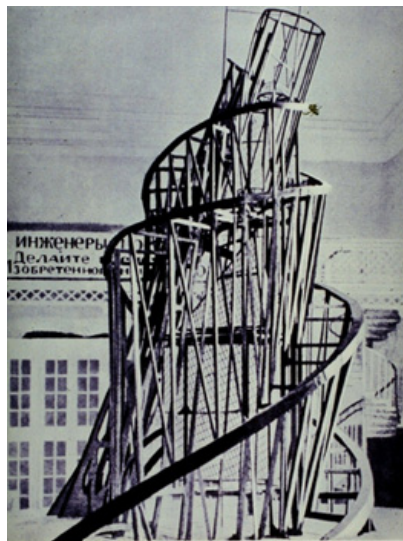




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Σχεδίαση, ανάπτυξη και σύνθεση καταναμημένων υπηρεσιών
σε ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών
αποφάσεων**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ



Άγγελος Γ. Ανδρουλιδάκης

Αθήνα, Μάρτιος 2006



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Σχεδίαση, ανάπτυξη και σύνθεση κατανεμημένων υπηρεσιών
σε ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών
αποφάσεων**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Άγγελος Γ. Ανδρουλιδάκης

Αθήνα, Μάρτιος 2006



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Σχεδίαση, ανάπτυξη και σύνθεση κατανεμημένων υπηρεσιών
σε ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών
αποφάσεων**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Άγγελος Γ. Ανδρουλιδάκης

Συμβουλευτική Επιτροπή : Δημήτριος-Διονύσιος Κουτσούρης
Περικλής Μπούρκας
Κωνσταντίνα Σ. Νικήτα

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την 7^η Απριλίου 2006.

.....
Δ.Κουτσούρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Π. Μπούρκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Κ. Νικήτα
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....
Π.Τσανάκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Α. Σταφυλοπάτης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Τ. Σελλής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Μ. Ζερβάκης
Καθηγητής Πολ. Κρήτης

Αθήνα, Μάρτιος 2006

.....
Άγγελος Γ. Ανδρουλιδάκης

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

Copyright © Άγγελος Γ. Ανδρουλιδάκης, 2006.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Στην οικογένειά μου,
Γιώργο,
Έλσα,
Ζωή.
Ό,τι είμαι, το οφείλω σε εσάς.

Στη μνήμη του φίλου μου και συμφοιτητή μου,
Θέμη Μπαλωμένου

Περίληψη

Τα ιατρικά λάθη αποτελούν μια από τις βασικότερες αιτίες θανάτου ή βλάβης της υγείας. Στο πλαίσιο της θωράκισης του συστήματος παροχής ιατρικών υπηρεσιών απέναντι στο ανθρώπινο λάθος είναι απαραίτητη η υποστήριξη όλων των δραστηριοτήτων από σύγχρονη τεχνολογία και η μηχανοργάνωση των νοσοκομείων. Ειδικότερα, απαιτείται η ανάπτυξη μεθόδων και εργαλείων που να υποστηρίζουν τους ιατρούς κατά τη λήψη κρίσιμων αποφάσεων, κατά κύριο λόγο σε τομείς και δραστηριότητες που έχει αναγνωριστεί ότι παρουσιάζουν υψηλό αριθμό σφαλμάτων. Ωστόσο, παρ' ότι η συμβολή των Συστημάτων Υποστήριξης Κλινικών Αποφάσεων (ΣΥΚΑ) στην αποτροπή του ιατρικού λάθους έχει αποδειχτεί μέσα από πληθώρα μελετών, ο βαθμός υιοθέτησής τους στην κλινική πράξη παραμένει χαμηλός.

Η παρούσα διατριβή στοχεύει κυρίως στην ανάπτυξη μεθόδων και υπηρεσιών που μπορούν να συμβάλλουν στην αποδοχή και την ευρεία υιοθέτηση των υπολογιστικών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων στην κλινική πράξη. Ειδικότερα, η διατριβή πραγματεύεται αρχικά την εφαρμογή τεχνικών παραλληλισμού για την ανάπτυξη ΣΥΚΑ υψηλής επίδοσης και στη συνέχεια παρουσιάζει ένα σύνολο από αυτόνομες και καταναμημένες υπηρεσίες, που συνθέτουν ένα «ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων». Το περιβάλλον αυτό επιτρέπει την επιτυχή σύνθεση πολλαπλών ΣΥΚΑ για την παροχή υποστήριξης στο σημείο λήψης των αποφάσεων μέσα σε αποδεκτά χρονικά πλαίσια και με τρόπο εύχρηστο και διάφανο για τον τελικό χρήστη.

Η βασικότερη καινοτομία της διατριβής αφορά την αντιμετώπιση του θέματος της υποστήριξης κλινικών αποφάσεων με ένα συνολικό τρόπο, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη λύση μέσα από το πρίσμα της ολοκλήρωσης των υπολογιστικών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων με την κλινική πράξη. Επιπλέον, παρέχει ένα υπόδειγμα υπηρεσιο-στρεφούς αρχιτεκτονικής για το χώρο της παροχής υπηρεσιών υγείας, υλοποιεί και ολοκληρώνει πρωτότυπες ενότητες λογισμικού για καταναμημένη επεξεργασία σε σχεδόν πραγματικό χρόνο και με ελάχιστο διαχειριστικό κόστος, ενώ παρέχει και υπηρεσίες για την εφαρμογή της αποδεικτικής ιατρικής στην κλινική πράξη μέσω φορητών συσκευών.

Λέξεις Κλειδιά

Συστήματα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων, δίκτυα Bayes, παράλληλη επεξεργασία, υπηρεσιο-στρεφής αρχιτεκτονική, αποδεικτική ιατρική

Abstract

Medical errors are a non-negligible cause of mortality and injury. In order to provide multiple layers of protection against medical errors, all medical activities should be supported by state-of-the-art technology. While clinical decision support systems (CDSS) have the potential to reduce serious medical errors, their penetration into clinical practice remains limited.

The current thesis proposes methods and tools that can contribute to the acceptance and adoption of CDSS into clinical practice. The thesis discusses first the optimization potential of computationally demanding systems (based on Bayesian networks) and investigates methods and tools to enhance their performance by exploiting parallelization techniques. Then, a distributed environment for the integration of multiple high-performance decision support systems into clinical workflow is presented, that comprises of autonomous and distributed services. The proposed architecture delivers decision support at the time and location of decision making and provides recommendations automatically as part of clinician workflow.

The main innovative aspect of the work presented concerns delivering an integrated, distributed solution for CDSS, while focusing on the adoption of decision support systems into clinician workflow. Furthermore, the work provides a pattern for service-oriented design and implementation targeting the healthcare sector, the development and deployment of lightweight and optimized distributed software tools that enable remote processing on high performance hardware platforms, and innovative services that can help doctors practice evidence-based medicine through portable devices.

Keywords

Decision support systems, parallel algorithms, causal probabilistic networks, distributed computing, evidence-based medicine

...Λίγα λόγια για το εξώφυλλο

Ο «Πύργος του Tatlin» ή αλλιώς «Μνημείο για την Τρίτη Διεθνή» είναι ίσως το διασημότερο ουτοπικό έργο όλων των εποχών. Ο πύργος αποτέλεσε το όραμα του Ρώσου καλλιτέχνη και αρχιτέκτονα Vladimir Tatlin και σχεδιάστηκε το 1919, όμως δεν κατασκευάστηκε ποτέ, κυρίως λόγω του υψηλού κόστους και του εμφυλίου πολέμου που ακολούθησε την επανάσταση του 1917.

