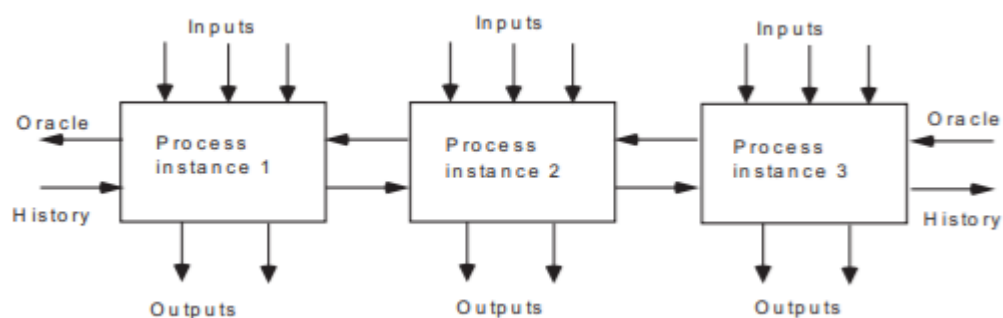


Σχήμα 4.3 Το περιβάλλον του κανόνα του συστήματος “TCS”. Ένα σύστημα παρακολούθησης εισάγεται μεταξύ της βάσης δεδομένων του συστήματος και του περιβάλλοντος στο οποίο ερμηνεύονται οι κανόνες του χρήστη [46].



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, TOTE Z [46].

Σε ένα “TCS” σύστημα, η χρονική δομή παρακολούθησης των συστατικών του στοιχείων, αντιστοιχεί σε ένα διακριτό μοντέλο χρόνου. Τα χρονικά διαστήματα είναι απαραίτητο να είναι σαφή, έτσι ώστε να αποτρέπεται η διακλάδωση στο συλλογισμό σε δρομολογημένο χρόνο. Για κάθε χρονικό διάστημα, δημιουργείται μια διαδικασία στο οποίο εκτελείται μια μονάδα. Όλα αυτά, έχουν πρόσβαση μόνο στα δεδομένα εισόδου που εμφανίζονται σε αυτό το χρονικό διάστημα. Επιπρόσθετα, το σύστημα “TCS”, έχει τη δυνατότητα να αλυσοδέσει τις διαδικασίες χρησιμοποιώντας μεταβλητές μνήμης. Όλοι οι υπολογισμοί της διαδικασίας εξετάζονται από το σύστημα ως μαύρα κουτιά [8]. Επιπλέον, η εφαρμογή “TCS” , είναι υπεύθυνη έτσι ώστε αυτοί οι υπολογισμοί να εφαρμοστούν στις κατάλληλες μεταβλητές, στα κατάλληλα χρονικά διαστήματα και για την αναβάθμιση τους, πρέπει η τιμή οποιασδήποτε μεταβλητής εισόδου να αλλάξει [8]. Επίσης, είναι απαραίτητη η δήλωση της εσωτερικής πληροφορίας μιας κατάστασης που χρησιμοποιείται σε περισσότερες από μια περιπτώσεις διαδικασιών. Η εσωτερική πληροφορία μιας κατάστασης, είναι είτε πληροφορία από το παρελθόν (μεταβλητές ιστορίας) είτε πληροφορία που προέρχεται από μελλοντικές διαδικασίες (μεταβλητές πρόβλεψης). Οι περιπτώσεις μιας διαδικασίας οι οποίες διαμορφώνουν μαζί με τη χρονική ιστορία μιας συγκεκριμένης μονάδας στην εκτέλεση, επικοινωνούν μεταξύ τους με τη χρήση του μηχανισμού της ιστορίας και της πρόβλεψης (oracle). Στο Σχήμα 4.5, φαίνεται 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 ιστορίας (oracle) μιας κατάστασης.



Σχήμα 4.5 Αναπαράσταση μιας αλυσίδας διαδικασιών στο σύστημα “TCS” [8].

Συγκριτικά με άλλες εργασίες στον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης, το σύστημα “TCS” δεν δίνει έμφαση 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. Αντίθετα, το σύστημα “TCS” θεωρεί ότι ο χρόνος για τα δεδομένα είναι διαθέσιμος και ότι ο βαθμός οποιασδήποτε περιόδου εγκυρότητας μπορεί να υπολογιστεί με ακρίβεια. Συνεπώς το σύστημα του Russ, υποστηρίζει συλλογισμό σε χρονικά προσανατολισμένα πεδία επιτρέποντας στις εξαρτώμενες από το πεδίο συμπερασματικές διαδικασίες να αγνοούν χρονικά θέματα. Οι χρονοσφραγίδες που είναι συνδεδεμένες με τιμές μετρήσιμων μεταβλητών, αποτελούν ένα τέτοιου είδους παράδειγμα [46]. Επιπλέον, υπάρχουν ιατρικές εφαρμογές οι οποίες με τη βοήθεια μιας χρονικά προσανατολισμένης βάσης δεδομένων για την αναζήτηση αιτιολογικών σχέσεων, χρησιμοποίησαν την ερμηνεία κλινικών δεδομένων με τη χρήση χρονικών μοντέλων [11] και το πρόγραμμα VM [19] το οποίο αξιολογεί τα δεδομένα και τις τάσεις με την πάροδο του χρόνου και ελέγχει τη μεταβίβαση μεταξύ των καταστάσεων στη μηχανική θεραπεία των εξαιρεσθήρων. Παρόλα αυτά, το πρόγραμμα VM έχει το μειονέκτημα να μην μπορεί να αναθεωρήσει τα συμπεράσματα όταν οι πληροφορίες καθυστερούν να φτάσουν. Έτσι, με το σύστημα “TCS”, το πρόβλημα αυτό λύνεται, με την προσθήκη της ικανότητας να αναθεωρεί παλαιές πληροφορίες και να διαχειρίζεται τα δεδομένα που φτάνουν χωρίς χρονολογική σειρά. Παράλληλα, η διάταξη για την προδιαγραφή των διαδικασιών αποφάσεων είναι πιο εύχρηστη από τη μορφή που χρησιμοποιείται στο VM και η οποία βασίζεται σε κανόνες. Επομένως, το σύστημα του Russ χρησιμοποιείται για χρονικά προβλήματα όπως η δυνατότητα ορθής χρήσης δεδομένων που φτάνουν χωρίς χρονολογική σειρά και η ορθή ενσωμάτωση των αλλαγών σε προηγούμενα αναφερόμενα δεδομένα. Η διαδικασία αναβάθμισης των πληροφοριών είναι μια επιλεκτική διαδικασία, η οποία γίνεται ανάλογα με τις εξαρτήσεις των δεδομένων διαδίδοντας τις αλλαγές μέχρι που το σύστημα φτάσει σε μια ήπια κατάσταση.

Η ανάλυση του συστήματος “TCS” σε σχέση με το “C-T-A” μοντέλο δεν ισχύει για την προσέγγιση του συστήματος “TCS”. Συμπερασματικά, το σύστημα “TCS” είναι ένα χρονικό σύστημα συντήρησης αντίθετα με ένα σύστημα χρονικού συλλογισμού, καθώς δεν έχει γνώση των χρονικών ιδιοτήτων των παραμέτρων του πεδίου και δεν έχει

σημασιολογία για διαφορετικούς τύπους προτάσεων όπως για παράδειγμα των γεγονότων. Μια αυτοματοποιημένη διαδικασία ελέγχου, θεωρεί χρήσιμο ένα αληθινό σύστημα συντήρησης το οποίο μπορεί να τροποποιήσει τη χρονική έκταση των συμπερασμάτων και να αλλάξει τη χρονική επιμονή (persistence) των μεταβλητών. Η χρονική δομή παρακολούθησης “TCS”, διαχειρίζεται και αναβαθμίζει τις πληροφορίες [46], διαμορφώνοντας μια διαδικασία ως ένα δίκτυο μονάδων, όπου η κάθε μια ενημερώνει την αλήθεια των προτάσεων ή τις τιμές των μεταβλητών με την πάροδο του χρόνου. Οι είσοδοι και οι έξοδοι των διάφορων μονάδων είναι διασυνδεδεμένοι και έχουν χρονική επέκταση. Για αυτό λοιπόν, τα πρόσφατα δεδομένα έχουν την ικανότητα να επηρεάσουν τη διάρκεια των συμπερασμάτων σε άλλες μονάδες. Έτσι, το σύστημα “TCS” μπορεί αν συντηρεί μια βάση δεδομένων και παράλληλα να αναβαθμίζει αυτόματα τις αποφάσεις οι οποίες βασίζονται σε πληροφορίες που αλλάζουν. Τα δεδομένα μπορούν να φυλάγονται είτε ως γεγονότα ενός χρονικού σημείου, είτε ως σαφή χρονικά διαστήματα σταθερής κατάστασης για συγκεκριμένα πλαίσια κανόνων τα οποία διατηρούνται από το ίδιο το σύστημα. Η χρονική δομή παρακολούθησης “TCS”, με την επισήμανση της δομής εξάρτησης, μπορεί να βεβαιώσει την πλήρη διάδοση των πληροφοριών καθώς φτάνουν ή αλλάζουν. Παρόλα αυτά, το “TCS”, δεν ασχολείται με τον χρονικό συλλογισμό αλλά αφήνει τις λειτουργίες του εκφρασμένες στη γλώσσα προγραμματισμού Lisp που δημιουργούνται από το χρήστη. Για αυτό και το σύστημα “TCS”, αποτελεί μια ακραία περίπτωση, καθώς δεν εκτελεί κάποιο χρονικό συλλογισμό ο οποίος εξαρτάται από το πεδίο. Ωστόσο, εκτελεί μια ικανοποιήσιμη ποσότητα χρονικής, διαχειριστικής εργασίας η οποία είναι ανεξάρτητη του πεδίου για να βεβαιωθεί ότι ο χρήστης δεν χρειάζεται να ανησυχήσει για το χρόνο. Συνεπώς, θα μπορούσαμε να το χαρακτηρίσουμε ως ένα σύστημα υποστήριξης χρονικού συλλογισμού. Σε σύγκριση με άλλα ιατρικά συστήματα ελέγχου, το σύστημα “TCS” διαφέρει ως προς την αναβάθμιση των πληροφοριών και το χειρισμό δεδομένων τα οποία δεν φτάνουν σε χρονολογική σειρά. Η χρονική αναπαράσταση που χρησιμοποιεί στη δομή ελέγχου του, είναι ακέραιοι αριθμοί συμπεριλαμβανομένων και των διακριτών τιμών πλην άπειρο και συν άπειρο, οι οποίες αναπαριστούν την αρχή και το τέλος της χρονικής γραμμής αντίστοιχα. Οι πιο πολλές άλλες εργασίες αναφορικά με το χρονικό συλλογισμό, σχετίζονται με την ανάπτυξη γενικών αναπαραστάσεων για το χρόνο ή το συλλογισμό για τις χρονικές σχέσεις μεταξύ δεδομένων που εμφανίζονται σε διαφορετικούς χρόνους [48]. Μπορούμε να διαπιστώσουμε λοιπόν, ότι η έρευνα

σχετικά με το πρόβλημα του χειρισμού δεδομένων που φτάνουν με την πάροδο του χρόνου ή στον τρόπο που γίνεται η αναβάθμιση των υπαρχόντων συμπερασμάτων όταν τα παλαιότερα δεδομένα αλλάζουν, δεν είναι ιδιαίτερη.

4.4 Διαγνωστική, Χρονική Απαγωγική Αρχιτεκτονική των Console και Torasso (Console and Torasso's Temporal Abductive Diagnostic Architecture)

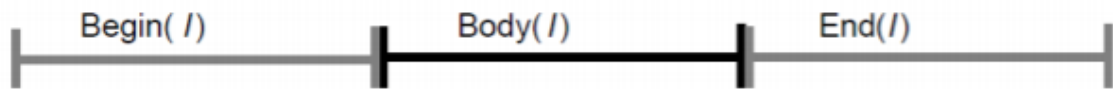
Ο Console και ο Torasso προτείνουν μια χρονική απαγωγική αρχιτεκτονική βασισμένη στην λογική και συγκεκριμένα στη χρήση ενός παθοφυσιολογικού μοντέλου για τη διαγνωστική επίλυση ιατρικών προβλημάτων, όπου αναπαριστώνται ρητά οι αιτιολογικές και χρονικές σχέσεις [10]. Η αρχιτεκτονική αυτή, αποτελεί μια επέκταση του αιτιολογικού στοιχείου του μη χρονικού διαγνωστικού συστήματος CHECK [8,12,13], το οποίο έχει εφαρμοστεί στους τομείς της κίρρωσης και της λέπρας. Σε ένα τέτοιου είδους επεκτάσιμο πλαίσιο, η συνεργασία μεταξύ του απαγωγικού και χρονικού συλλογισμού είναι αναγκαίο να είναι στενή για να επιλυθούν τα διαγνωστικά προβλήματα με τον πιο σωστό τρόπο. Με βάση το φορμαλισμό που βασίζεται σε αιτιολογικά δίκτυα, οι Console και Torasso, αποφασίζουν τον τύπο με τον οποίο μπορούν να αναπαρασταθούν ρητά οι χρονικές πληροφορίες όπως επίσης και τον αντίκτυπό τους στο χαρακτηρισμό των διαγνωστικών προβλημάτων. Αναφορικά με την αναπαράσταση του χρόνου στα αιτιολογικά μοντέλα, υπάρχει ο περιορισμός ότι η αρχή μιας επίδρασης δεν μπορεί να προηγηθεί της αρχής της αιτιολογίας [10]. Ως πρωταρχικά αντικείμενα χρησιμοποιήθηκαν τα χρονικά σημεία και τα διαστήματα ορίζονται ως «κυρτά», δηλαδή συνεχόμενα σύνολα χρονικών σημείων. Επιπλέον, εμφανίζονται άλλα δυο είδη σημαντικών χρονικών οντοτήτων, οι χρονικές επεκτάσεις των κόμβων και οι χρονικές καθυστερήσεις, οι οποίες αντιστοιχούν σε δύο πολύ διαφορετικές μορφές γνώσης. Οι χρονικές επεκτάσεις των κόμβων αποτελούν μέρος της πραγματικής γνώσης που χαρακτηρίζει μια συγκεκριμένη περίπτωση προς ανάλυση, ενώ οι χρονικές καθυστερήσεις αποτελούν μέρος της γενικής γνώσης που αναπαριστάται σε ένα αιτιολογικό μοντέλο και αποτελεί το βασικό μηχανισμό για την υποβολή του περιορισμού ότι το αποτέλεσμα δεν μπορεί να προηγηθεί της αιτίας.