Το μνημείο του Tatlin θα είχε διπλάσιο ύψος από το Empire State Building και θα κατασκευαζόταν από γυαλί και σίδηρο. Ο σπειροειδής μεταλλικός σκελετός θα υποστήριζε ένα γυάλινο κύλινδρο, ένα γυάλινο κώνο και ένα γυάλινο κύβο. Ο κύλινδρος θα περιστρεφόταν γύρω από τον άξονά του μια φορά το χρόνο, ενώ οι δραστηριότητες που θα λάβαιναν χώρα σε αυτόν θα περιελάμβαναν κυρίως συνέδρια και διαλέξεις. Ο κώνος θα ολοκλήρωνε την περιστροφή του σε διάστημα ενός μήνα και θα στέγαζε κυρίως διοικητικές υπηρεσίες. Ο κύβος θα περιστρεφόταν μια φορά τη μέρα και θα αποτελούσε το κέντρο πληροφόρησης, εκδίδοντας διαρκώς δελτία τύπου, ανακοινώσεις και μανιφέστα μέσω τηλεγράφου, τηλεφώνου, ραδιοφώνου, καθώς και μέσα από μεγάφωνα. Μια φωτεινή οθόνη στην κορυφή του πύργου θα παρουσίαζε διαρκώς νέα από όλο τον κόσμο, ενώ ειδικοί προβολείς θα έγραφαν μηνύματα στα σύννεφα. Με βάση τεχνικά και κατασκευαστικά κριτήρια, το έργο είναι ουτοπικό, ενώ το κόστος και η πολυπλοκότητά του το καθιστούν μη λειτουργικό. Αποτελεί όμως διαχρονικό σύμβολο της προσπάθειας να υποταχτεί ο υλικός κόσμος και να επιτευχθεί η ολοκλήρωση διεπιστημονικών και διακαλλιτεχνικών γνωστικών αντικειμένων σε μια ενιαία σύνθεση με άξονα τον άνθρωπο. Αντίστοιχα, η Βιοιατρική Τεχνολογία επιδιώκει τη σύνθεση διεπιστημονικών γνωστικών αντικειμένων για τη θεραπεία και την κατανόηση των προβλημάτων που αναφέρονται στη Βιολογία και την Ιατρική. Σε αντίθεση με τους ρομαντικούς καλλιτέχνες της Ρωσικής Πρωτοπορίας όμως, θέτει την πρακτική εφαρμογή των τεχνολογικών επιτευγμάτων της και την ευρεία υιοθέτησή τους στην κλινική πράξη σε υψηλή προτεραιότητα.

Πρόλογος και Ευχαριστίες

Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Βιοιατρικής Τεχνολογίας της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η πορεία μου προς την απόκτηση του διδακτορικού τίτλου υπήρξε πολυκύμαντη. Αρχικά, ασχολήθηκα με την εξόρυξη γνώσης από βάσεις δεδομένων επιδημιολογικού ενδιαφέροντος. Η προσπάθεια αυτή δεν ευοδώθηκε και στη συνέχεια στράφηκα στην εφαρμογή μεθόδων εξόρυξης γνώσης από βάσεις δεδομένων καρδιοχειρουργικών επεμβάσεων, με στόχο την πρόβλεψη και αποτροπή των περί- και μετεγχειρητικών επιπλοκών σε εγχειρήσεις ανοικτής καρδιάς. Παρότι η συνεργασία μου με τον κ. Παλατιανό, διευθυντή του Γ' Καρδιοχειρουργικού Τμήματος του Ωνασείου Καρδιοχειρουργικού Κέντρου, υπήρξε ιδανική, ούτε αυτή η προσπάθεια κατέληξε στην επιτυχή ολοκλήρωση μιας διδακτορικής διατριβής, αν και παρείχε το απαιτούμενο υλικό για την επιτυχή έκβαση της Ενδιάμεσης Κρίσης μου το 2003. Στις αρχές του 2004, ξεκίνησε η συμμετοχή μου στο αναπτυξιακό έργο AMICA (Assembling Data and Knowledge at the Point of Care To Improve Medical Decision Making And Prevent Errors, IST-2002-507048). Το 1^ο μέρος της παρούσας διατριβής αποτελεί σε μεγάλο βαθμό το αποτέλεσμα της ερευνητικής μου εργασίας στα πλαίσια του έργου AMICA, ενώ οι συζητήσεις και οι προβληματισμοί σχετικά με το αντικείμενο του έργου αποτέλεσαν την πρώτη ύλη για την ανάπτυξη των μεθόδων και των υπηρεσιών που παρουσιάζονται στο 2^ο μέρος της διατριβής. Το έργο AMICA διεκόπη οριστικά το Σεπτέμβριο του 2005, όμως η δική μου ερευνητική εργασία με αφετηρία το όραμα και τους στόχους του έργου συνεχίστηκε σε ένα ανεξάρτητο πλαίσιο και χωρίς τους αυτονόητους περιορισμούς που επιβάλλει η συνεργασία με άλλους εταίρους και οδήγησε στην ανάπτυξη του «ολοκληρωμένου περιβάλλοντος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων», που αποτελεί τον κεντρικό άξονα του 2^{ου} μέρους της διατριβής.

Αρχικά, θέλω να ευχαριστήσω το δάσκαλό μου και επιβλέποντα της διατριβής μου, κ. Δημήτρη Κουτσούρη, Καθηγητή Ε.Μ.Π., για τη γενναιόδωρη υποστήριξη που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια, η οποία αγκάλιαζε ισότιμα, τόσο τους περισσότερους, όσο και τους λιγότερο επιτυχείς πειραματισμούς και αναζητήσεις μου. Κυρίως όμως θέλω να τον ευχαριστήσω για έναν άλλο λόγο: γιατί μου παρείχε τη δυνατότητα να εργαστώ σε ένα περιβάλλον, χωρίς υπερβολή, ιδανικό: Απαλλαγμένο από κάθε μορφής ανταγωνισμό, στο οποίο έχει κανείς τη δυνατότητα να αναπτύξει τη δημιουργικότητά του ελεύθερα και μέσα σε ένα σπάνιο κλίμα συνεργατικότητας και ενθουσιασμού για κάθε καινοτομία, που αφορά

το χώρο της ιατρικής πληροφορικής, αλλά και της πληροφορικής γενικότερα. Έχοντας επίγνωση του πόσο σπανίζουν τέτοιοι χώροι, θέλω να τον ευχαριστήσω και πάλι, γιατί μου έδωσε τη δυνατότητα να αποτελώ μέλος της «οικογένειας» του Εργαστηρίου Βιοιατρικής Τεχνολογίας.

Στη συνέχεια, θέλω να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Ε.Μ.Π. Περικλή Μπούρκα και την Καθηγήτρια Ε.Μ.Π. Κωνσταντίνα Νικήτα, για τη συμμετοχή τους στην Τριμελή Συμβουλευτική Επιτροπή της διατριβής μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Θερμές ευχαριστίες οφείλω στον κ. Παναγιώτη Τσανάκα, Καθηγητή Ε.Μ.Π., στον κ. Ανδρέα-Γεώργιο Σταφυλοπάτη, Καθηγητή Ε.Μ.Π., στον κ. Τιμολέοντα Σελλή, Καθηγητή Ε.Μ.Π. και στον κ. Μανώλη Ζερβάκη, Καθηγητή Πολυτεχνείου Κρήτης, για τη συμμετοχή τους στην Επταμελή Συμβουλευτική Επιτροπή της διατριβής μου.

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά την ερευνήτρια ΕΠΙΣΕΥ-ΕΜΠ, Δρ. Ανδριάννα Πρέντζα, για τη συνεργασία μας στα πλαίσια του έργου AMICA και για την ουσιαστική συμβολή της στην ολοκλήρωση της διδακτορικής μου διατριβής. Επίσης, να ευχαριστήσω τους ερευνητές ΕΠΙΣΕΥ-ΕΜΠ, Δρ. Μαρία Χαρίτου, Δρ. Σωτήρη Παυλόπουλο, Δρ. Τάσο Τάγαρη και Δρ. Γιώργο Κόννη για την άψογη συνεργασία μας και τη συμβολή τους στην ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής. Ακόμα, θέλω να ευχαριστήσω θερμά την Έφη Δήμα για την πολύτιμη συνεργασία της ως κλινική ιατρός.