Στην αρχιτεκτονική τους, 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. Συγκεκριμένα, η πρότασή τους είναι η επιλογή ενός υποσυνόλου του γενικού συνόλου περιπτώσεων παρατηρήσεων για κάλυψη, ενώ το συμπλήρωμα της περάτωσης των παρατηρήσεων με τις παρατηρήσεις να είναι συνεπές με τη λύση. Η έννοια του χρόνου θεωρητικά αφαιρείται από την πρόταση αυτή, έτσι ώστε να απλοποιείται ο υπολογισμός της περάτωσης των παρατηρήσεων. Σύμφωνα με το υποσύνολο των παρατηρήσεων που θα επιλεγεί, το οποίο θεωρείται και το πιο κρίσιμο βήμα με βάση τους Console και Torasso, μπορούν να διατυπωθούν διαφορετικές έννοιες κάλυψης και επομένως μπορεί να διατυπωθεί η λογική της επεξήγησης η οποία κυμαίνεται να είναι είτε πολύ περιοριστική, αφού τα πάντα πρέπει να καλυφτούν όπως για παράδειγμα οι παρατηρήσεις της λειτουργικότητας και της δυσλειτουργικότητας, είτε πολύ χαλαρή, αφού δεν χρειάζεται να καλυφτεί τίποτα. Για την επιλογή της «καλύτερης» επεξήγησης, εισηγούνται την ελαχιστοποίηση των δυσλειτουργικών υποθέσεων ή της επαγωγικής ελαχιστοποίησης (minimality by implication).

Στον τομέα της ιατρικής, θεωρείται αρκετά δύσκολο να έχει κανείς πρόσβαση σε ακριβείς χρονικές πληροφορίες όπως για παράδειγμα, οι παρατηρήσιμες πληροφορίες (χρονική τοποθεσία των συμπτωμάτων) και ο χρόνος που χρειάζονται οι παθοφυσιολογικές διαδικασίες για την παραγωγή αποτελεσμάτων. Για το λόγο αυτό, στις περιπτώσεις όπου η γνώση που αφορά κάποιο χρονικό σημείο στο οποίο ένα διάστημα ξεκινά και τελειώνει δεν είναι ολοκληρωμένη, δημιουργήθηκε η έννοια του μεταβλητού διαστήματος. Ένα μεταβλητό διάστημα, έστω J_v είναι μια πλειάδα από τέσσερα χρονικά σημεία (t_1, t_2, t_3, t_4) . Το ζευγάρι των χρονικών σημείων $[t_1, t_2]$ θεωρείται η αρχή του διαστήματος J_v και ονομάζεται $\text{begin}(J_v)$, ενώ το ζευγάρι $[t_3, t_4]$ θεωρείται το τέλος του διαστήματος J_v και ονομάζεται $\text{end}(J_v)$. Με βάση τον τρόπο αυτό, το αρχικό ή το τελικό σημείο μιας χρονικής επέκτασης J είναι αόριστα για αυτό και επιτρέπεται η αναπαράσταση της απόλυτης χρονικής αβεβαιότητας όπως συμβαίνει και στο HDP σύστημα [8]. Το μοντέλο των Console και Torasso [10,11], αποτελείται από χρονικά διαστήματα και σχεδιάστηκε για την αναπαράσταση αιτιολογικών μοντέλων για διαγνωστικό συλλογισμό. Όρισαν ένα μεταβλητό διάστημα I , το οποίο αποτελείται 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 είναι το $\text{body}(I)$ και το τρίτο είναι το $\text{end}(I)$ όπως φαίνονται και στο Σχήμα

4.6. Το $\text{body}(I)$, είναι το μοναδικό που θεωρείται πάντα ότι η πρόταση που αναπαριστάται από αυτό ισχύει. Η σχετικότητα του χρονικού μοντέλου τους, βασίζεται στη διάγνωση βασιζόμενη σε αιτιολογικά, παθοφυσιολογικά μοντέλα [10] και η χρήση του μοντέλου αυτού για κλινικές διαγνώσεις χρησιμοποιεί απαγωγικό συλλογισμό.

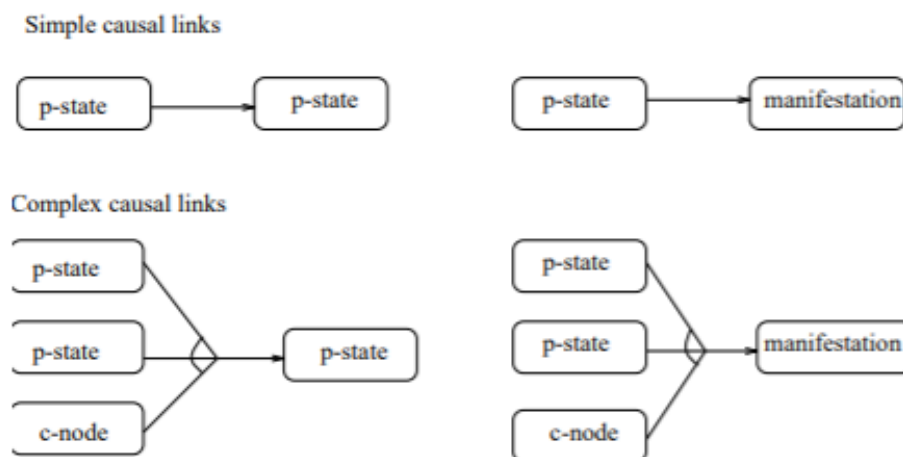


Σχήμα 4.6 Το I αντιπροσωπεύει ένα μεταβλητό διάστημα. Τα μεταβλητά διαστήματα αποτελούνται από ένα ορισμένο σώμα και από αβέβαια αρχικά και τελικά σημεία τα οποία αναπαριστώνται ως διαστήματα [11].

Σύμφωνα με την πρόταση των Console και Torasso, η διαγνωστική γνώση 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 [8]. Κάποιες από τις καθυστερήσεις αυτές, περιλαμβάνουν μικτές μονάδες χρόνου όπως για παράδειγμα, το ελάχιστο μια ώρα και το μέγιστο μια μέρα. Η γνώση που αφορά τη σχέση των παθοφυσιολογικών καταστάσεων και των παρατηρήσιμων εκδηλώσεων τους, μπορεί να παρουσιαστεί μέσω του αιτιολογικού δικτύου. Οι κόμβοι σε ένα αιτιολογικό δίκτυο, ορίζουν συμπεράσματα όπως για παράδειγμα, εκδηλώσεις, αρχικές και ενδιάμεσες παθοφυσιολογικές καταστάσεις (p-states) καθώς και περιεκτικές πληροφορίες (c-nodes). Οι εκδηλώσεις και οι περιεκτικές πληροφορίες παρατηρούνται άμεσα, ενώ οι παθοφυσιολογικές καταστάσεις δεν είναι παρατηρήσιμες με εξαίρεση κάποιων αρχικών καταστάσεων. Επίσης, κάποιες από τις καταστάσεις αυτές ορίζουν διαγνώσεις. 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), είναι εφικτό να μοντελοποιηθούν οι παρατηρήσιμες συνθήκες (πχ. οι εκδηλώσεις). Κάθε χαρακτηριστικό έχει μια ξεχωριστή τιμή, η οποία δηλώνει τη λειτουργική τιμή του συμπεράσματος όπως για παράδειγμα είναι η τιμή που συνδέεται με τη λειτουργική συμπεριφορά του μοντελοποιημένου συστήματος. Οι υπόλοιπες γλωσσολογικές τιμές δηλώνουν τις

δυσλειτουργικές, παθολογικές τιμές του συμπεράσματος και αντιστοιχούν σε εξωτερικές εκδηλώσεις των παθολογικών καταστάσεων στο δίκτυο. Με την αρχικοποίηση ενός κόμβου, συνεπάγεται η ανάθεση τιμών στα χαρακτηριστικά του και τον καθορισμό των χρονικών του επεκτάσεων ως ένα χρονικό μεταβλητό διάστημα.

Στην αρχιτεκτονική των Console και Torasso, υπάρχουν δυο τύποι αιτιολογικών συνδέσμων, οι απλοί και οι σύνθετοι. Στη συνέχεια στο Σχήμα 4.7 διαφαίνονται οι τύποι αιτιολογικών συνδέσμων που προαναφέρθηκαν, των οποίων όλοι οι αιτιολογικοί σύνδεσμοι είναι απλού τύπου. Κάθε αιτιολογικό τόξο σε ένα δίκτυο, σχετίζει ένα προκείμενο με ένα συμπέρασμα το οποίο αποτελεί είτε μια p-state είτε μια εκδήλωση. Στην πιο απλή μορφή, ένα προκείμενο είναι συνήθως μια μοναδική p-state, αλλά μπορεί να είναι και ένας σύνδεσμος από p-states και c-nodes με τουλάχιστον μια p-state. Στις περιπτώσεις όπου περιλαμβάνονται σύνθετα αιτιολογικά προκείμενα, οι πληροφορίες καθυστέρησης ερμηνεύονται με αδύνατο τρόπο, ή σαν καθυστέρηση μεταξύ του πρώτου σημείου στο χρόνο, όπου όλα τα στοιχεία στο προηγούμενο καθώς και το ξεκίνημα του επακόλουθου κρατούνται, ή με ισχυρό τρόπο, ως ξεχωριστές καθυστερήσεις μεταξύ του ξεκινήματος κάθε συνδέσμου του προηγούμενου και του επακόλουθου. Σύμφωνα με τον ιατρικό διαγνωστικό συλλογισμό, η απαγωγική προσέγγιση υποστηρίζει ότι μέσω των αποτελεσμάτων είναι εφικτή η εξεύρεση των αιτιών. Η αδύνατη ερμηνεία βρίσκεται πιο κοντά στον ανθρώπινο συλλογισμό, αλλά δεν είναι υπολογιστικά εφικτή, αντίθετα με την ισχυρή ερμηνεία, η οποία είναι περιορισμένη αλλά είναι υπολογιστικά εφικτή. Ακόμη, μέσω της αδύνατης ερμηνείας υπάρχει η δυνατότητα να καθοριστεί η χρονική επέκταση μιας εικονικής κατάστασης που ορίζει τη συνύπαρξη διάφορων κόμβων που εμπλέκονται. Ανάλογα, μέσω της ισχυρής ερμηνείας, μπορεί να υπολογιστεί με βάση τη χρονική επέκταση 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 [8].

Οι Console και Torasso, υποστηρίζουν ότι η αναπαράσταση της αιτιολογικής σχέσης είναι πλούσια από τη μη χρονική έννοια παρά από τη χρονική έννοια. Σχετικά με τη χρονική πλευρά, οι χρονικές έννοιες ενός αιτιολογικού τόξου είναι απλές και περιοριστικές. Θεωρούνται απλές, καθώς περιλαμβάνουν μόνο πληροφορίες καθυστερήσεων και περιοριστικές, επειδή μια αιτία πρέπει να επικαλύψει μια επίδραση. Κάθε 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 καθορίζεται κάπου αν η συνθήκη αυτή περιέχει επιπλέον περιορισμούς. Σε ένα τόξο εμπλέκονται διάφορες συσχετίσεις μεταξύ του συνδυασμού κόμβος-χαρακτηριστικό-τιμή των προηγούμενων κόμβων του προκειμένου και του συνδυασμού του ζευγαριού χαρακτηριστικό-τιμή του επακόλουθου κόμβου συμπεράσματος. Το αιτιολογικό τόξο ανακαλείται, στην περίπτωση όπου καμία από τις πιο πάνω συσχετίσεις δεν ικανοποιείται. Επίσης, μπορούν να υπάρξουν πολλαπλά αιτιολογικά τόξα με απλούς ή σύνθετους κόμβους, οι οποίοι μοιράζονται τον ίδιο επακόλουθο κόμβο συμπεράσματος.

Έχοντας ολοκληρώσει την ανάλυση της πρότασης των Console και Torasso, μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι η διαγνωστική, χρονική απαγωγική αρχιτεκτονική που προτείνουν δεν μπορεί να υποστηρίξει το “C-T-A” μοντέλο.

Αντιθέτως με το σύστημα HDP, το οποίο λαμβάνει υπόψη τις θεραπευτικές ενέργειες, το επίπεδο των θεραπευτικών ενεργειών στη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική απουσιάζει. Επιπρόσθετα, η αρχιτεκτονική τους υποστηρίζει την 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. Επιπλέον, οι χρονικοί περιορισμοί εκφράζονται ως διαστήματα καθυστέρησης μεταξύ της εμφάνισης των αιτιών και των αποτελεσμάτων. Οι Console και Torasso αναφέρουν ότι η αναπαράσταση των πληροφοριών ενός ασθενή κρίνεται περιοριστική. Ο λόγος είναι ο περιορισμός της έκφρασης των 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 την εξάλειψη του περιορισμού αυτού, οι Console και Torasso προτείνουν τη χρήση μη κυρτών (non-convex) χρονικών διαστημάτων κάτι το οποίο αποτελεί σημαντική αναθεώρηση της πρότασής τους. Παράλληλα, στο πεδίο της διαγνωστικής γνώσης απουσιάζει η περιοδικότητα, αφού το αιτιολογικό δίκτυο δεν είναι κυκλικό και κάθε ασθένεια δεν μοντελοποιείται ξεχωριστά με βάση το δικό της αιτιολογικό μοντέλο. Τέλος, η πρόταση τους δεν υποστηρίζει τη χρονική αφαιρετικότητα δεδομένων όπως είναι οι χρονικές τάσεις, αλλά ούτε τα σύνθετα περιστατικά.