Στη συνέχεια, θέλω να ευχαριστήσω τον «αρχηγό» μας, Γιώργο Μαρίνο, μέσω του οποίου έκανα την πρώτη μου επαφή με το Εργαστήριο Βιοιατρικής Τεχνολογίας, στο πλαίσιο της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Ο Γιώργος αποτέλεσε και αποτελεί τον «πνευματικό» μου πατέρα στο χώρο της πληροφορικής και τον άνθρωπο που με μύησε στην υψηλή τέχνη του προγραμματισμού. Τελευταία, έχει στραφεί σε πιο αθλητικές δραστηριότητες, ενώ διεκδικεί επάξια τον τίτλο του πολύπλευρου υπέρ-αθλητή, τον οποίο του εύχομαι ολόψυχα να κατακτήσει. Η εκτίμησή μου για το Γιώργο είναι τόση, που μου επιτρέπει να του συγχωρήσω ότι μετά από 6 χρόνια συνεργασίας συνεχίζει να αποκαλεί εμένα Γιώργο και το Γιώργο Άγγελο.

Στη συνέχεια, θέλω να ευχαριστήσω το Στάθη Μαρίνο για τη συνεργασία μας όλα αυτά τα χρόνια. Ο Στάθης αποτελεί υπόδειγμα συνεργάτη, ενώ με την παρουσία του έχει συμβάλλει στην ανάπτυξη και στην εύρυθμη λειτουργία του Εργαστηρίου περισσότερο από κάθε

άλλον. Επίσης, όπως είναι γνωστό, ο Στάθης είναι και εξαιρετικός μάγειρας. Κλείνω έτσι τη σύντομη μνεία μου σε αυτόν με την ελπίδα ότι στο μέλλον θα με καλεί συχνότερα για φαγητό.

Δε θα αναφερθώ εκτενώς στο Γιώργο Καρκαλή, για να μη θεωρηθεί ότι μεροληπτώ υπέρ του καλύτερού μου φίλου. Είναι λοιπόν, ο Γιώργος είναι ο καλύτερός μου φίλος και με έχει βοηθήσει όσο κανείς άλλος, τόσο κατά την εκπόνηση της διατριβής μου, όσο και στη ζωή μου γενικότερα. Αυτό μου επιτρέπει να του συγχωρήσω ότι οι πολύωρες φιλοσοφικές συζητήσεις μας δεν καταλήγουν σχεδόν ποτέ σε κάποιο εφαρμόσιμο συμπέρασμα.

Θέλω να ευχαριστήσω τη Μαρία Πραγματευτέλη για τη συνεργασία μας όλα αυτά τα χρόνια, αλλά κυρίως για το κέφι της, την καλή της διάθεση και το χαμόγελό της, τα οποία συμβάλλουν όσο τίποτα άλλο στην ανύψωση του γενικότερου ηθικού των μελών του εργαστηρίου. Επίσης, τον Αντώνη Κορδατζάκη, ο οποίος είναι ο πιο ταλαντούχος προγραμματιστής της νεότερης γενιάς, με αποτέλεσμα να εμπλέκεται σε συχνές αντιδικίες με τον «αρχηγό» μας πάνω σε υψηλές έννοιες του προγραμματισμού, τις οποίες ομολογώ ότι σπάνια μπορώ να κατανοήσω επαρκώς.

Θέλω να ευχαριστήσω την Ελένη Σακκά, γιατί αποτελεί την πιο δραστήρια, ευγενική και ενθουσιώδη συνάδελφο, η οποία συνήθως διεκπεραιώνει με απόλυτη επιτυχία υποθέσεις που άπτονται της δημόσιας σφαίρας και φροντίζει για την εξωστρέφεια του Εργαστηρίου. Με τον Ηλία Λαμπρινό μοιραζόμαστε ένα κοινό πάθος για την εναλλακτική – και απαλλαγμένη από εμπορικές επιταγές – μουσική και θέλω να τον ευχαριστήσω γιατί έχει συμβάλει όσο κανείς άλλος στο Εργαστήριο στη διεύρυνση των μουσικών μου οριζόντων. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τον Άγγελο Γεωργούλα για τη φιλική του διάθεση όλα αυτά τα χρόνια, αλλά και για τις κατευθυντήριες γραμμές που μου παρείχε, όσον αφορά το γραφειοκρατικό μέρος της απόκτησης του διδακτορικού τίτλου. Ο Άγγελος υποστήριξε μια υποδειγματική διδακτορική διατριβή, η οποία αποτέλεσε για μένα πηγή έμπνευσης και ενθάρρυνσης κατά το τελευταίο - και δυσκολότερο - στάδιο της προσπάθειάς μου.

Η έκταση του προλόγου θα λάβει δυσανάλογες διαστάσεις σε σχέση με το μέγεθος της παρούσας διατριβής, αν αναφερθώ προσωπικά στις αρετές και τις ιδιαιτερότητες κάθε μέλους του εργαστηρίου. Θέλω να ευχαριστήσω όλους τους συναδέλφους για το φιλικό κλίμα που δημιουργούν, το οποίο κάνει την καθημερινότητά μας στο Εργαστήριο πιο

ευχάριστη. Ειδικότερα, θέλω να ευχαριστήσω τον Νίκο Αποστόλου και να του ευχηθώ καλός πολίτης, το Γρηγόρη Βάσιο και την Αγγελική Γιακουμάκη για τη γενναιόδωρη παροχή τσιγάρων τις βραδινές ώρες, τον Κώστα Περάκη για τις δικαιολογημένες επιπλήξεις του όταν με βλέπει να απέχω από τα ερευνητικά μου καθήκοντα στους διαδρόμους, τον Κώστα Γκικόκα, τη Δήμητρα Ηλιοπούλου, την Ξανθή Μπενέτου, τον Κώστα Καρδάρá, το Μάριο Νεοφύτου, τη Ράνια Πετροπούλου και τη Βιβή Νταλή.

Τέλος, θέλω να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου, στους φίλους μου, στις φίλες μου και σε όσους είναι δίπλα μου όλα αυτά τα χρόνια. Χωρίς όλους εσάς δε θα είχα καταφέρει τίποτα. Καθώς όμως έχω ξεπεράσει κάθε λογικό όριο αναφορικά με την έκταση του προλόγου της παρούσας διατριβής, υπόσχομαι να εκφράσω αυτό που νοιώθω κατ' ιδίαν και με ιδιόχειρη αφιέρωση πάνω στο αντίτυπο που θα λάβετε.