4.5 Μοντέλο CASNET (causal-associational network model)

Το σύστημα CASNET, βασίζεται στη γνώση με στόχο να βοηθήσει στην εξέλιξη και θεραπεία των ασθενών με γλαύκωμα [8]. Με τον όρο γλαύκωμα, αναφερόμαστε σε ένα αριθμό χρόνιων συνθηκών του ματιού στον τομέα της ιατρικής, κάτι το οποίο αποτελεί κύρια αιτία τύφλωσης στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Αν δεν γίνει κατάλληλη διαχείριση του γλαυκώματος, τότε υπάρχει περίπτωση να παρουσιαστεί ανεπανόρθωτη απώλεια όρασης. Το γλαύκωμα, θεωρείται μια από τις πιο περίπλοκες περιπτώσεις, η οποία δεν ανταποκρίνεται καλά σε συμβατικές θεραπείες και αναφέρεται συχνά για ειδικές διαβουλεύσεις. Έτσι λοιπόν, το σύστημα CASNET χρησιμοποιείται από τους παθολόγους για τέτοιες περιπτώσεις, ως ένα διαβουλευτικό σύστημα.

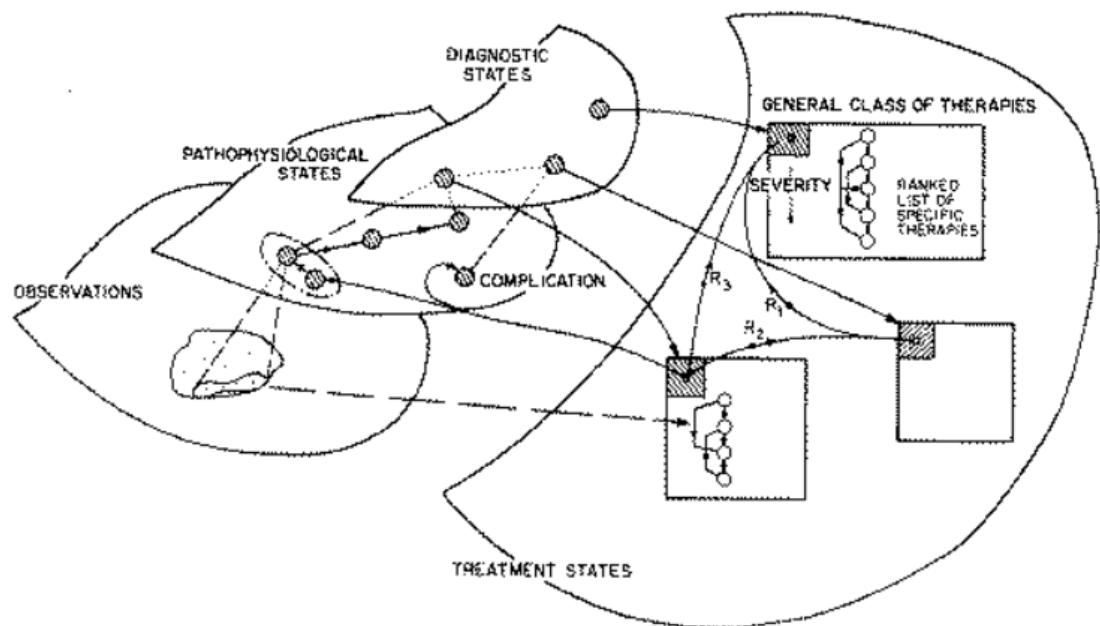
Μέσω του αιτιολογικού συλλογισμού, αποκτάται βαθειά γνώση για ένα πεδίο (πχ. παθοφυσιολογία, ανατομία) και έτσι η διαδικασία λήψης αποφάσεων γίνεται πιο εύκολη. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του αιτιολογικού συλλογισμού, είναι η δυνατότητα περιγραφής της εξέλιξης κάποιας ασθένειας στη πάροδο του χρόνου, συλλογισμού και αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ασθενειών και της κατανόησης συγκεκριμένων μηχανισμών. Το σύστημα CASNET, αποτελεί το πρώτο ιατρικό, έμπειρο σύστημα που βασιζόταν σε αιτιολογικές εντολές. Στο σύστημα αυτό, αναπτύχθηκε ο αιτιολογικός συσχετιστικός φορμαλισμός του δικτύου, με αποτέλεσμα να παραχθεί η χρήση μιας εννοιολογικής δομής για την αναπαράσταση διαδικασιών της ασθένειας. Έτσι, το εννοιολογικό δίκτυο του CASNET, θεωρείται ένας ειδικός τύπος μιας τέτοιας αναπαράστασης, δηλαδή ως ένα εννοιολογικό δίκτυο [60]. Παρόλο που το σύστημα CASNET χρησιμοποιεί ένα δίκτυο από καταστάσεις που σχετίζονται αιτιολογικά και ορίζει τις ασθένειες ως μονοπάτια, πρωταρχικός του μηχανισμός είναι η τοπική διάδοση των βαρών πιθανότητας.

Το δίκτυο του CASNET από παθοφυσιολογικές καταστάσεις αναπαριστά τη γνώση του και σχεδιάστηκε για να βοηθήσει στη διάγνωση του γλαυκώματος. Το δίκτυο αυτό, καθορίζει τη λεπτομερή δυσλειτουργία της φυσιολογίας (όχι ολοκληρωμένες ασθένειες), ένα σύνολο από δοκιμές, οι οποίες παρέχουν τις αποδείξεις για την πιθανότητα ύπαρξης αυτών των υπό εξέταση καταστάσεων που παρέχουν και τους αιτιολογικούς συνδέσμους μεταξύ των καταστάσεων, οι οποίοι παρέχουν υποκειμενική αξιολόγηση των πιθανοτήτων μετάβασης της ασθένειας που προχωρά από μια κατάσταση σε άλλη. Στη συνέχεια, κάθε ασθένεια παρουσιάζεται ως ένα πιθανό σχέδιο από αιτιολογικές σχετικές καταστάσεις. Πριν από τη διάγνωση, είναι απαραίτητο να επιβεβαιωθούν ή να απορριφθούν οι μεμονωμένες παθοφυσιολογικές καταστάσεις και στη συνέχεια να συσχετιστούν τα σχέδια των καταστάσεων με αυτά που περιγράφηκαν για κάθε ασθένεια. Βασικά, στο σύστημα CASNET, όλος ο συλλογισμός του είναι πιθανολογικός στο επίπεδο δοκιμής, επιβεβαίωσης ή άρνησης των καταστάσεων στο δίκτυο. Πρώτα, χρησιμοποιείται η αιτιολογική γνώση για τη διάδοση πιθανολογικών βαρών για τον καθορισμό της πιο κατάλληλης επόμενης κατάστασης προς έρευνα. Ακολούθως, αν και το πρόγραμμα μπορεί να υποθέσει ταυτόχρονα την παρουσία των πιθανολογικών καταστάσεων, δεν θα μπορεί να υποθέσει ρητά την παρουσία ή την

απουσία της αιτιολογικής σχέσης μεταξύ των καταστάσεων. Οι υποθετικές διαγνώσεις δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το πρόγραμμα, αφού το πρόγραμμα διαχωρίζει τις διαδικασίες συλλογής πληροφοριών από αυτήν του προσδιορισμού της πιθανότερης ασθένειας. Επιπλέον, μεγάλο ποσοστό του προγράμματος στηρίζεται στην ικανότητα της άμεσης επιβεβαίωσης ή άρνησης των περισσότερων παθοφυσιολογικών καταστάσεων από τις δοκιμές. Για αυτό λοιπόν, οι τεχνικές που αναπτύχθηκαν για το συγκεκριμένο πρόγραμμα, δεν είναι εύκολα επεκτάσιμες σε προγράμματα για ευρύτερα πεδία της ιατρικής.

Η ιεραρχική οργάνωση της βάσης γνώσης του αποτελεί ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του συστήματος CASNET. Στο πιο χαμηλό επίπεδο του βρίσκονται τα σημεία, τα συμπτώματα και οι έλεγχοι των ασθενών. Στο μεσαίο επίπεδο βρίσκονται οι παθοφυσιολογικές καταστάσεις όπως είναι για παράδειγμα το κερατοειδούς οίδημα και η ανυψωμένη ενδοφθάλμια πίεση. Και τέλος, στο υψηλότερο επίπεδο γνώσης βρίσκονται οι κατηγορίες των ασθενειών όπως είναι το ανοικτής γωνιάς γλαύκωμα (open angle glaucoma), το δευτερογενές γλαύκωμα κλπ. Οι διασυνδέσεις μεταξύ των επιπέδων, αντιπροσωπεύουν άμεσες αιτιολογικές σχέσεις, επιτρέποντας στις υψηλότερου επιπέδου ασθένειες να αντιμετωπιστούν ως συναθροίσεις των ευρημάτων ενός ασθενή και των παθοφυσιολογικών καταστάσεων. Ο συλλογισμός πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ένα μονοπάτι από τα ευρήματα στην ασθένεια, εξετάζοντας τους κόμβους που υπάρχουν στο μονοπάτι με βάση τον υπολογισμό της πιθανής τιμής για τον καθένα και μετά ακολουθώντας το υψηλότερο πιθανό μονοπάτι. Το μοντέλο CASNET 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 δεξί μάτι ή η μέτρηση της ενδοφθάλμιας πίεσης. Όλα αυτά τα στοιχεία συσχετίζονται μεταξύ τους λογικά με βάση τους παρατηρήσιμους περιορισμούς. Το δεύτερο σύνολο, αποτελείται από τις παθοφυσιολογικές καταστάσεις που περιγράφουν τις εσωτερικές, δυσλειτουργικές συνθήκες ή μηχανισμούς που μπορούν να προκαλέσουν άμεσα τα παρατηρήσιμα φαινόμενα και που συνήθως παρουσιάζουν μια ομάδα παρατηρήσεων. Οι παθοφυσιολογικές καταστάσεις αυτές, συσχετίζονται με ένα δίκτυο το οποίο αποτελείται από σχέσεις της μορφής «αιτία-επίδραση», έστω $s_i \rightarrow (a_{ij}) \rightarrow s_j$ όπου a_{ij} αντιστοιχεί στο βαθμό της αιτιολογικής σύνδεσης μεταξύ των καταστάσεων

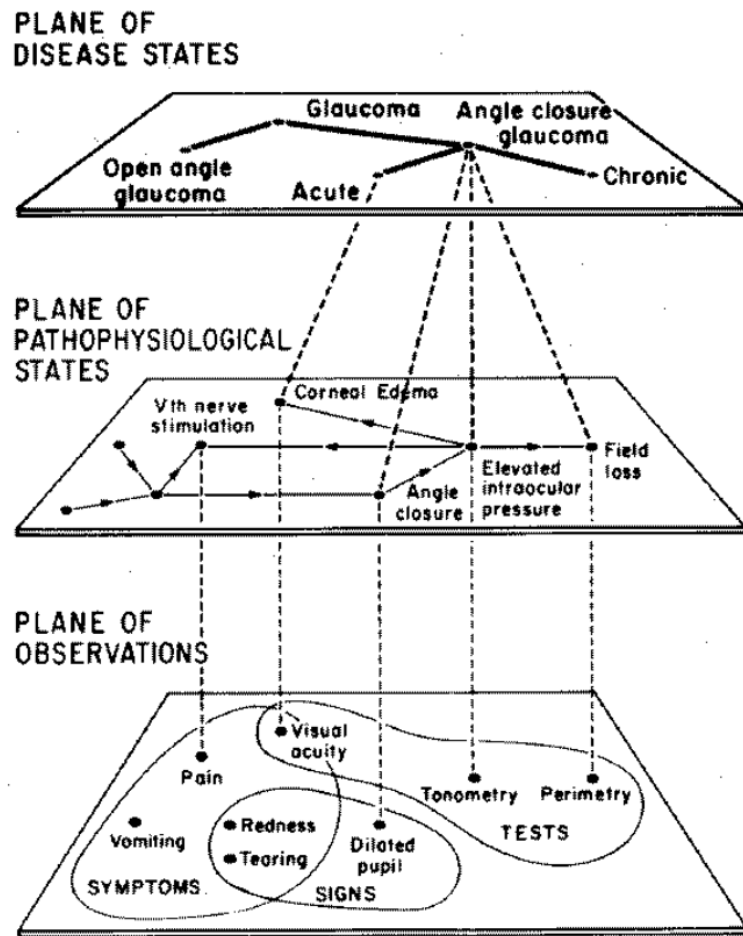
s_i και s_j . Κάποια παραδείγματα, είναι η ανυψωμένη ενδοφθάλμια πίεση και η γλαυκωματώδης απώλεια οπτικών πεδίων. Το τρίτο σύνολο, περιλαμβάνει τις καταστάσεις της ασθένειας οι οποίες ορίζονται στο υψηλότερο επίπεδο αφαιρετικότητας και μπορούν να εντάξουν ένα μοντέλο παθοφυσιολογικών καταστάσεων. Μεγάλη έμφαση δίνεται στον ορισμό μιας ασθένειας σε σχέση με τα αιτιολογικά μονοπάτια καταστάσεων. Τέτοιοι ορισμοί είναι για παράδειγμα, το “acute angle closure glaucoma” και το “ciliary block mechanism”. Το τέταρτο και τελευταίο σύνολο, αποτελείται από 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. Παράλληλα, οι θεραπείες συσχετίζονται με τις παθοφυσιολογικές καταστάσεις και τις ασθένειες που καλύπτουν. Πιο κάτω στο Σχήμα 4.8 διαφαίνονται τα τέσσερα σύνολα στοιχείων του μοντέλου CASNET, μαζί με μερικούς συνδέσμους από το φυσιολογικό συστατικό στοιχείο του.



Σχήμα 4.8 Το μοντέλο CASNET για τις διαδικασίες μιας ασθένειας και θεραπείας [61].

Η μοντελοποίηση του σχήματος του συστήματος CASNET, εξελίσσεται από το 1972 και αποτελείται από περιγραφικά και φυσιολογικά στοιχεία αναμιγμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να υιοθετηθούν δυναμικές στρατηγικές δημιουργίας αποφάσεων

χωρίς να χρειαστεί να θυσιαστεί η γενικότητα της περιγραφής των διαδικασιών μιας ασθένειας. Με τις στρατηγικές αυτές, δηλώνεται το συμπέρασμα μιας παθοφυσιολογικής κατάστασης με ένα καθορισμένο 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. Οι αιτιολογικοί κανόνες του συστήματος CASNET είναι του τύπου στεροειδή φάρμακα => αυξανόμενη ενδοφθάλμια πίεση. Σημαντικό αποτελεί το γεγονός 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 πιο πάνω κανόνες, παράγονται με ένα δυναμικό, έμμεσο τρόπο μέσω των περιγραφικών σχέσεων των στοιχείων από τις γενικές στρατηγικές, με σκοπό τη διερμηνεία συγκεκριμένων ευρημάτων ενός ασθενή. Το σχήμα του CASNET γενικεύτηκε και επεκτάθηκε σε ένα πιο πρόσφατο έμπειρο σύστημα. Στο Σχήμα 4.9 φαίνεται το παράδειγμα γλαυκώματος τριών επιπέδων περιγραφής της ασθένειας. Στην περίπτωση που φαίνεται στο Σχήμα 4.9, ιχνογραφείται ένα αιτιολογικό μονοπάτι το οποίο αντιστοιχεί στο angle closure glaucoma και δείχνει τις συνδέσεις με τα παρατηρήσιμα δεδομένα. Καταλήγουμε στο ότι το μοντέλο CASNET, αποτελείται από ένα περιγραφικό συστατικό στοιχείο το οποίο παρέχει ένα χαρακτηρισμό των διαδικασιών της ασθένειας και κατασκευάζεται σε τρία επίπεδα, τις παρατηρήσεις, τις παθοφυσιολογικές καταστάσεις και τις 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 [61].



Σχήμα 4.9 Παράδειγμα των τριών επιπέδων της περιγραφής μιας ασθένειας στο οποίο έγινε αφαιρετικότητα από το μοντέλο CASNET [61].

Μπορεί να διαπιστωθεί ότι το μοντέλο CASNET αντίθετα με άλλες εφαρμογές, παρά τους περιορισμούς που παρουσιάζει, επιτυγχάνει ένα υψηλό επίπεδο απόδοσης. Συγκρίνοντας το τώρα με το “C-T-A” μοντέλο, φαίνεται ότι δεν καλύπτει και τα πέντε επίπεδα του. Ένα συχνό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν τα ιατρικά διαγνωστικά συστήματα είναι, ότι δεν έχουν την ικανότητα να συλλογιστούν την πορεία μιας ασθένειας ή να δώσουν συμβουλή για τη θεραπεία των ασθενών μετά από πολλαπλές επισκέψεις. Το μοντέλο CASNET, μπορεί να διαχειριστεί κάποια από τα θέματα αυτά, παρόλο που δεν τα επιλύει περιεκτικά και στερείται ενός ποσοτικού μοντέλου του χρόνου. Συγκεκριμένα, διαχειρίζεται πολλαπλές επιστροφές επίσκεψης ενός ασθενή φυλάγοντας όλες τις παλαιές πληροφορίες σε μια βάση δεδομένων από την οποία μπορούν να είναι προσβάσιμα τα στοιχεία στην πορεία. Επιπλέον, μέσω αυτής της

βάσης δεδομένων, κρίνονται οι αλλαγές ή το ποσοστό της αλλαγής των φυσιολογικών παραμέτρων, των κλινικών εκδηλώσεων και η σχέση τους με τις διεργασίες θεραπείας. Για αυτό το λόγο, τα χρονικά θέματα μιας ασθένειας κρίνονται σημαντικά στη διαδικασία του κλινικού συλλογισμού. Οι αιτιολογικές σχέσεις είναι εξίσου σημαντικές στην επεξήγηση και δικαιολογία του κλινικού συλλογισμού με βάση τους παθοφυσιολογικούς μηχανισμούς. Η γνώση για το γλαύκωμα επιτρέπει την επεξήγηση των περισσότερων από τα παρατηρήσιμα φαινόμενα σε σχέση με αρκετά ικανοποιητικά αιτιολογικά μοντέλα. Το σύστημα CASNET, αποτελεί ένα από τα πρώτα διαγνωστικά συστήματα που χρησιμοποίησε την αιτιολογία. Το γεγονός ότι το πρόγραμμα CASNET χρησιμοποιεί ένα λεπτομερές παθοφυσιολογικό μοντέλο, αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με άλλα προγράμματα ως προς τον χαρακτηρισμό της εξέλιξης μιας ασθένειας και την αποδοτική χρήση της γνώσης για την επιλογή της θεραπείας. Επίσης, το σύστημα CASNET, παρέχει σύντομη αιτιολογική επεξήγηση για τα παρατηρούμενα ευρήματα και λαμβάνει υπόψη τις επιπτώσεις της τρέχουσας θεραπείας στις διαγνωστικές παρατηρήσεις. Όσον αφορά τη θεραπεία του γλαυκώματος, κατά τη διάρκεια που ο ασθενής υποβάλλεται στη θεραπεία μπορεί να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα του φαρμάκου, ενώ παράλληλα, επαναξιολογούνται καινούριοι εξεταζόμενοι παράγοντες και η πιθανότητα τροποποίησης της υπάρχουσας διάγνωσης. Στο σύνολο αυτών των παραγόντων, είναι οι παρενέργειες, οι περιπλοκές της ασθένειας για τις οποίες η τρέχουσα θεραπεία δεν είναι αποτελεσματική, οι συνθήκες που δεν ανιχνεύθηκαν κατά τη διάρκεια των αρχικών επισκέψεων, ολόκληρο το παλαιό ιστορικό και η επαναξιολόγηση ενός συνόλου από ενημερωμένα αποτελέσματα. Η τρέχουσα διαγνωστική κατάσταση, το παλαιό ιστορικό και οι επιθυμητές και αναμενόμενες εκβάσεις του ασθενή, αποτελούν κάποιους από τους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη λήψη απόφασης για τη θεραπεία. Παρόλο που το σύστημα CASNET δεν αναπαριστά μετρήσεις του χρόνου, το αιτιολογικό δίκτυο χαρακτηρίζει την εξέλιξη των ασθενειών μέσω μιας σειράς καταστάσεων. Μέσα από μια σειρά επισκέψεων, η κατάσταση ενός ασθενή μπορεί είτε να βελτιωθεί μέσω κάποιας θεραπείας, είτε να επιδεινωθεί σε σημείο που απαιτείται να γίνουν αλλαγές στη θεραπεία. Συνοπτικά, το σύστημα CASNET, βασίζεται στη γνώση για τη διάγνωση και τον ορισμό θεραπείας σε ασθενείς που υποφέρουν από γλαύκωμα. Η διάγνωση που κάνει βασίζεται σε ένα πολλαπλής βαθμίδας ταξινομικό μοντέλο. Αρχικά, οι παρατηρήσεις ταξινομούνται σε παθοφυσιολογικές καταστάσεις, που με τη σειρά τους

χαρτογραφούνται στις διαγνώσεις σε διαφορετικά επίπεδα γενικότητας. Η αναπαράσταση των καταστάσεων μιας ασθένειας οι οποίες είναι ενδιάμεσες μεταξύ των παρατηρήσεων και των διαγνωστικών κατηγοριών γίνεται μέσω ενός αιτιολογικού δικτύου. Το δίκτυο αυτό, μοντελοποιεί ρητά τη συμπεριφορά, αλλά όχι την ανατομική δομή και αναπαριστά την πρόοδο μιας ασθένειας μέσω πολλαπλών φυσιολογικών καταστάσεων. Το σύστημα CASNET χρησιμοποιεί το δίκτυο αυτό, για να μοντελοποιήσει τη χρονική πορεία μιας ασθένειας και της επανάληψης των θεραπειών των ασθενών σε πολλαπλές επισκέψεις. Αναφορικά με τις υποθέσεις, το αιτιολογικό μοντέλο συνοψίζει τα ευρήματα και καθοδηγεί τη δημιουργία των διαγνωστικών και των προγνωστικών υποθέσεων. Οι υποθέσεις αυτές μπορεί να είναι είτε απλές, για παράδειγμα «πολύ ανυψωμένη ενδοφθάλμια πίεση», είτε σύνθετη όπως για παράδειγμα «χρόνιο angle closure glaucoma». Κάθε υπόθεση, περιλαμβάνει τροποποιήσεις με τις οποίες διευκρινίζεται περαιτέρω μια συνθήκη από την ένταση, τη διάρκεια, την πρόοδο, την τοπογραφική διανομή της και άλλα χαρακτηριστικά στοιχεία. Παράλληλα, η δήλωση μιας υπόθεσης περιλαμβάνει μια ποιοτική, λεκτική εκτίμηση του βαθμού επιβεβαίωσής της. Οι δηλώσεις αβεβαιότητας των πολλαπλών διαγνωστικών υποθέσεων στον εσωτερικό συλλογισμό, εκφράζονται με πιθανότητες ή αριθμητικά βάρη και όχι με ποιοτικούς όρους όπως για παράδειγμα είναι οι όροι, «πιθανόν», «δυνατόν», «σχεδόν καθορισμένο» κλπ. Το γεγονός ότι το σύστημα συλλογίζεται για την πιθανολογική αιτιώδη προτεραιότητα στην εκτέλεση μιας διάγνωσης, δείχνει ότι στο σύστημα CASNET υπάρχει χρονική αβεβαιότητα. Λόγω του ότι το σύστημα δεν μπορεί να γνωρίζει το συγκεκριμένο χρόνο των γεγονότων, ο χρονικός συλλογισμός που μπορεί να εκτελέσει περιορίζεται σημαντικά. Συνεπώς, το σύστημα CASNET εκτελεί χρονικό συλλογισμό κάτω από αβεβαιότητα.

Κεφάλαιο 5

Διεργασία της κλινικής διάγνωσης

5.1 Κύκλος Διάγνωσης-Θεραπείας	72
5.2 Τεκμηρίωση της σημασίας της αιτιολογικής σχέσης	73
5.3 Τεκμηρίωση της σημασίας του χρόνου	76
5.4 Τεκμηρίωση της σημασίας της ικανότητας συλλογισμού αναφορικά με τις θεραπευτικές ενέργειες που αναφέρονται στο ιστορικό του ασθενή	80
5.5 Συσχετισμός των εννοιών της αιτιότητας, του χρόνου και των θεραπευτικών ενεργειών	82

5.1 Κύκλος Διάγνωσης-Θεραπείας

Ο κύκλος Διάγνωσης-Θεραπείας [25] για την αντιμετώπιση μιας ασθένειας βασίζεται στην αλληλουχία, παρατήρηση, αιτιολόγηση-διάγνωση και δράση-θεραπεία, όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 5.1. Πιο συγκεκριμένα, ο ιατρός συλλέγει πληροφορίες για τον ασθενή όπως είναι το ιστορικό του, αποτελέσματα φυσιολογικών, εργαστηριακών ή και απεικονιστικών εξετάσεων κλπ, τις οποίες συνδυάζει με την εμπειρία του, και επιστημονικά άρθρα στον τομέα της ιατρικής, καθώς και με τη συνολική εικόνα του ασθενή, έτσι ώστε να καταλήξει στη διάγνωση και στη συνέχεια να χορηγήσει την απαραίτητη θεραπευτική αγωγή. Όλη αυτή η διαδικασία, αποτελεί μέρος της διαδικασίας λήψης απόφασης και η οποία καταλήγει στη διάγνωση. Ακολούθως, σύμφωνα με τη διάγνωση κατασκευάζεται η ανάλογη θεραπευτική αγωγή και όταν ολοκληρωθεί η θεραπευτική αγωγή ο ασθενής βρίσκεται σε θέση να ακολουθήσει την κατάλληλη θεραπεία. Ο κύκλος Διάγνωσης-Θεραπείας, επαναλαμβάνεται ανάλογα με το αποτέλεσμα της θεραπείας στον ασθενή.



Σχήμα 5.1 Κύκλος Διάγνωσης-Θεραπείας [31].