Άγγελος Γ. Ανδρουλιδάκης

Αθήνα, Μάρτιος 2006

Πίνακας Περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	23
1.1. Εισαγωγή	23
1.2. Ταξινόμηση των ιατρικών λαθών	24
1.3. Ποιος ευθύνεται για τα ιατρικά λάθη;	25
1.4. Πώς μπορούν να αποφευχθούν τα ιατρικά λάθη;	26
1.5. Τι είναι ένα σύστημα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων;	27
1.6. Η εξέλιξη των συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων	28
1.7. Η ωρίμανση ενός συστήματος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων (Pathfinder)	30
1.8. Τα συστήματα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων ως εργαλείο πρόληψης των ιατρικών λαθών	31
1.9. Σενάρια χρήσης συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων για την πρόληψη ιατρικών λαθών	33
1.10. Χαρακτηριστικά επιτυχίας των συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων ..	36
1.11. Στόχοι και αντικείμενο της διατριβής	41
1.12. Συνεισφορά της ερευνητικής εργασίας και καινοτομία	43
1.13. Σκελετός διατριβής	45
1.14. Βιβλιογραφικές Αναφορές	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΔΙΚΤΥΑ BAYES	57
2.1. Τα πλεονεκτήματα των δικτύων Bayes για την ανάπτυξη συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων	57
2.2. Τα συστατικά ενός δικτύου Bayes	57
2.3. Εξαγωγή συμπερασμάτων σε δίκτυα Bayes	59
2.4. Μετασχηματισμός ενός δικτύου Bayes	61
2.5. Τριγωνισμός στον αλγόριθμο HUGIN	62
2.6. Διάδοση των ευρημάτων σε δίκτυα Bayes	64
2.7. Διάδοση των ευρημάτων στο λογισμικό HUGIN	66
2.8. Βιβλιογραφικές Αναφορές	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΡΟΤΥΠΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΚΛΙΝΙΚΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ..	69
3.1. Περιγραφή πρότυπου συστήματος	69
3.1.1. Κόμβοι Λήψης Αποφάσεων	70
3.1.2. Το κλινικό δίκτυο Bayes	73
3.1.3. Η εφαρμογή αλληλεπίδρασης με το πρότυπο σύστημα	75
3.2. Κριτήρια επιλογής πρότυπου ΣΥΚΑ	77
3.3. Βιβλιογραφικές Αναφορές	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ	81
4.1. Εισαγωγή	81
4.2. Τεχνικές ανάλυσης απόδοσης	81
4.2.1. Ο αναλυτής Intel VTune Performance Analyzer	82
4.2.2. Δειγματοληψία EBS	84
4.2.3. Ερμηνεία και Συμπεράσματα	86
4.3. Βελτιστοποίηση του μηχανισμού εξαγωγής συμπερασμάτων	87
4.4. Βιβλιογραφικές Αναφορές	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	91
5.1. Παράλληλη επεξεργασία	91
5.2. Μεθοδολογία σχεδιασμού παράλληλων αλγορίθμων	92
5.3. Συστοιχίες υπολογιστών	94
5.4. Μέτρηση της Απόδοσης της Παραλληλοποίησης	95
5.5. Πρωτόκολλα επικοινωνίας διεργασιών	97

5.5.1. Message Passing Interface (MPI).....	97
5.5.2. Parallel Virtual Machine (PVM).....	100
5.5.3. OpenMP.....	101
5.6. Απαιτήσεις παραλληλοποίησης του προτύπου συστήματος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων	101
5.7. Βιβλιογραφικές Αναφορές	103
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ BAYES.....	105
6.1. Παραλληλοποίηση της εξαγωγής συμπερασμάτων σε δίκτυα Bayes	105
6.1.1. Παραλληλοποίηση με βάση την τοπολογία του δικτύου	106
6.1.2. Παραλληλοποίηση των υπολογισμών στο εσωτερικό των κλικών.....	108
6.1.3. Παραλληλοποίηση με βάση τη δέσμευση ενός συνόλου μεταβλητών (conditioning)	109
6.1.4. Συμπεράσματα.....	111
6.2. Αξιολόγηση των δυνατοτήτων παραλληλοποίησης του πιθανοτικού συμπερασμού για το δίκτυο του προτύπου ΣΥΑ.....	111
6.2.1. Ανάλυση του δέντρου ζεύξης του πρότυπου συστήματος	113
6.3. Συμπεράσματα.....	115
6.4. Βιβλιογραφικές Αναφορές	117
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΚΛΙΝΙΚΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ	119
7.1. Προτεινόμενη μεθοδολογία για την παραλληλοποίηση συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων	119
7.2. Ανάλυση του αλγορίθμου του πρότυπου συστήματος.....	122
7.3. Διαδικασία ανάπτυξης παράλληλου συστήματος	125
7.3.1. Μεταφορά του πηγαίου κώδικα σε πρότυπη C++.....	125
7.3.2. Ανάπτυξη μεταφέρσιμης Βάσης Δεδομένων Προσαρμογής.....	126
7.3.3. Είσοδος/Εξοδος προτύπου συστήματος από/προς XML αρχεία	130
7.4. Αποτελέσματα	131
7.5. Βιβλιογραφικές Αναφορές	133
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	135
8.1. Υποδομή Πλέγματος (Grid)	135
8.2. Βασικά Συστατικά μιας Υποδομής Πλέγματος.....	136
8.3. Αρχιτεκτονική Ενδιάμεσου Λογισμικού LCG-2.....	136
8.3.1. Ασφάλεια.....	137
8.3.2. User Interface	138
8.3.3. Υπολογιστικά και Αποθηκευτικά Στοιχεία	138
8.3.4. Υπηρεσία Πληροφοριών	139
8.3.5. Διαχείριση Εργασιών	141
8.3.6. Ροή Εργασιών.....	141
8.4. Γλώσσες περιγραφής εργασιών.....	143
8.5. Grid Laboratory Uniform Environment (GLUE).....	144
8.6. Βιβλιογραφικές Αναφορές	146
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	147
9.1. Εισαγωγή.....	147
9.2. Αξιοποίηση έργων σταθμών εργασίας	148
9.2.1. Συμπεράσματα.....	148
9.3. Αξιολόγηση του Υπολογιστικού Πλέγματος	149
9.3.1. Πρόσβαση στο Πλέγμα	149

9.3.2. Προσομοίωση λειτουργίας συστήματος υψηλής επίδοσης στο Πλέγμα.....	151
9.3.3. Συμπεράσματα.....	152
9.4. Βιβλιογραφικές Αναφορές	155
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΚΛΙΝΙΚΩΝ	
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ.....	157
10.1. Στόχοι του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος υποστήριξης αποφάσεων	157
10.2. Χαρακτηριστικά της υπηρεσιο-στρεφούς αρχιτεκτονικής.....	160
10.3. Οι τέσσερις αρχές της υπηρεσιο-στρεφούς αρχιτεκτονικής.....	161
10.4. Χαρακτηριστικά του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος.....	163
10.5. Αρχιτεκτονική του περιβάλλοντος	165
10.5.1. Υπηρεσία Εικονικού Ιατρικού Φακέλου.....	165
10.5.2. Υπηρεσία Ενεργοποίησης Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων.....	166
10.5.3. Υπηρεσία Δρομολόγησης Αιτήσεων.....	166
10.5.4. Υπηρεσίες Επεξεργασίας Αιτήσεων.....	167
10.5.5. Υπηρεσία Αποδεικτικής Ιατρικής	167
10.5.6. Υποσύστημα Διεπαφής Χρήστη.....	168
10.6. Τεχνολογίες για την ολοκλήρωση των υπηρεσιών.....	169
10.7. Βιβλιογραφικές Αναφορές	175
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11. ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥ ΙΑΤΡΙΚΟΥ ΦΑΚΕΛΟΥ.....	177
11.1. Στόχοι της Υπηρεσίας Εικονικού Ιατρικού Φακέλου	177
11.2. Πρότυπα Ηλεκτρονικού Ιατρικού Φακέλου.....	178
11.2.1. CEN/TC 251.....	178
11.2.2. ISO/TC 215	178
11.2.3. HL7.....	179
11.2.4. HL7 Clinical Document Architecture (CDA)	180
11.2.5. ASTM Continuity of Care Record (CCR).....	181
11.3. Στρατηγικές ενημέρωσης εγγράφων XML	181
11.4. Κωδικοποίηση Εικονικού Ιατρικού Φακέλου	183
11.5. XML Schema Εικονικού Ιατρικού Φακέλου	185
11.6. Υπηρεσία Εικονικών Ιατρικών Φακέλων.....	189
11.6.1. Δρομολόγηση μηνυμάτων	190
11.6.2. Μετασχηματισμός των μηνυμάτων στην κοινή κωδικοποίηση	190
11.6.3. Διεπαφή του Εικονικού Ιατρικού Φακέλου (ΕΙΦ).....	193
11.6.4. Ενημέρωση συνδρομητών	193
11.7. Βάση δεδομένων ΕΙΦ.....	193
11.8. Μηχανισμός ενημέρωσης υπηρεσιών-συνδρομητών	194
11.9. Σενάριο ολοκλήρωσης της Υπηρεσίας ΕΙΦ με το Πληροφοριακό Σύστημα	
Εργαστηριών του νοσοκομείου	196
11.10. Βιβλιογραφικές Αναφορές	201
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12. ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΚΑ.....	203
12.1. Στόχοι της Υπηρεσίας Ενεργοποίησης ΣΥΚΑ.....	203
12.2. Χαρακτηριστικά των Έμπειρων Συστημάτων.....	204
12.3. Χαρακτηριστικά του Έμπειρου Συστήματος της Υπηρεσίας	204
12.4. Σενάριο Ενεργοποίησης για περιστατικά Σήψης	206
12.5. Βιβλιογραφικές Αναφορές	209
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13. ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΙΤΗΣΕΩΝ.....	211
13.1. Εισαγωγή.....	211
13.2. Αρχιτεκτονική Υπολογιστικού Πόρου	212
13.2.1. Διεπαφή Εργασιών	213
13.2.2. Διεπαφή Παρακολούθησης	215