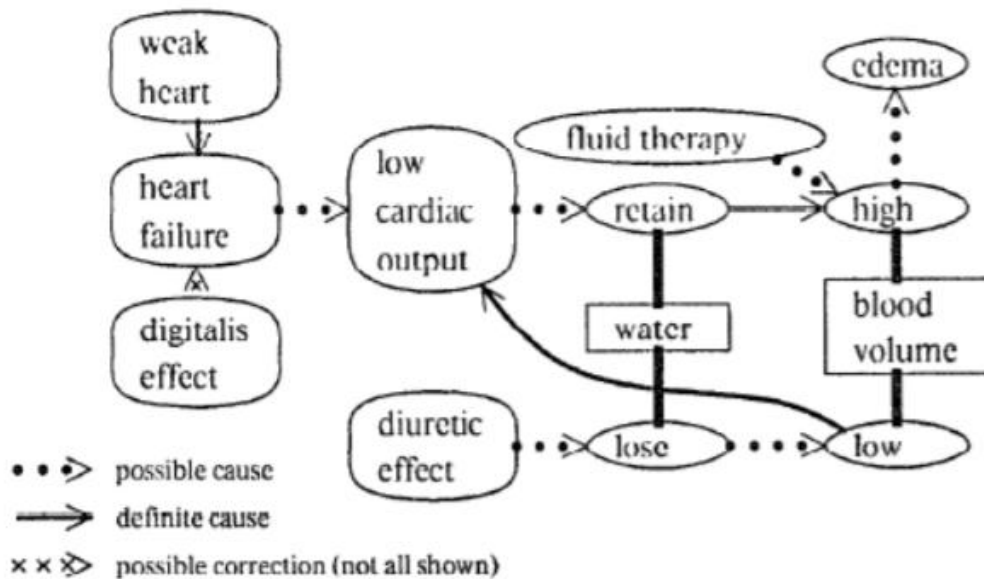
5.2 Τεκμηρίωση της σημασίας της αιτιολογικής σχέσης

Στον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης στην Ιατρική, η έννοια της αιτιολογίας είναι πολύ σημαντική για αυτό και έχει γίνει αρκετή δουλειά με σκοπό να καθοριστεί η ισχυρή σχέση που υπάρχει μεταξύ της αιτιολογίας και του χρόνου [20]. Δεδομένου ότι οι διαδικασίες πραγματοποιούνται με την πάροδο του χρόνου, ο υπολογισμός των σχέσεων αλλαγών είναι απαραίτητος για την κατανόηση των διαδικασιών. Σημαντικό κομμάτι στο συλλογισμό της κοινής λογικής, αποτελεί η γνώση για την έννοια της αιτιολογίας. Η ανάλυση του τύπου «αιτία και επίδραση» είναι η πιο συχνή ανάλυση που κάνουμε για να καταλάβουμε για παράδειγμα για ποιο λόγο κρυολογήσαμε. Αν η έννοια της αιτιολογίας είναι απαραίτητο μέρος στο συλλογισμό και μπορεί να επηρεάσει τα καθημερινά γεγονότα, τότε μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως μια χρήσιμη έννοια στη διαδικασία μιας επίσημης θεωρίας διάγνωσης [34]. Ο αιτιολογικός συλλογισμός, πέρα από το να ταξινομεί την ασθένεια κάποιου ασθενή σε μια κύρια διαγνωστική κατηγορία και από το να κατανοεί συγκεκριμένους μηχανισμούς που εμπλέκονται σε μια συγκεκριμένη έκφραση της ασθένειας, 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. Επιπρόσθετα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξηγήσει το συλλογισμό των προγραμμάτων και να δικαιολογήσει με κατανοητό τρόπο τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγει. Ουσιαστικά, ο αιτιολογικός συλλογισμός κτίζει ένα φυσιολογικό μοντέλο και αξιολογεί τα συμπεράσματα για ένα ασθενή με στόχο να υπάρχει πληρότητα και συνοχή ενάντια στο μοντέλο, καθώς επίσης, είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός στην επαλήθευση των διαγνωστικών υποθέσεων.

Στην αιτιολογία, οι παράγοντες που επηρεάζουν μια συγκεκριμένη παράμετρο είναι περιορισμένες και η κάθε μια μπορεί να αναπαρασταθεί κατάλληλα, για αυτό είναι προτιμότερο να γίνεται συλλογισμός σε σχέση με ένα κλειστό πεδίο από πιθανές επιρροές. Ακόμη, κάποιες από τις σχέσεις «αιτία - επίδραση» είναι μόνο πιθανολογικές στην παρούσα κατάσταση της ιατρικής γνώσης και αναπαριστώνται, όσο επιτρέπεται, χωρίς τη χρήση των πιθανοτήτων [20]. Επιπλέον, η περιοχή της αιτιολογίας εξουσιάζεται από σταθερά συστήματα ανατροφοδότησης, με αποτέλεσμα η τάση των συστημάτων να επιστρέφουν σε σταθερές καταστάσεις και να αναπαριστούν μόνο τις επιρροές των δυσλειτουργικών καταστάσεων, να είναι υπολογιστικά λογικότερο να γίνει αποδεκτή. Οι περισσότεροι κανόνες της αιτιολογίας είναι γενικοί, όπως για παράδειγμα ότι όλες οι δυσλειτουργικές καταστάσεις έχουν τις αιτίες τους. Μια επίδραση εξαρτάται από το σύνολο των επιδράσεων και οι αιτίες πρέπει να ξεκινήσουν πριν ή παράλληλα με την επίδραση. Στον τομέα της ιατρικής, οι επιπλέον ιδιότητες που υπάρχουν, αποτελούν βοηθητικούς κανόνες για ένα συλλογισμό, όπως είναι για παράδειγμα, η αιτία και η επίδραση πρέπει να επικαλύπτονται, δηλαδή η αιτία δεν μπορεί να τελειώσει πριν να ξεκινήσει η επίδραση. Επιπρόσθετα, οι αλλαγές μιας κατάστασης πρέπει να είναι από τις παρακείμενες καταστάσεις, δηλαδή αν για παράδειγμα, 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. Όταν, μια αιτιολογία ξεκινήσει, πρέπει να συνεχίσει μέχρι να υπάρξει κάποια αλλαγή είτε στην αιτία, είτε στις ορθές επιδράσεις. Επομένως, αν ο υψηλός όγκος αίματος προκαλούσε οίδημα θα εξακολουθούσε να προκαλεί οίδημα μέχρι η αιτία να έχει αλλάξει. Πιο κάτω στο Σχήμα 5.2 διαφαίνονται οι αιτιολογικές σχέσεις του πιο πάνω παραδείγματος, χωρίς τις χρονικές σχέσεις και τις διορθώσεις [37]. Δεδομένου των αντίστοιχων σχέσεων που αναπαριστώνται από το φορμαλισμό, το

πρόγραμμα είναι σε θέση να διευκρινίσει τι είναι σίγουρα γνωστό σχετικά με τον ασθενή, διαδίδοντας τα ελάχιστα συμπεράσματα από τις αιτιολογικές σχέσεις.



Σχήμα 5.2 Παράδειγμα αιτιολογικών σχέσεων [37].

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

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.

Η αιτιολογική αναπαράσταση, έχει καθοριστικό ρόλο στον ιατρικό συλλογισμό, καθώς μέσα από τις αιτιολογικές σχέσεις παρέχονται τα μέσα για κατανόηση της γνώσης των διεργασιών μιας ασθένειας. Επιπρόσθετα, παρέχεται ένας τρόπος περιγραφής της εξέλιξης μιας ασθένειας με την πάροδο του χρόνου, για την ομαδοποίηση των παρατηρήσιμων συμπτωμάτων σε συγκροτήματα εμπλεκόμενων συμπτωμάτων ως αποτέλεσμα κοινών παθοφυσιολογικών μονοπατιών, όπως επίσης και για την επίτευξη συλλογισμού για τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ ασθενειών και μεταξύ ασθενειών και παλιών θεραπευτικών αλληλεπιδράσεων. Γενικά, η χρήση των αιτιολογικών περιγραφών στα υψηλότερα επίπεδα αφαιρετικότητας θεωρείται χρήσιμη, ειδικότερα όταν η προσδοκώμενη λειτουργική εξάρτηση είναι γνωστή. Για αυτό, και σε υψηλότερα επίπεδα αφαιρετικότητας, η χρήση των αιτιολογικών μοντέλων βοηθά στην καθοδήγηση και εστίαση της αναζήτησης για διαγνώσεις καθώς και στην παραγωγή κατανοητών επεξηγήσεων. Στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα ολοκληρωμένα φυσικά μοντέλα, τα αιτιολογικά μοντέλα αποτελούν τον καλύτερο τρόπο για την τυποποίηση της συμπεριφοράς μιας μηχανικής συσκευής ή ενός φυσικού οργανισμού.

Η αιτιολογία είναι μια δύσκολη έννοια για την συλλάβει κανείς ικανοποιητικά. Παρόλο που 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 διεργασίας η οποία χαρακτηρίζεται καλύτερα από αμοιβαίους αποκλεισμούς. Η έννοια της αιτιότητας θεωρείται σημαντική, καθώς οι χρήστες συνηθίζουν να σκέφτονται σε σχέση με την αιτιότητα και όσο περισσότερο ανταποκρίνεται ο συλλογισμός του συστήματος σε αυτόν του χρήστη, τόσο πιο εύκολο είναι για τον ίδιο να κατανοήσει και να αποδεχτεί τα συμπεράσματα που επιτυγχάνονται.

5.3 Τεκμηρίωση της σημασίας του χρόνου

Μια από τις μεγάλες προκλήσεις στη διαγνωστική επίλυση προβλημάτων αποτελεί η μοντελοποίηση του χρόνου. Η έννοια του χρόνου είναι τόσο κοινή στην καθημερινή μας σκέψη και στις δραστηριότητες μας που έγινε θεμελιώδους σπουδαιότητας στη ζωή μας, τόσο βασικής που υπάρχουν φορές τις οποίες όλος αυτός ο συλλογισμός που βασίζεται στο χρόνο, να περνά απαρατήρητος. Παράλληλα, ο χρόνος αποτελεί ένα μεγάλο και σημαντικό μέρος της ιατρικής γνώσης. Υπάρχουν πολλές ασθένειες, οι οποίες χαρακτηρίζονται από περίπλοκα πρότυπα χρονικών συμπτωμάτων, όπως είναι οι μολυσματικές ασθένειες και οι ασθένειες που παρουσιάζονται για μεγάλο χρονικό διάστημα. Περίπλοκα ιατρικά διαγνωστικά συστήματα χρειάζονται φορμαλισμούς, οι οποίοι να επιτρέπουν τη μοντελοποίηση σύνθετης δυναμικής συμπεριφοράς για αυτό και πολλοί ερευνητές διερεύνησαν το χρονικό συλλογισμό σε σχέση με την επίλυση κάποιου για ένα ιατρικού προβλήματος. Για παράδειγμα, η Κεραυνού [29] περιγράφει το χρονικό διαγνωστικό συλλογισμό βασιζόμενο στα χρονικά αντικείμενα τα οποία ορίζονται σε ένα χρονικά πολυδιάστατο χώρο και αντίστοιχα, στο άρθρο [30] σε συνεργασία με τον Washbrook, δείχνουν τον κεντρικό ρόλο των χρονικών πληροφοριών για την εκτέλεση μιας διάγνωσης στον τομέα των σκελετικών δυσπλασιών.

Αν και το ενδιαφέρον για τις χρονικές πληροφορίες και το χρονικό συλλογισμό στον έλεγχο και στην πρόβλεψη αυξήθηκε [46], οι προσπάθειες που έγιναν στον τομέα της διάγνωσης, στον οποίο τις περισσότερες φορές η διάγνωση εκτελείται κάνοντας συλλογισμό σε στιγμιότυπα, είναι λίγες. Η υπόθεση αυτή 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 μια εβδομάδα στα μέσα του Ιανουαρίου» [10]. Η φύση μιας περίπτωσης ασθένειας μπορεί να ορίσει τη διάγνωση, στην οποία υπάρχει ένα μεγάλο σύνολο χρονικών αναφορών στην περιγραφή των συμπτωμάτων που μπορούν να παρουσιαστούν σε σχέση με ρητές χρονικές αναφορές (πχ. «την προηγούμενη Παρασκευή»). Παρόλα αυτά, υπάρχουν φορές όπου η διάγνωση μπορεί να οριστεί ως μια συλλογή από αλληλένδετα γεγονότα χωρίς ρητή αναφορά στο χρόνο (πχ. «αρχικά αρρώστησα και μετά από αυτό έχω δυνατό πονοκέφαλο και πόνο στο στομάχι»). Τις περισσότερες φορές, ο βαθμός της αβεβαιότητας μπορεί να είναι υψηλός ως προς το

χρόνο και τη σειρά που παρουσιάστηκαν τα γεγονότα όπως για παράδειγμα είναι η φράση «σε κάποια στιγμή κατά τη διάρκεια της νύχτας». Τα χαρακτηριστικά αυτά λοιπόν, αποτελούν ιδιαίτερες προκλήσεις στον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης. Στην ιατρική διάγνωση, το κυρίαρχο παράδειγμα είναι αυτό της απαγωγικής διάγνωσης, καθώς πρωταρχική οντότητα που θα μοντελοποιηθεί είναι η διαδικασία μιας ασθένειας. Το δυνατό σημείο μιας αναπαράστασης θεωρείται το γεγονός ότι οι λειτουργικές και δυσλειτουργικές διαδικασίες μιας ασθένειας μοντελοποιούνται με παρόμοιο τρόπο, καθώς η γνώση για τη λειτουργικότητα είναι απαραίτητο στοιχείο της διαγνωστικής γνώσης. Έτσι, 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.