13.3. Υλοποίηση της Υπηρεσίας σε περιβάλλον Linux	217
13.4. Βιβλιογραφικές Αναφορές	218
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14. ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΙΤΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ	
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ	219
14.1. Εισαγωγή	219
14.2. Η λειτουργία της Υπηρεσίας Δρομολόγησης	221
14.3. Αρχεία Ρυθμίσεων της Υπηρεσίας	226
14.3.1. Κατάλογος Πόρων	226
14.3.2. Αρχείο Ελάχιστων Υπολογιστικών Απαιτήσεων	226
14.3.3. Πίνακας ονομαστικών χρόνων ολοκλήρωσης εργασιών	227
14.4. Ενότητα Συλλογής Πληροφοριών	228
14.5. Ενότητα Χρονοδρομολόγησης	229
14.5.1. Διαδικασία επιλογής αλγορίθμου χρονοδρομολόγησης	229
14.5.2. Προσομοίωση αλγορίθμων χρονοδρομολόγησης	231
14.5.3. Συμπεράσματα	233
14.6. Ενότητα Αντιστοίχισης Περιεχομένου	234
14.7. Ενότητα Αποστολής Εργασιών	236
14.8. Ολοκλήρωση των ενοτήτων λογισμικού	236
14.9. Βιβλιογραφικές Αναφορές	238
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15. ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΑΠΟΔΕΙΚΤΙΚΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ	239
15.1. Εισαγωγή	239
15.2. Τι εμποδίζει την υιοθέτηση της Αποδεικτικής Ιατρικής;	240
15.3. Χαρακτηριστικά της Υπηρεσίας Αποδεικτικής Ιατρικής	242
15.4. Λειτουργία της Υπηρεσίας Αποδεικτικής Ιατρικής	243
15.5. Βιβλιογραφικές Αναφορές	246
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 16. ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ	247
16.1. Εισαγωγή	247
16.2. Ενσωμάτωση υπολογιστικών κόμβων	248
16.3. Ενσωμάτωση νέου συστήματος υποστήριξης αποφάσεων στο περιβάλλον	249
16.4. Καταχώρηση υπηρεσιών-συνδρομητών στην υπηρεσία ΕΙΦ	251
16.5. Υποσύστημα Διεπαφής Χρήστη	252
16.5.1. Πιστοποίηση της ταυτότητας του χρήστη	253
16.5.2. Δημιουργία νέου κλινικού περιστατικού	253
16.5.3. Αναζήτηση και ανάκτηση κλινικού περιστατικού	254
16.5.4. Διαχείριση Συμπτωμάτων	254
16.5.5. Διαχείριση Διαγνώσεων	255
16.5.6. Διαχείριση Ζωτικών Σημείων	256
16.5.7. Διαχείριση Φαρμακευτικής Αγωγής	257
16.5.8. Διαχείριση Αλλεργιών	257
16.5.9. Αποδεικτική Ιατρική	258
16.6. Βιβλιογραφικές Αναφορές	260
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 17. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ	261
17.1. Αξιολόγηση της ερευνητικής εργασίας	261
17.2. Συμπεράσματα	264
17.3. Επεκτάσεις και ανοικτά θέματα	266
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	269
Κανόνες αναγνώρισης περιστατικού σήψης μέσα στον εικονικό ιατρικό φάκελο	269
Το συμβόλαιο των λειτουργιών της Υπηρεσίας Επεξεργασίας Αιτήσεων	270

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Εισαγωγή

Τα ιατρικά λάθη αποτελούν μια από τις βασικότερες αιτίες θανάτου ή βλάβης της υγείας. Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν μελέτες σχετικά με την έκταση και τη σοβαρότητα των ιατρικών λαθών στην Ελλάδα, στην παρούσα διατριβή παρουσιάζονται στοιχεία από άλλες χώρες. Το Institute of Medicine των ΗΠΑ αναφέρει ότι τουλάχιστον 44.000 και έως 98.000 Αμερικάνοι πολίτες χάνουν τη ζωή τους κάθε χρόνο λόγω ιατρικών λαθών, ενώ 1.000.000 πολίτες υφίστανται κάποια βλάβη [1]. Ακόμα και εάν χρησιμοποιήσουμε την πιο μετριοπαθή εκτίμηση, ο αριθμός των θανάτων που οφείλονται σε ιατρικά λάθη υπερβαίνει τον αριθμό αυτών που αποδίδονται στον καρκίνο του στήθους ή στον ιό του AIDS. Στην Ευρώπη η κατάσταση είναι αντίστοιχη: Μια αναδρομική έρευνα σε Βρετανικά νοσοκομεία αναφέρει ότι 11,7% των ασθενών πλήττονται από «ανεπιθύμητα συμβάντα», τα μισά από τα οποία κρίνεται ότι θα μπορούσαν να αποφευχθούν, ενώ το ένα τρίτο από αυτά οδηγεί σε ήπια ή σοβαρότερη αναπηρία ή θάνατο [2]. Ως *ανεπιθύμητο συμβάν* θεωρούμε κάθε επιβλαβή εκδήλωση σε ασθενή που προκαλείται από ιατρικούς χειρισμούς και δε συνδέεται με την κατάσταση της υγείας του. Τα ανεπιθύμητα συμβάντα που αποδίδονται σε ιατρικά λάθη θα μπορούσαν να προληφθούν, ενώ ένα υποσύνολο αυτών συμβαίνουν από επιπολαιότητα ή αμέλεια, δηλαδή ικανοποιούνται τα νομικά κριτήρια που αποδεικνύουν την αμέλεια (π.χ. η παρεχόμενη περίθαλψη δεν ανταποκρίνεται στο επίπεδο που θα αναμέναμε από ένα μέσο ιατρό ικανό να αντιμετωπίσει το δεδομένο περιστατικό). Οι σχετικές μελέτες [3] συμφωνούν ότι περισσότερα από τα μισά ανεπιθύμητα συμβάντα θα μπορούσαν να προληφθούν, ενώ το κόστος για το σύστημα υγείας που σχετίζεται με τα συμβάντα αυτά είναι ιδιαίτερα υψηλό.