Η αναπαράσταση του χρόνου και ο χρονικός συλλογισμός αποτέλεσαν σημαντικά ερευνητικά θέματα και έχουν αναπτυχθεί ιδιαίτερα καθώς επίσης και τα αποτελέσματα που είχαν με την εφαρμογή τους σε διάφορα προβλήματα ήταν ικανοποιητικά. Τα συστήματα όπου έχουν δημιουργηθεί, βασίζονται στη ρητή αναπαράσταση του χρόνου, η οποία επιτρέπει το ρητό συλλογισμό με χρονικές έννοιες, για αυτό και βρίσκονται σε θέση να θυμούνται και να ξεχωρίζουν μεταξύ τους τις ιστορικές πληροφορίες με τα τρέχοντα γεγονότα και τις μελλοντικές προβλέψεις. Ακόμη, τα συστήματα αυτά έχουν ως στόχο την εκτέλεση του συλλογισμού τους σε πραγματικό χρόνο, έτσι ώστε να καταλήξουν σε συμπεράσματα ή να αποκαταστήσουν ανεπιθύμητες καταστάσεις όσο το δυνατό γρηγορότερα. Το βασικότερο χαρακτηριστικό που πρέπει να έχει ένα διαγνωστικό σύστημα, είναι να μπορεί να διαχειριστεί τις αλλαγές, δηλαδή να μπορεί να καταλήξει σε μια διάγνωση όχι μόνο από την περιγραφή ενός στιγμιότυπου μιας παρούσας κατάστασης που επικράτησε για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, αλλά από ένα πρότυπο αλλαγών. Τα δεδομένα ενός ασθενή περιλαμβάνουν χρονικά ευρήματα, για αυτό και η διαδικασία της χρονικής αφαιρετικότητας δεδομένων σχετίζεται άμεσα. Κάθε ασθενής έχει το ιστορικό του, το παρόν του, αλλά και ένα άγνωστο μέλλον, τα οποία μεταβάλλονται συνεχώς έτσι, οποιοδήποτε πρόβλημα παρουσιαστεί, μπορεί να επιλυθεί συχνά με βάση τα περιεχόμενα του ιστορικού του. Παράλληλα, ένα διαγνωστικό πρόβλημα δεν αποτελεί μια στιγμιαία δραστηριότητα, αλλά μια δραστηριότητα η οποία μπορεί να εξελίσσεται κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος. Αυτό συμβαίνει, επειδή η απαιτούμενη πληροφορία που

χρειάζεται για να φτάσει κανείς σε μια τελική διάγνωση δεν είναι απαραίτητα αμέσως διαθέσιμη, αλλά ίσως χρειαστεί να ληφθεί μέσω της εκτέλεσης επίμαχων και χρονοβόρων ενεργειών ή απλά περιμένοντας να διαφανεί η εξέλιξη της κατάστασης του ασθενή πριν καταλήξει στα τελικά συμπεράσματα. Η κατάληξη σε ακριβή διαγνωστικά συμπεράσματα δεν αποτελεί αυτοσκοπό, αλλά είναι απλά ένας από τους υποστόχους για μια αποτελεσματική θεραπεία. Συνεπώς, όσο γρηγορότερα καταλήγεις σε διαγνωστικά συμπεράσματα, τόσο καλύτερα για την εφαρμογή της κατάλληλης θεραπείας την κατάλληλη χρονική στιγμή.

Σε μια διάγνωση, οι σημαντικότερες έννοιες είναι οι έννοιες των δεδομένων, των ασθενειών/δυσλειτουργιών και των θεραπευτικών ενεργειών, για τις οποίες η χρονική διάσταση αποτελεί ένα φυσικό χαρακτηριστικό. Τα μοντέλα όπου αποκλείουν το χρόνο, όπως για παράδειγμα το μοντέλο δεδομένων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για την αναπαράσταση δεδομένων που δεν εξαρτώνται από το χρόνο. Όταν αποκλείεται ο χρόνος σε ένα διαγνωστικό μοντέλο, δεν υπάρχει μια πραγματική έννοια 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. Έτσι, αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, όλες οι εκδηλώσεις μιας ασθένειας βασιζόμενες σε ένα τέτοιο μοντέλο, να εμφανίζονται και να εξαφανίζονται την ίδια ώρα. Επιπλέον, εάν όντως μπορεί να ισχύει μια τέτοια περίπτωση για μια ασθένεια, δεν είναι εφικτή η έκφραση της διάρκειας μιας ασθένειας. Ένα μοντέλο ασθενειών που δεν λαμβάνει υπόψη το χρόνο, είναι αντίθετο με την ουσιαστικότερη σημασία των ενεργειών, καθώς μια ενέργεια οργανώνεται και όταν εκτελείται έχει ώρα έναρξης και ώρα τερματισμού και φέρνει συγκεκριμένες αλλαγές [29]. Οι πιο πολλές θεωρίες αναφορικά με το χρόνο, δεν καλύπτουν ικανοποιητικά τις χρονικές απαιτήσεις που σχετίζονται με την ιατρική γνώση και τα δεδομένα ενός ασθενή. Για παράδειγμα, η θεωρία του Allen [2] για το χρόνο και την ενέργεια, δεν αναφέρει τις έννοιες της διάρκειας, της απόλυτης χρονικής αβεβαιότητας ή των πολλαπλών χρονικών μονάδων. Επιπλέον, ο υπολογισμός γεγονότων των Kowalski και Sergot [29] δεν επιτρέπει τη έννοια της ασάφειας σε περιστατικά γεγονότων, ούτε αναφέρει την έννοια των πολλαπλών μονάδων χρόνου. Οι θεωρίες αυτές, παρόλο που δεν αναπτύχθηκαν για να υποστηρίξουν την επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων, αλλά για την υποστήριξη της κατανόησης της φυσικής γλώσσας ή τη χρονική διαχείριση μιας βάσης δεδομένων,

αποτελούν σημαντικές προσπάθειες μοντελοποίησης του χρόνου και ανάπτυξης έρευνας σε αυτή την περιοχή. Για αυτό και απαραίτητη προϋπόθεση για να είναι ικανοποιητική μια χρονική οντότητα για ένα διαγνωστικό πρόβλημα επίλυσης είναι η υποστήριξη των χρονικών απαιτήσεων των διαρκειών, της χρονικής αβεβαιότητας και των πολλαπλών μονάδων του χρόνου.

Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα, ότι ο χρόνος αποτελεί ένα μεγάλο και σημαντικό μέρος των ιατρικών εννοιών και επομένως, και της διεργασίας της κλινικής διάγνωσης για αυτό και χρειάζεται ιδιαίτερο χειρισμό. Με την πάροδο των χρόνων, η συνειδητοποίηση για τη σημαντικότητα του χρόνου και του γεγονότος ότι δεν ήταν απλά μια λεπτομέρεια που ο διαγνωστικός συλλογισμός μπορεί να αγνοήσει αυξήθηκε και αυτό οδήγησε στο να δίνεται περισσότερη έμφαση στη μοντελοποίησης του χρόνου. Στην πορεία, με βάση τα αποτελέσματα των διαγνωστικών συστημάτων αναφορικά με την κλινική διάγνωση, ο χρόνος χρησιμοποιήθηκε με στόχο τη σημαντική αύξηση της απόδοσης.

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

Η διάγνωση αποτελεί το πιο κοντινό σκαλοπάτι προς την εξεύρεση της θεραπείας. Με το συνδυασμό αυτών των εννοιών, διεξάγεται η διεργασία η οποία στοχεύει στη βελτίωση της κατάστασης ενός ασθενή σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Ο χρόνος είναι εξίσου σημαντικός και για τη θεραπεία όπως είναι και για τη διάγνωση και σχετίζεται με πολλά διαγνωστικά προβλήματα. Η επίλυση των προβλημάτων αυτών, μπορεί να επιτευχθεί με την παρακολούθηση του τρόπου που γίνονται οι αλλαγές και όχι με την παρατήρηση ενός στιγμιότυπου σε ένα συγκεκριμένο χρόνο. Η μεταχείριση μιας ασθένειας μπορεί να ορίσει την έννοια της θεραπείας και αναφέρεται στα προκαθορισμένα γενικά σχέδια δράσης που εφαρμόζονται σε κάποιο ασθενή κατά τη διαδικασία της θεραπείας της ασθένειας. Ακόμα και αν υπάρχει κάποιο γενικό σχέδιο για να ακολουθήσει, στην πορεία μπορεί να εμφανιστούν πολλές πιθανότητες και συνδυασμοί γεγονότων, τα οποία να πολλαπλασιάσουν τα πιθανά σχέδια ή τις παραλλαγές. Ωστόσο, θεωρείται χρήσιμος ένας εκ των προτέρων σχεδιασμός για τον προσδιορισμό των πιθανών απροόπτων σχεδίων ανάπτυξης.

Στον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης, ο προγραμματισμός θεωρείται γενικά ένα σχέδιο δράσης που χρειάζεται να καθοριστεί για την επίτευξη ενός στόχου. Στη διαδικασία του προγραμματισμού στην Τεχνητή Νοημοσύνη, περιλαμβάνεται μια περιγραφή του κόσμου όπως είναι τη στιγμή που εφαρμόζεται το σχέδιο. Πιο συγκεκριμένα, 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, καθώς επίσης και τις προκαθορισμένες πιθανές ή σίγουρες επιδράσεις που μπορούν να προκαλέσουν στο περιβάλλον όταν εφαρμοστούν. Βέβαια, για την πραγματοποίηση και αποτελεσματικότητα των πιο πάνω ενεργειών, μπορεί να χρειαστούν κάποιες προϋποθέσεις. Στην περιγραφή του κόσμου, μπορεί να συμπεριλαμβάνονται επίσης διαθέσιμες πηγές, καθώς μπορούν να έχουν καθοριστικό ρόλο σε ένα ρεαλιστικό σχέδιο δράσης.

Σε ένα σύστημα με περισσότερους ασθενείς, παράγονται περισσότερο ακριβή αποτελέσματα σε σχέση με ένα άλλο σύστημα με λιγότερους ασθενείς. Οι εγγραφές των ασθενών, αποτελούν πολύτιμες πληροφορίες για ένα σύστημα βασιζόμενο στη γνώση, καθώς με τα τρέχοντα δεδομένα των ασθενών ενισχύεται και ενδυναμώνεται η ισχύς του συλλογισμού του συστήματος. Έτσι λοιπόν, ένα διαγνωστικό πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί με βάση το ιστορικό ενός ασθενή, το οποίο δίνει εγκαίρως στιγμιότυπα της κατάστασης της υγείας του ατόμου [29]. Κάθε περίπτωση ιστορικού κάποιου ασθενή φυλάγεται σε μια χρονική βάση δεδομένων και περιλαμβάνει εγγραφές της κατάστασης της υγείας του ασθενή στο παρελθόν, στο παρόν και πιθανώς στο μέλλον. Μέσα στη βάση δεδομένων, περιλαμβάνεται μια συλλογή από χρονικούς ισχυρισμούς, συσχετίσεις μεταξύ κάποιας ιδιότητας και ένα χρονικό έγκυρο περιθώριο. Αυτοί οι χρονικοί ισχυρισμοί είναι συγκεκριμένα χρονικά αντικείμενα.

Σύμφωνα με το άρθρο “Abductive diagnosis using time-objects: criteria for the evaluation of solutions” [30], ένα απλό διαγνωστικό σύστημα δεν είναι απαραίτητο να γνωρίζει πώς να σχεδιάζει και να ελέγχει την παράλληλη εκτέλεση των θεραπευτικών ενεργειών. Ουσιαστικά, το σύστημα πρέπει να είναι σε θέση να κατανοεί την έννοια της θεραπευτικής ενέργειας και γενικότερα, την έννοια μιας ενέργειας και της ανάλογης επίδρασής της. Μια θεραπευτική ενέργεια, αναπαριστάται σε σχέση με την ενέργεια ανά δευτερόλεπτο, τις προϋποθέσεις και τις επιδράσεις, τα οποία αποτελούν χρονικά

αντικείμενα [30]. Η ενέργεια σχετίζεται με τις επιδράσεις της μέσω των περιπτώσεων της σχέσης “causes” και οι υπάρξεις των προϋποθέσεων και των άλλων επιδράσεων δίνονται σε σχέση με την ύπαρξη της ενέργειας [29]. Ένα διαγνωστικό σύστημα επίσης, πρέπει να γνωρίζει τις επιδράσεις παλαιών και τρεχόντων ενεργειών και να μπορεί να κατανοεί τις κυριότερες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πιο πάνω ενεργειών και των υποτιθέμενων σφαλμάτων. Η γνώση των προϋποθέσεων των ενεργειών, μπορεί να σχετιστεί με το έργο ενός αρμόδιου για το σχεδιασμό μιας θεραπείας, αλλά όχι με το έργο ενός διαγνωστικού συστήματος.

5.5 Συσχετισμός των εννοιών της αιτιότητας, του χρόνου και των θεραπευτικών ενεργειών

Οι έννοιες της αιτιότητας, του χρόνου και των θεραπευτικών ενεργειών σε μια κλινική διάγνωση είναι οι βασικότεροι παράγοντες στην επίλυση κάποιου διαγνωστικού προβλήματος, για αυτό και πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη. Παράδειγμα για τη σημαντικότητα της ύπαρξης των τριών αυτών παραγόντων είναι η περίπτωση διερεύνησης μιας υπόθεσης στην οποία μια αναμενόμενη εκδήλωση δεν παρουσιάστηκε. Η μόνη εξήγηση που μπορεί να δοθεί σε ένα τέτοιου είδους περιστατικό, είναι ότι η πιο πάνω εκδήλωση πρόκειται να συμβεί στο μέλλον δεδομένης της κατάστασης της εξέλιξης μιας συγκεκριμένης ασθένειας. Ωστόσο, υπάρχουν ιατρικά πεδία, όπου δεν απαιτούν αναγκαστικά και τους τρεις αυτούς παράγοντες, καθώς η απλή συσχετιστική γνώση μιας δυσλειτουργίας που εξετάζεται θεωρείται αρκετή. Σε τέτοιου είδους περιπτώσεις, ο χρόνος και οι θεραπευτικές ενέργειες δεν λαμβάνονται υπόψη, ενώ η αιτιότητα εμφανίζεται με ένα αρκετά αφαιρετικό τρόπο.

Η σχέση μεταξύ της έννοιας του χρόνου και της αιτιολογίας είναι ισχυρή, καθώς σύμφωνα και με τους περισσότερους ερευνητές ισχύει ο ακόλουθος περιορισμός, « αν το A προκαλεί το B, τότε το B δεν μπορεί να προηγηθεί χρονικά του A». Παράλληλα, οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι το αποτέλεσμα του B δεν μπορεί να ξεκινήσει πριν το τέλος της αιτίας του A [10], κάτι που θεωρείται ως μια ισχυρή υπόθεση στον ιατρικό τομέα. Γενικά, μέσα από έρευνες που έγιναν, διαπιστώθηκε ότι ο χρόνος σχετίζεται άμεσα με την εκτέλεση των ενεργειών και των αιτιολογικών φαινομένων. Η αιτιολογία

και ο χρόνος, επιτρέπουν τη μοντελοποίηση των ασθενειών και των καταστάσεων ενός ασθενή θεωρώντας ότι εξελίσσονται ως δυναμικές διεργασίες.

Αναφορικά με τις θεραπευτικές ενέργειες και το χρόνο, η σχέση που έχουν είναι εξίσου σημαντική όπως του χρόνου με την αιτιότητα. Ο τομέας της μοντελοποίησης του χρόνου έχει σημαντική πρόοδο σε αντίθεση με την μοντελοποίηση των ενεργειών που δεν παρουσιάζει μεγάλη πρόοδο. Οι χρονικές μέθοδοι καλύπτουν από διακριτούς σε συνεχόμενους, από βασιζόμενους σε σημεία σε βασιζόμενους σε διαστήματα και από γραμμικούς σε διακλαδωμένους χρόνους. Παρόλα αυτά, οι μέθοδοι που τυποποιούν τις ενέργειες, περιορίζονται σε διακριτά μοντέλα με γραμμικά χαρακτηριστικά και με επιπρόσθετες υποθέσεις, για να συμβαίνει ακριβώς μια ενέργεια για μια φορά και όλες οι ενέργειες να έχουν την ίδια διάρκεια. Γενικά, ο συλλογισμός για τις ενέργειες εστιάζεται στις πιθανές αιτίες και επιδράσεις των ενεργειών, αλλά όχι στη δομή τους, για αυτό και η δουλειά αυτή θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική.

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα

6.1 Γενικά συμπεράσματα	84
6.2 Εισηγήσεις για μελλοντική επέκταση της εργασίας	87

6.1 Γενικά συμπεράσματα

Ο στόχος αυτής της διπλωματικής 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» (Causal-Temporal-Action [C-T-A] Model) ως ερμηνευτικό πλαίσιο για τη συγκριτική ανάλυση αυτή. Η ανάλυση που έγινε αφορά τις αρχιτεκτονικές και μερικά βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων “HDP”, “TCS”, της εφαρμογής των Console και Torasso και του συστήματος “CASNET” σε σχέση με το γενικευμένο μοντέλο διάγνωσης “C-T-A”. Με την παρουσίαση λοιπόν, των πιο πάνω εφαρμογών, επισημάνθηκαν μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά τους σε σχέση με συγκεκριμένες πτυχές του “C-T-A” μοντέλου. Οι βασικοί συγκρίσιμοι παράγοντες του “C-T-A” μοντέλου, είναι η αιτία, ο χρόνος και οι θεραπευτικές ενέργειες. Είναι φανερό, ότι οι στόχοι κάποιων από τα συστήματα που αναλύθηκαν, είναι διαφορετικοί φιλοσοφικά και πρακτικά, για αυτό και είναι δύσκολο να τα αξιολογήσουμε υπό οποιαδήποτε πραγματική έννοια, εκτός από το να δώσουμε έμφαση στα σημαντικά χαρακτηριστικά τους που σχετίζονται με την έννοια του χρονικού συλλογισμού.

Η χρονική ιατρική διάγνωση αποτελεί το κύριο θέμα της διπλωματικής. Το ερευνητικό ενδιαφέρον για την επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων είναι μεγάλο, καθώς υπάρχουν διάφορα ανοικτά ζητήματα που αποτελούν πρόκληση. Μια τέτοια πρόκληση είναι η αναπαράσταση και ο συλλογισμός με το χρόνο. Ο χρόνος, θεωρείται απαραίτητο

συστατικό στοιχείο του διαγνωστικού συλλογισμού για αυτό και η προσπάθεια για τη μοντελοποίηση του είναι ιδιαίτερη. Για κάθε έμπειρο σύστημα που χρειάζεται να πάρει αποφάσεις, η δυνατότητα συλλογισμού για το χρόνο και τις χρονικές σχέσεις είναι θεμελιώδους σημασίας. Δεδομένου ότι στον πραγματικό κόσμο δεν περιλαμβάνονται μόνο στατικές περιγραφές, αλλά επίσης δυναμικές διαδικασίες, έτσι και στον ιατρικό τομέα συμβαίνει το ίδιο, για αυτό και ο χρονικός συλλογισμός για μια ασθένεια καθώς και για μια θεραπεία σε ένα ασθενή είναι σύνθετος από τη φύση του. Για αυτό λοιπόν, είναι απαραίτητος ο δυναμικός καθορισμός των αλληλεπιδράσεων στη συγκεκριμένη κατάσταση και τα γεγονότα που τις προκαλούν. Μέσω της κατανόησης και του ρητού συλλογισμού με το χρόνο, επιτυγχάνεται μια πιο ακριβής αναπαράσταση της πραγματικότητας, με αποτέλεσμα να απορρίπτονται τα αδύνατα σενάρια. Πιο συγκεκριμένα, το ποσοστό εξέλιξης των ασθενειών και οι επιπτώσεις της θεραπείας μπορεί να διαφέρουν μεταξύ των ασθενών. Έτσι λοιπόν, εδώ έρχεται η έννοια της αιτίας και των ενεργειών, καθώς αποτελούν πρόκληση για την 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 διάφορων λειτουργικών διαδικασιών. Η αναπαράσταση της έννοιας της ενέργειας προϋποθέτει τη ρητή εισαγωγή της έννοιας του χρόνου, διαφορετικά δύσκολα μπορεί να αναπαρασταθεί. Αυτή η προϋπόθεση, ισχύει για προγράμματα υπολογιστών τα οποία προσπαθούν να συλλογιστούν για τον κόσμο. Τα ιατρικά πεδία δεν αποτελούν εξαίρεση για την ανάγκη ύπαρξης του χρονικού συλλογισμού, καθώς όλες οι εργασίες τους όπως είναι η διάγνωση για μια τρέχουσα ασθένεια, ο προγραμματισμός της θεραπείας, χρειάζονται ρητά χρονικό συλλογισμό. Η φυσική πορεία μιας ασθένειας, η αιτία ενός κλινικού συμπεράσματος και η διάρκεια ενός συμπτώματος είναι όλα εκφράσεις που υπονοούν ένα μοντέλο χρόνου. Οι χρονικές εκτιμήσεις, αποτελούν σημαντικό παράγοντα για το σχηματισμό και την αξιολόγηση των διαγνωστικών υποθέσεων και έτσι αναπαριστούν ένα μεγάλο μέρος των σχετικών απαγωγικών διαδικασιών συλλογισμού. Παρόλο που στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας χρειάστηκε να γίνει περιορισμός στα θέματα σχετικά με το χρονικό συλλογισμό σε εφαρμογές κλινικής διάγνωσης, εντούτοις γίνεται αναφορά στην ανάλυση του συστήματος “TCS”, το οποίο αντιμετωπίζει το θέμα του χρονικά προσανατολισμένου ελέγχου. Στη διαδικασία του ελέγχου, παρατηρείται το πόσο πολύ ταιριάζει η εξελιγμένη πραγματικότητα με την προβαλλόμενη εξέλιξη της

κατάστασης του ασθενή. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει προβαλλόμενη εξέλιξη, τότε το έργο του ελέγχου είναι να παρατηρήσει τις αλλαγές σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση του ασθενή και να κάνει την κατάλληλη αξιολόγηση των αλλαγών αυτών (σταθερή, χειρότερη ή βελτιωμένη κατάσταση).

Όπως προαναφέρθηκε, η συγκριτική ανάλυση που έγινε πάνω στο θέμα της χρονικής ιατρικής γνώσης βασίστηκε στο γενικευμένο διαγνωστικό μοντέλο “C-T-A”, το οποίο αποτελεί ένα υψηλού επιπέδου αναλυτικό πλαίσιο σύγκρισης για ένα σύνολο εφαρμογών. Η βιβλιογραφική συγκριτική μελέτη που έγινε αφορά μια Bayesian εφαρμογή (HDP), μια εφαρμογή βασιζόμενη στη λογική (η πρόταση των Console και Torasso), μια εφαρμογή βασιζόμενη στη γνώση (CASNET) και μια εφαρμογή ελέγχου (TCS). Στις πρώτες τρεις εφαρμογές (HDP, η πρόταση των Console και Torasso και CASNET), η έννοια της αιτίας αποτελεί βασικό στοιχείο, καθώς η διαγνωστική γνώση στην εφαρμογή HDP και στην εφαρμογή των Console και Torasso, αναπαριστάται σε σχέση με ένα μοναδικό, ακυκλικό, αιτιολογικό δίκτυο και επιπλέον, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην ενσωμάτωση χρονικών περιορισμών στις αιτιολογικές σχέσεις. Οι εν λόγω χρονικοί περιορισμοί, αναφέρονται κυρίως σε καθυστερήσεις μεταξύ αιτιών και επιπτώσεων και στην επιμονή των καταστάσεων. Παράλληλα, στις δυο αυτές εφαρμογές τα περιστατικά αντιμετωπίζονται ως ενιαίες οντότητες και όχι ως δυναμικές οντότητες που ενσωματώνουν το χρόνο ως ένα σημαντικό θέμα και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Επιπλέον, δεν αναγνωρίζονται γενικά επαναληπτικά φαινόμενα και περιοδικότητα καθώς επίσης και χρονικές τάσεις, αφού αυτά απαιτούν σύνθετα περιστατικά. Αντίθετα, σε συστήματα όπου χρησιμοποιούνται συσχετιζόμενες αναπαραστάσεις, οι ασθένειες μοντελοποιούνται ξεχωριστά και οι χρονικοί περιορισμοί αφορούν ζευγάρια στιγμιαίων γεγονότων, τα οποία σημειώνουν την αρχή και το τέλος των συμβάντων. Καταλήγουμε στο συμπέρασμα, ότι η αιτιότητα είναι βασικό στοιχείο και απαραίτητη προϋπόθεση όταν θέλουμε να αντιληφθούμε την εξέλιξη μιας ασθένειας σε σχέση με τις εσωτερικές καταστάσεις και όχι μόνο μια απλή, συσχετιστική αναπαράσταση της ασθένειας.

Έχοντας κατανοήσει τη σημαντικότητα του χρόνου και της αιτίας στην επίλυση διαγνωστικών προβλημάτων, πρέπει να επισημανθεί επίσης και η σημαντικότητα των θεραπευτικών ενεργειών, καθώς και των θετικών και αρνητικών επιπτώσεων που

μπορούν να επιφέρουν. Είναι απαραίτητο να γνωρίζει κανείς τις επιπτώσεις των θεραπευτικών ενεργειών, έτσι ώστε να είναι σε θέση να ερμηνεύσει τις καταστάσεις όπως για παράδειγμα, οι καταστάσεις ενός ασθενή και οι υποτιθέμενες διαγνώσεις σε μια συμφραστικά εξαρτώμενη μορφή. Μέσα από τη βιβλιογραφική μελέτη των τριών βασικών παραγόντων χρόνος, αιτία, θεραπευτική ενέργεια, συμπεραίνουμε ότι το “C-T-A” μοντέλο υποστηρίζει ρητά τη μοντελοποίηση της αιτιολογίας καθώς και των θεραπευτικών ενεργειών. Επιπρόσθετα, ο χρόνος αποτελεί το συνδετικό κρίκο, καθώς οι ενέργειες ενσωματώνουν αιτιολογικούς μηχανισμούς που 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. Η χρονική αβεβαιότητα, αποτελεί χαρακτηριστικό, το οποίο παρουσιάζεται και στα πέντε επίπεδα της δομής του “C-T-A” μοντέλου και το οποίο χρησιμοποιήθηκε επίσης, για την συγκριτική ανάλυση των τεσσάρων εφαρμογών που έχουν αναφερθεί. Η έννοια της χρονικής αβεβαιότητας θεωρείται απαραίτητο θέμα αναπαράστασης, το οποίο εκφράζεται είτε με απόλυτο τρόπο, όπως είναι οι σειρές καθυστερήσεων, οι διάρκειες, οι χρονικές επεκτάσεις, είτε με σχετικό τρόπο όπως είναι οι διαζεύξεις χρονικών σχέσεων μεταξύ δύο διαστημάτων.

6.2 Εισηγήσεις για μελλοντική επέκταση της εργασίας

Μέσα από τη διερεύνηση του διαγνωστικού γενικευμένου μοντέλου «Αιτία-Χρόνος-Θεραπευτική Ενέργεια», φαίνεται το ιδιαίτερο ενδιαφέρον που υπάρχει για την ιατρική χρονική διάγνωση. Οι προσπάθειες που έχουν γίνει μέχρι στιγμής είναι σημαντικές και έχουν ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Ωστόσο, χρειάζεται να γίνει περισσότερη προσπάθεια, έτσι ώστε 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. Επιπλέον, χρειάζεται να γίνει πρόοδος στην μοντελοποίηση των ενεργειών, όπως επίσης και στην πολλαπλή κατανομή του χρόνου, στην επανάληψη, στα σύνθετα περιστατικά και στην αποτελεσματική χρήση των χρονικών περιορισμών στη δημιουργία υποθέσεων. Παρόλες τις προσπάθειες που έχουν γίνει για τις κλινικές εφαρμογές, χρειάζεται ακόμη πολλή δουλειά για να ενσωματωθεί επιτυχώς η τεχνική του χρονικού συλλογισμού στην καθημερινή διαδικασία της ιατρικής φροντίδας. Με την πάροδο του χρόνου η εξέλιξη

των ιατρικών διαδικασιών με την προσαρμογή υπαρχουσών θεραπειών σε καινούρια ευρήματα στη συγκεκριμένη περιοχή ή την εύρεση διαδικασιών θεραπείας για καινούριες ασθένειες, προσθέτουν καινούριες προκλήσεις στις ήδη υπάρχουσες. Έτσι λοιπόν, ο τομέας της Τεχνητής Νοημοσύνης έχει να αντιμετωπίσει πολλές ακόμη προκλήσεις.