1.2. Ταξινόμηση των ιατρικών λαθών

Η μελέτη που συνέταξαν οι Leape κ.α. [4] κατατάσσει τα ιατρικά λάθη σε διαγνωστικά, θεραπευτικά, προληπτικά και άλλα. Η μελέτη συμπεραίνει ότι το 70% των ανεπιθύμητων συμβάντων θα μπορούσε να προληφθεί, ενώ οι πιο συνήθεις τύποι λαθών είναι τα τεχνικά λάθη (44%), οι λάθος διαγνώσεις (17%), η αδυναμία να αποτραπεί η βλάβη (12%) και τα λάθη στη χορήγηση φαρμάκων (10%). Στη συνέχεια παρατίθενται οι κυριότεροι τύποι λαθών σύμφωνα με τη μελέτη:

- **Διαγνωστικά**
 - ✓ Λανθασμένη ή καθυστερημένη διάγνωση
 - ✓ Μη διεξαγωγή των ενδεικνυόμενων εξετάσεων
 - ✓ Χρήση παρωχημένων εξετάσεων ή θεραπειών
 - ✓ Ελλιπής αξιολόγηση των ευρημάτων της κλινικής εξέτασης ή των αποτελεσμάτων εξετάσεων
- **Θεραπευτικά**
 - ✓ Λάθος κατά τη διεξαγωγή επέμβασης, διαδικασίας ή εξέτασης
 - ✓ Λάθος κατά την παροχή θεραπείας
 - ✓ Λάθος δοσολογία ή μέθοδος χρήσης φαρμάκου
 - ✓ Καθυστερήση στην έναρξη της θεραπείας ή καθυστερημένη ανταπόκριση σε μη κανονικά αποτελέσματα εξετάσεων
 - ✓ Ακατάλληλη (μη ενδεδειγμένη) θεραπεία
- **Προληπτικά**
 - ✓ Μη παροχή προληπτικής αγωγής
 - ✓ Ανεπαρκής παρακολούθηση ή follow-up
- **Άλλα**
 - ✓ Ελλιπής συνεργασία ανάμεσα στο ιατρικό προσωπικό
 - ✓ Αστοχία του εξοπλισμού

Μια πιο συνοπτική ταξινόμηση των παραγόντων που συμβάλλουν στο ιατρικό λάθος με την ευρεία έννοια, περιλαμβάνει τις ακόλουθες τρεις συνιστώσες: την υπερπροσφορά, την υποπροσφορά και τη λανθασμένη προσφορά υπηρεσιών [5], όπου:

- **Υπερπροσφορά** είναι π.χ. η χορήγηση αντιβιοτικών σε ιώσεις.
- **Υποπροσφορά** είναι π.χ. το να μη γίνει αντιγριπικό εμβόλιο σε ηλικιωμένο διαβητικό.
- **Λανθασμένη προσφορά** είναι π.χ. να δοθεί πενικιλίνη σε ασθενή που είναι γνωστό ότι είναι αλλεργικός σε αυτήν.

1.3. Ποιος ευθύνεται για τα ιατρικά λάθη;

Στην κοινή γνώμη είναι διαδεδομένη η πεποίθηση ότι για τα ιατρικά λάθη ευθύνεται η ανικανότητα ή η αμέλεια μεμονωμένων ιατρών. Η άποψη αυτή προσεγγίζει τα σφάλματα με άξονα το άτομο: Το να κατηγορείς ορισμένους «κακούς» ιατρούς ικανοποιεί περισσότερο το συναίσθημα από το να κατηγορείς το πολύπλοκο σύστημα παροχής ιατρικών υπηρεσιών για την ανεπάρκειά του να θωρακιστεί αποτελεσματικά απέναντι στο - αναπόφευκτο - ανθρώπινο λάθος. Η προσέγγιση του «ιατρού-ενόχου» ευνοείται από τα Μέσα Μαζικής Ενημέρωσης (ΜΜΕ), τα οποία για λόγους θεαματικότητας δημιουργούν ένα κλίμα επιθετικότητας εναντίον των ιατρών [5]. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αμυντική στάση των ιατρών, οι οποίοι δεν παραδέχονται το λάθος και αποφεύγουν να αναφέρουν τους παράγοντες που οδήγησαν σε αυτό. Συνεπώς, η ευκαιρία να αναλυθεί το ιατρικό λάθος, ώστε να μην επαναληφθεί, χάνεται για πάντα.

Μια διαφορετική προσέγγιση είναι αυτή που μεταφέρει την ευθύνη από το άτομο στο σύστημα παροχής ιατρικών υπηρεσιών [6]: Εφόσον «τα λάθη είναι ανθρώπινα», θα πρέπει να περιμένουμε να συμβούν. Συνεπώς, τα λάθη αντιμετωπίζονται ως οι συνέπειες και όχι οι αιτίες του προβλήματος, καθώς δεν πηγάζουν από την ατέλεια της ανθρώπινης φύσης, αλλά από παράγοντες του συστήματος. Οι άνθρωποι πέφτουν στις «παγίδες» που υπάρχουν στο χώρο εργασίας και στις οργανωτικές διαδικασίες που ακολουθούνται, και οδηγούνται σε λάθη. Ο τρόπος αντιμετώπισης βασίζεται στην υπόθεση ότι εφόσον δεν μπορούμε να αλλάξουμε τον ανθρώπινο παράγοντα, προσπαθούμε να αλλάξουμε τις συνθήκες κάτω από τις οποίες εργάζονται οι άνθρωποι. Η κεντρική ιδέα είναι οι άμυνες του συστήματος: η κατασκευή πολλών στρωμάτων προστασίας απέναντι στο λάθος. Έτσι, όταν αντιμετωπίσουμε ένα ανεπιθύμητο συμβάν, το σημαντικό θέμα δεν είναι να «δικάσουμε» τους ενόχους, αλλά να εντοπίσουμε τους παράγοντες που επωάζουν το λάθος και

εμποδίζουν τις άμυνες του συστήματος να λειτουργήσουν αποτελεσματικά. Κάθε ανεπιθύμητο συμβάν αποτελεί πηγή γνώσης για τον επανασχεδιασμό και τη βελτίωση των στρωμάτων προστασίας του συστήματος.

1.4. Πώς μπορούν να αποφευχθούν τα ιατρικά λάθη;

Η παραδοχή ότι το λάθος είναι αναπόφευκτο οδηγεί στην ανάγκη ανάπτυξης μηχανισμών διαχείρισης σφαλμάτων. Η διαχείριση σφαλμάτων βασίζεται στην κατανόηση της φύσης και της έκτασης των λαθών, στην αλλαγή των συνθηκών που οικοδομούν τα λάθη, στον καθορισμό συμπεριφορών που προλαμβάνουν τα λάθη ή αμβλύνουν τις συνέπειές τους και στην εκπαίδευση του προσωπικού στη χρήση των μεθόδων πρόληψης [7]. Η ιατρική περίθαλψη συγκρίνεται συχνά με την αεροπορία, με το σκεπτικό ότι ενώ αρκετοί παράγοντες που οδηγούν σε λάθη είναι κοινοί και στις δύο περιπτώσεις, τα πρωτόκολλα διαχείρισης σφαλμάτων στην αεροπορία είναι πολύ πιο αποτελεσματικά [8]. Συνεπώς, προτείνεται η υιοθέτηση από τον ιατρικό κόσμο μεθόδων διαχείρισης σφαλμάτων που εφαρμόζονται με επιτυχία στην αεροπορία. Μια τέτοια προσέγγιση πρέπει να έχει ως αφετηρία τη λεπτομερή γνώση της λειτουργίας των οργανισμών, των κανόνων που τους διέπουν και του προσωπικού που εργάζεται σε αυτούς. Η θωράκιση απέναντι στο σφάλμα απαιτεί τη συλλογή δεδομένων από εμπιστευτικά συστήματα αναφοράς περιστατικών και συστηματικές παρατηρήσεις της ομαδικής απόδοσης, καθώς και λεπτομερή ανάλυση των ανεπιθύμητων περιστατικών. Τα επόμενα βήματα είναι:

- Ορισμός αλγορίθμων για κάθε ιατρική πράξη και προσεκτική επιλογή του προσωπικού που απασχολείται
- Ίδρυση ειδικών επιτροπών για την ατιμώρητη αναφορά των λαθών από τους ιατρούς
- Μέτρηση της ποιότητας των υπηρεσιών, της ασφάλειας και του κόστους
- Δημιουργία εφεδρικών μηχανισμών υποστήριξης και συναγερμού
- Παροχή κινήτρων καλής ποιότητας για το ιατρικό και παραϊατρικό προσωπικό
- Επανεκπαίδευση και συνεχιζόμενη εκπαίδευση του ιατρικού και παραϊατρικού προσωπικού

Στο πλαίσιο της κατασκευής πολλαπλών στρωμάτων προστασίας απέναντι στο ανθρώπινο λάθος είναι απαραίτητη η υποστήριξη όλων των δραστηριοτήτων από σύγχρονη τεχνολογία

και η μηχανοργάνωση των νοσοκομείων. Ειδικότερα, απαιτείται η ανάπτυξη μεθόδων και εργαλείων που να υποστηρίζουν τους ιατρούς κατά τη λήψη κρίσιμων αποφάσεων, κατά κύριο λόγο σε τομείς και δραστηριότητες που έχει αναγνωριστεί ότι παρουσιάζουν υψηλό αριθμό σφαλμάτων. Όλο και περισσότεροι οργανισμοί παροχής υπηρεσιών υγείας υιοθετούν υπολογιστικά Συστήματα Υποστήριξης Κλινικών Αποφάσεων (ΣΥΚΑ), που παρέχουν στους ιατρούς αξιολόγηση των κλινικών περιστατικών και συστάσεις εστιασμένες στις ιδιαιτερότητες κάθε ασθενή, σε μια προσπάθεια να καθοδηγηθούν στη λήψη ορθότερων αποφάσεων και στην ελαχιστοποίηση των ιατρικών λαθών.

1.5. Τι είναι ένα σύστημα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων;

Ένα Σύστημα Υποστήριξης Κλινικών Αποφάσεων (ΣΥΚΑ) μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι «κάθε πρόγραμμα υπολογιστή που είναι σχεδιασμένο για να βοηθήσει τους ιατρούς να πάρουν κλινικές αποφάσεις». Καθώς ο ορισμός αυτός είναι πολύ ευρύς και περιλαμβάνει κάθε σύστημα αποθήκευσης, ανάκτησης και παρουσίασης ιατρικής πληροφορίας, ένας πιο εστιασμένος ορισμός που προτείνεται από τους Wyatt και Spiegelhalter [9] για τα ΣΥΚΑ είναι ότι αποτελούν :

«ενεργά γνωσιακά συστήματα που χρησιμοποιούν δύο ή περισσότερα στοιχεία των δεδομένων του ασθενή με στόχο την παροχή συμβουλών για ένα συγκεκριμένο κλινικό επεισόδιο».

Ο ορισμός αυτός περιλαμβάνει τα βασικά συστατικά ενός ΣΥΚΑ, που είναι:

- *Ιατρική γνώση*: Η αναπαράσταση της ιατρικής γνώσης διαφέρει από σύστημα σε σύστημα. Για παράδειγμα, η γνώση σχετικά με ένα φάρμακο θα μπορούσε να αναπαρασταθεί με τη μορφή ενός φαρμακοκινητικού μοντέλου, που περιγράφει τη συμπεριφορά του φαρμάκου.
- *Δεδομένα του ασθενή*: Η ιατρική γνώση που περιέχεται στο ΣΥΚΑ χρησιμοποιείται για να ερμηνεύσει τα δεδομένα του ασθενή. Για παράδειγμα, τα χαρακτηριστικά του ασθενή χρησιμοποιούνται ως παράμετροι για το φαρμακοκινητικό μοντέλο.
- *Συμβουλή εστιασμένη στο επεισόδιο*: Η συμβουλή παράγεται εφαρμόζοντας τα δεδομένα του ασθενή στην ιατρική γνωσιακή βάση, π.χ. μέσω της εφαρμογής των

δεδομένων στο φαρμακοκινητικό μοντέλο προτείνεται η δοσολογία ενός φαρμάκου για τον συγκεκριμένο ασθενή.

1.6. Η εξέλιξη των συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων

Η έρευνα σχετικά με την τεχνητή νοημοσύνη στην ιατρική ξεκινάει από τις αρχές της δεκαετίας του 1970. Διάφορες ερευνητικές ομάδες ανέπτυξαν υπολογιστικά συστήματα με στόχο την υποστήριξη των κλινικών ιατρών στη λήψη ορθών αποφάσεων αναφορικά με διαγνώσεις και θεραπείες. Ένα κλασικό σύστημα που αναπτύχθηκε από τον De Dombal [10] έκανε διάγνωση σε ασθενείς με οξύ κοιλιακό πόνο. Αφού ο ιατρός εισάγει τα συμπτώματα του ασθενή, το σύστημα παράγει τις πιθανότητες των πιθανών διαγνώσεων. Οι πιθανές ασθένειες θεωρούνται αμοιβαία αποκλειόμενες και τα κλινικά ευρήματα πάνω στα οποία βασίζεται η διάγνωση υπό συνθήκη ανεξάρτητα σε σχέση με την ασθένεια. Οι παραπάνω υποθέσεις καθιστούν πολύ εύκολους τους υπολογισμούς, αλλά συνήθως απέχουν πολύ από την πραγματικότητα. Παρά την απλοϊκότητά του, το παραπάνω σύστημα υποβλήθηκε σε έλεγχο σε 8 ιατρικά κέντρα και αποδείχτηκε ότι μπορεί να βελτιώσει την κλινική πρακτική, αυξάνοντας τη διαγνωστική ακρίβεια από 46% σε 65%, μειώνοντας τη θνησιμότητα κατά 22% και συμβάλλοντας σε ουσιαστική μείωση του κόστους [11].

Παρά τον αρχικό ενθουσιασμό, τα πιθανοτικά συστήματα όπως του De Dombal γρήγορα έχασαν την ευρύτερη υποστήριξη. Κι αυτό γιατί η υπόθεση της ανεξαρτησίας υπό συνθήκη (conditional independence) κάνει τα συστήματα να είναι υπερβολικά σίγουρα για τις διαγνώσεις τους. Ταυτόχρονα, εκείνη την εποχή οι ερευνητές πίστευαν ότι η άρση της υπόθεσης αυτής θα είχε δύο δυσμενείς επιπτώσεις: Πρώτον, θα απαιτούσε τη συλλογή χιλιάδων ή ακόμα και εκατομμυρίων συνδυασμένων πιθανοτήτων υπό-συνθήκη (joint conditional probabilities) και δεύτερον, ακόμα και αν οι πιθανότητες αυτές ήταν διαθέσιμες, η υπολογιστική πολυπλοκότητα του όλου εγχειρήματος θα το καθιστούσε μη εφικτό. Τα πιθανοτικά συστήματα δεν θεωρούνταν πλέον πρακτικά [12], ενώ κάποιιοι αμφισβητούσαν την καταλληλότητα της θεωρίας των πιθανοτήτων για την υποστήριξη αποφάσεων σε συνθήκες αβεβαιότητας [13] ή τη θεωρούσαν «επιστημονικά ανεπαρκή» [14].