Βιβλιογραφία

- [1] Aliferis C.F. and Cooper G.F., “ A new formalism for temporal modeling in medical decisionsupport systems.” In R.M. Gardner, editor, 19. annual symposium on computer applications in medical care, pages 213–217, Philadelphia, 1995.
- [2] Allen J., “Towards a General Theory of Action and Time”, Artificial Intelligence, 23: pp.123-154, 1984.”
- [3] 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.
- [4] Augusto J. C., “Temporal reasoning for decision support in medicine”, Artificial Intelligence in Medicine, v.33 n.1, pp.1-24, 1 January, 2005.
- [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., Keravnou-Papailiou E., and Shahar Y., “Temporal Information Systems in Medicine”, Springer, 376 pages, 2010

- [9] 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.
- [10] Console L., Torasso P., “On the Co-operation between Abductive and Temporal Reasoning in Medical Diagnosis”, In [15]: pp.291-311.
- [11] 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.
- [12] Console L., Portinale D., Theseider Dupre D., and Torasso P., “ Combining heuristic and causal reasoning in diagnostic problem solving”, pages 46–68. Springer-Verlag, 1993.
- [13] Console. L. and Torasso P., “Diagnostic Problem Solving: Combining Heuristic”, *Approximate and Causal Reasoning*. Van Nostrand Reinhold, 1989.
- [14] Dagum P., Galper A., Horvitz E., Seiver A., “Uncertain Reasoning and Forecasting”, *International Journal of Forecasting*, 11: pp. 73-87, 1993.
- [15] Dagum P., Galper A., “Time-series prediction using belief network models”, *International Journal of Human-Computer Studies* 42: pp. 617- 632, 1995.
- [16] De Kleer J., Mackworth A.K, and Reiter R., “Characterizing Diagnoses and Systems”, *Artificial Intelligence*, 56: pp. 197–222, 1992.
- [17] De Kleer J., and Williams B. C., " Diagnosing Multiple Faults", *Artificial Intelligence*, Vol. 82, No. 1, pp. 97-130.
- [18] Ernst G.P., Bovenkamp Jan C.A., van der Lubbe., “Temporal Reasoning with Fuzzy Time-Objects”.

- [19] Fagan L.M. “VM: Representing Time-Dependent Relations in a Medical Setting”, PhD thesis. Stanford University, June 1980.
- [20] Gary K.M., “Model-Based Interpretation of Time-Ordered Medical Data”, Phd thesis. University of California. San Francisco, December 1988.
- [21] Hamscher W., Console L., and de Kleer J., “Readings in model-based diagnosis”, San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc. ISBN 1558602496, 1992
- [22] Gamper J. and Nejd W., Abstract temporal diagnosis in medical domains. *Artificial Intelligence in Medicine*, 10:209–234, 1997.
- [23] Keravnou E.T., “Temporal constraints in clinical diagnosis”, *Artificial Intelligence Fuzzy Systems* 12, 2002 (1).
- [24] Kearvnou 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] Kearvnou 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.
- [26] Keravnou E.T. (guest editor), “Special Issue on Temporal Reasoning in Medicine”, *Artificial Intelligence in Medicine* 1996; 8(3).
- [27] Keravnou ET., “Engineering time in medical knowledge-based systems through time-axes and time-objects”, In [21]: pp. 160-167.
- [28] 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.

- [29] Keravnou E.T., “Temporal Diagnostic Reasoning Based on Time-Objects”, *Artificial Intelligence in Medicine*, 8(3), pp. 235–265, 1996c.
- [30] Keravnou E. T. and Washbrook J., “Abductive diagnosis using time-objects: criteria for the evaluation of solutions”, *Computational Intelligence*, 17(1), pp.87-131, 2001.
- [31] Keravnou E.T., “A time ontology for medical knowledge-based systems”, In *Proceedings EMCSR’98*, pp. 831–835, 1998.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] Konolige K., “Using Default and Causal Reasoning in Diagnosis”, pp. 97-135.
- [35] Kowalski R., Sergot M., “A logic-based calculus of events”, *New Generation Computing*, 4: pp. 67-95, 1986.
- [36] Larizza C., Moglia A., Stefanelli M., “M-HTP: A System for Monitoring Heart Transplant Patients”, *Artificial Intelligence in Medicine*, 4: pp. 111-126, 1992.
- [37] 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
- [38] Long W.J., “Medical Diagnosis Using a Probabilistic Causal Network”, *Applied Artificial Intelligence* 3, pp. 367-383, 1989.

- [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] Reiter R., "A theory of diagnosis from first principles", *Artificial Intelligence* 32, pp. 57-95, 1987
- [45] Russ T. A., "Temporal Control Structure Reference Manual", Massachusetts Institute of Technology, Laboratory for Computer Science Technical Manual, MIT-LCSTM-331, June 1987.
- [46] Russ T.A., "Using hindsight in medical decision making", *Compute Methods Programs Biomed*, 32(1): pp. 81-90, 1990.
- [47] 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.
- [48] 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.

- [49] 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.
- [50] Shahar Y., “Dynamic temporal interpretation contexts for temporal abstraction”, In [21]: pp. 64-71.
- [51] Shahar Y., “A framework for knowledge-based temporal abstraction”, Artificial Intelligence, 1997, 90 (in press).
- [52] 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).
- [53] Snodgrass R.T (ed)., “The TSQL2 temporal query language”, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 1995.
- [54] Snodgrass R.T (ed)., “The TSQL2 temporal query language”, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 1995.
- [55] 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.
- [56] Stacey M., “Knowledge based temporal abstraction within the neonatal intensive care domain”, In: Presented at CSTE innovation conference. University of Western Sydney, 2005.

- [57] Long W.J., “Medical Diagnosis Using a Probabilistic Causal Network”, *Applied Artificial Intelligence* 3, pp. 367-383, 1989.
- [58] 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.
- [59] Long W. J., “Temporal Reasoning for Diagnosis in a Causal Probabilistic Knowledge Base”, *Artificial Intelligence in Medicine*, 8: pp. 193-215.
- [60] Woods W., "What's in a Link: Foundations for Semantic Networks", in Bobrow and Collins (Eds.), *Representation and Understanding*. Academic Press, New York, 1975.
- [61] 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.
- [62] Βουζούνη Α., Ατομική Διπλωματική Εργασία, «ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ “ΑΙΤΙΑ – ΧΡΟΝΟΣ – ΘΕΡΑΠΕΥΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ” ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΛΙΝΙΚΗΣ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ», 2009.

Κατάλογος Όρων

A

Abstract temporal diagnosis 28
Abstract Temporal Graph 39
accumulative 47
acute angle closure glaucoma 67
acyclic 28
angle closure glaucoma 68
associational model 42
ATD 28
ATG 39

B

background domain knowledge 44
Bayesian 44

C

CAD 11
calendric-related unit 35
CASNET 64
Causal Probabilistic Networks 25
CHECK 59
ciliary block mechanism 67
c-nodes 61
COMPONENTS 6
convex time-interval 29
Convex 60
Corrective 47
CPN 25
CTA 41

D

Delay 48
Delayed 48
DNM 25
Dynamic Network Model 25

E

event calculus theory 25
event-like 48

F

fuzzy logic 34

G

Grosser 36

H

HDP 44
Heart Disease Program 44

I

Immediate 47
Intermittent 48

M

max-exist 50
merge abstraction 30
Metatropic Dwarfism 34
minimality by implication 60
Modifiable Temporal Belief Networks 25
MTBN 25

N

non-convex 64

O

Onset 48
Oracle 56

P

persistence 48
persistence abstraction 29
Platyspondyly 12
progressive 47
p-states 61

R

reasoning 2

S

SDD 25
Skeletal Dysplasia's Diagnosis 25
Spanning 14
state description model 25

T

Temporal Control Structure 51
temporal granularities 47
temporal medical diagnosis 2

temporal reasoning 24
time-granularity 35
time-objects 35
time representation 2
time-stamped 24
trend abstraction 31
triggers 54

V

VM 54

$\subseteq$ υποσύνολο 6

$\cup$ ένωση 6

$\neg$ άρνηση 6

$\in$ ανήκει 6

A

αδύνατη ερμηνεία 62
αιτιολογικά δίκτυα 59
αιτιολογικά μοντέλα 59
αιτιολογικά πιθανολογικά δίκτυα 25
αιτιολογικά πρότυπα 48
αιτιολογικές αναπαραστάσεις 62
αιτιολογικές καταστάσεις 49
αιτιολογικές σχέσεις 13
αιτιολογική επεξήγηση 48
αιτιολογική σύνδεση 76
αιτιολογικοί χρόνοι 50
αιτιολογικό μοντέλο 71
αιτιολογικό τόξο 63
αιτιολογικού συλλογισμού 65
αιτιολογικούς συνδέσμους 62
αιτιολογικών συνδέσμων 62
αμοιβαίοι αποκλεισμοί 70
αναπαράσταση της γνώσης 22
αναπαράσταση του χρόνου 65
απαγωγή 7
απαγωγική διάγνωση 7
απαγωγικός συλλογισμός 7
απαγωγικών εφαρμογών 5
απόλυτης χρονικής αβεβαιότητας 34
ασαφή λογική 34
ατομικός άξονας 14
αφαιρετικότητα 7
αφαιρετικότητα δεδομένων 31
αφαιρετικότητα εύλογης ύπαρξης 31
αφαιρετικότητα μιας κατάστασης 54

αφαιρετικότητα περιοδικότητας 31
αφαιρετικότητα συγχώνευσης 30
αφαιρετικότητα τάσης 31
αφηρημένη χρονική διάγνωση 31
αφηρημένος χρονικός γράφος 35

B

βάση δεδομένων 47

Γ

Γλαύκωμα 64

Δ

διάγνωση βασιζόμενη στη συνέπεια 6
διάγνωση βασιζόμενη σε μοντέλο 7
διαγνωστικά συστήματα 7
διαγνωστική γνώση 39
διαγνωστική υπόθεση 50
διαγνωστικό μοντέλο 79
διαγνωστικό πρόβλημα 4
διαγνωστικού συλλογισμού 14
διαγνωστικών συστημάτων 10
διαδικαστική αναπαράσταση 23
δομικές σχέσεις 14
δικτυωτό πλέγμα 41
διευκόλυνση συμβολισμού 23

E

εμβρυική περίοδος 14
ενδιάμεσες παθοφυσιολογικές καταστάσεις 62
εννοιολογικό δίκτυο 65
επαγωγικής ελαχιστοποίησης 65
ερμηνείας 24
ευρετική επάρκεια 23

I

Ιατρικό συλλογισμό 76
Ισχυρή ερμηνεία 62

K

κανόνα περιβάλλοντος 54
κατανομή του χρόνου 35
κλινική διάγνωση 5
κυκλικός χρόνος 20
κύκλος Διάγνωσης-Θεραπείας 72

Λ

λογική επάρκεια 23

Μ

μεταβλητές ιστορίας 62
μεταβλητές μνήμης 51
μεταβλητές πρόβλεψης 62
μεταβλητό διάστημα 60
μηχανισμού της ιστορίας και της
πρόβλεψης 54
μονάδα 47
μονάδα του χρόνου 35
μονάδα διαστήματος 51
μοντέλο «Αιτία-Χρόνος-Θεραπευτική
Ενέργεια» 35
μοντέλο ασθενειών 79
μοντέλο δεδομένων 79
μοντέλο συσχετίσεων 42
μοντέλο του χρόνου 14
μοντέλο των περιστατικών 14
Μοντελοποίηση 8
μοντελοποίηση γνώσης υποδομής 50
μοντέλων κάλυψης 67

Ο

ολικές μονάδες χρόνου 36
ομοιογενή διαστήματα 47

Π

παθοφυσιολογικού μοντέλου 65
παθοφυσιολογικών μονοπατιών 70
περιγραφική αναπαράσταση 23
περιεκτικές πληροφορίες 62
πρότυπο παρουσίας 21
πιθανολογική μέθοδος 25
πιθανολογικό δίκτυο 50
πιθανολογικών βαρών
πολλαπλές μονάδες χρόνου 35
πρόβλεψη 24
προβολή 24
προγραμματισμός 24

Ρ

ρυθμιστής παρακολούθησης 54

Σ

συλλογισμός 2

συνόλου σύγκρουσης 6
σκελετικές δυσπλασίες 14
σύνδρομο της δυσμορφίας Morquino 34
συνεπές υπολογισμό 48
σύνθετη υπόθεση 15
σύστημα βασισμένο στη γνώση 22
σύστημα ελέγχου 47
συστατικά μέρη 47
συστήματα ανατροφοδότησης 74
σχετικών ημερολογιακών μονάδων 35

Τ

ταξινομικό μοντέλο 64
Τεχνητής Νοημοσύνης 4
TN 22

Υ

υπόθεση του μοναδικού σφάλματος 13
υπόθεση των πολλαπλών σφαλμάτων
13
υψηλά επίπεδα αφαιρετικότητας 70

Φ

φυσιολογικό συστατικό στοιχείο 62
φυσιολογικό μοντέλο 74

Χ

χρονικά αντικείμενα 14
χρονικά διαστήματα 14
χρονική διάσταση 79
χρονική ιατρική διάγνωση 1
χρονικά σημεία 14
χρονικές απαιτήσεις 50
χρονικές επεκτάσεις 65
χρονικές καθυστερήσεις 65
χρονικές σχέσεις 14
χρονικές τάσεις 64
χρονική αβεβαιότητα 33
χρονική απαγωγική αρχιτεκτονική 65
χρονική απαγωγική διάγνωση 25
χρονική διάσταση 31
χρονική δομή παρακολούθησης 51
χρονική συνέπεια 37
χρονικής αφαιρετικότητας 30
χρονικό διάστημα χωρίς διακοπές 31
Χρονικοί Περιορισμοί 34
χρονικός συλλογισμός 23
χρονικούς άξονες 14

χρονικών μεταβλητών 48
χρονικών μονάδων 47
χρονικών συστημάτων πληροφόρησης
18