Μέσα στο παραπάνω πλαίσιο αναπτύχθηκε το σύστημα MYCIN [15] στο Πανεπιστήμιο του Stanford των Ηνωμένων Πολιτειών με στόχο να βοηθήσει τους ιατρούς να διαγνώσουν τις πιθανές αιτίες της βακτηριαιμίας και της μηνιγγίτιδας και να επιλέξουν την κατάλληλη

θεραπεία. Η εξαγωγή των συμπερασμάτων στο MYCIN βασίζεται στη χρήση ενός συνόλου κανόνων. Οι κανόνες αυτοί επιτρέπουν στο σύστημα να οικοδομήσει ένα δίκτυο συλλογισμών, ξεκινώντας από παρατηρήσεις σχετικά με τον ασθενή, όπως συμπτώματα ή αποτελέσματα εργαστηριακών εξετάσεων, συνεχίζοντας το συλλογισμό μέσα από ένα ή περισσότερα ενδιάμεσα επίπεδα και καταλήγοντας σε κάποια διάγνωση ή θεραπεία. Το MYCIN διαχειρίζεται την αβεβαιότητα με το να αναθέτει συντελεστές βεβαιότητας σε κάθε κανόνα, εξαλείφοντας έτσι την ανάγκη για υπολογισμό των πιθανοτήτων. Τα συστήματα που βασίζονται σε κανόνες αναφέρονται και σαν «έμπειρα συστήματα», γιατί με τα σύνολα των κανόνων προσπαθούν να μιμηθούν τον τρόπο σκέψης των ειδικών επαγγελματιών κάθε χώρου. Τα παραπάνω συστήματα, όπως και αυτά που χρησιμοποιούν τη θεωρία των ασαφών συνόλων (fuzzy sets) που εισήχθη από τον Zadeh [16], αποτέλεσαν τη «ραχοκοκαλιά» του τομέα της τεχνητής νοημοσύνης στην ιατρική για περισσότερο από μια δεκαετία. Μια πιθανή εξήγηση είναι ότι παρέχουν μια πιο πλούσια δομή από συστήματα τύπου De Dombal, κάτι που επιτρέπει στον κατασκευαστή του ΣΥΚΑ να ενσωματώσει μέσα σε αυτά επαρκή ιατρική γνώση τόσο από τη βιβλιογραφία, όσο και από την κλινική εμπειρία.

Παρά τα αναμφίβολα πλεονεκτήματά τους για την αναπαράσταση της ιατρικής γνώσης, η ενσωμάτωση των «έμπειρων συστημάτων» στην κλινική πραγματικότητα αποδείχτηκε δύσκολη. Στα μέσα της δεκαετίας του 1980 η κριτική με στόχο τα συστήματα που βασίζονται σε σύνολα κανόνων κορυφώθηκε, κυρίως λόγω της αδυναμίας τους να εφαρμοστούν στην πράξη. Ο Pearl αναφέρει έναν αριθμό από σημασιολογικές αδυναμίες στα συστήματα αυτά, που τα οδηγούν σε συμπεράσματα αντίθετα προς τη διαίσθησή μας [17]. Για παράδειγμα, συνδέοντας τους παρακάτω κανόνες:

- AN ο ψεκαστήρας είναι ανοικτός TOTE το έδαφος είναι υγρό
- AN το έδαφος είναι υγρό TOTE έχει βρέξει

οδηγούμαστε στο παράδοξο συμπέρασμα ότι αν «ο ψεκαστήρας είναι ανοικτός», τότε «έχει βρέξει».

Ο Pearl τονίζει τη σημασία της διάκρισης μεταξύ αιτίου και αποτελέσματος στη σύνταξη των κανόνων. Η διάκριση αυτή μας επιτρέπει να αναγνωρίσουμε ότι οι δύο παραπάνω κανόνες έχουν μια ουσιαστική διαφορά: Ο πρώτος οδηγεί από το αίτιο στο αποτέλεσμα, ενώ ο δεύτερος από το αποτέλεσμα στο αίτιο. Ο Pearl συμπεραίνει ότι «Προφανώς, δεν αρκεί να προσθέσεις ένα απαλό λούστρο πιθανοτήτων (όπως οι συντελεστές βεβαιότητας) σε ένα σύστημα που έχει χτιστεί πάνω σε σκληρή μονότονη λογική».

Στο μεταξύ, η έρευνα στον τομέα των πιθανοτικών συστημάτων είχε προχωρήσει. Ένα σημαντικό βήμα ήταν η ανάπτυξη των διαγραμμάτων επιρροής (influence diagrams) [18]. Τα διαγράμματα επιρροής έχουν ένα πιθανοτικό μέρος, που αποτελείται από ένα αιτιολογικό πιθανοτικό δίκτυο (causal probabilistic network – CPN), αλλά επιτρέπουν και στο χρήστη να καθορίσει τα αναμενόμενα οφέλη που σχετίζονται με μία ή περισσότερες τυχαίες μεταβλητές. Ένα σημαντικό βήμα προς την πρακτική χρήση των αιτιολογικών πιθανοτικών δικτύων για τη μοντελοποίηση πολύπλοκων ιατρικών προβλημάτων έγινε όταν ο Pearl [19,20] βρήκε έναν αποδοτικό αλγόριθμο για την εξαγωγή συμπερασμάτων σε δίκτυα χωρίς κύκλους, δηλαδή σε δίκτυα που έχουν την ιδιότητα ότι αν αφαιρεθεί έστω και μια σύνδεση μεταξύ των κόμβων, αυτά να χωρίζονται σε δύο ανεξάρτητα δίκτυα. Περαιτέρω πρόοδος έγινε από τους Lauritzen και Spiegelhalter [21], οι οποίοι περιέγραψαν έναν αποδοτικό αλγόριθμο για την εξαγωγή συμπερασμάτων σε πιθανοτικά δίκτυα, ακόμα και όταν αυτά περιλαμβάνουν μερικούς κύκλους.

1.7. Η ωρίμανση ενός συστήματος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων (Pathfinder)

Το διαγνωστικό σύστημα Pathfinder είναι ένα έμπειρο σύστημα για τις ασθένειες των λεμφαδένων, που αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1980 στο πανεπιστήμιο Stanford [22]. Το σύστημα χειρίζεται περισσότερες από 60 ασθένειες και πάνω από 100 κλινικά ευρήματα (συμπτώματα και αποτελέσματα εργαστηριακών εξετάσεων). Οι τέσσερις εκδόσεις του συστήματος μας επιτρέπουν να παρακολουθήσουμε την εξέλιξη των μεθόδων χειρισμού της αβεβαιότητας και τη σταδιακή ωρίμανση ενός συστήματος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων [23].

Η πρώτη έκδοση του συστήματος (PATHFINDER I) ήταν βασισμένη σε κανόνες και δεν είχε τη δυνατότητα να χειριστεί αβέβαιη γνώση. Η δεύτερη έκδοση (PATHFINDER II) περιελάμβανε πειραματισμούς με διάφορες θεωρίες εξαγωγής συμπερασμάτων υπό συνθήκες αβεβαιότητας, όπως οι συντελεστές βεβαιότητας και η θεωρία Dempster-Shafer [42,43]. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το απλοϊκό μοντέλο Bayes (όπου όλα τα ευρήματα θεωρούνται υπό συνθήκη ανεξάρτητα μεταξύ τους) έχει καλύτερη απόδοση από άλλες μεθόδους. Ένα πολύ ενδιαφέρον αποτέλεσμα του PATHFINDER II είναι ότι η διάγνωση

ήταν λανθασμένη για το 10% των περιστατικών επειδή ο εμπειρογνώμονας είχε μηδενίσει την πιθανότητα ενός σπάνιου μεν, πιθανού δε γεγονότος.

Το PATHFINDER III χρησιμοποιούσε το ίδιο απλοϊκό μοντέλο Bayes, αλλά με επανεκτίμηση των πιθανοτήτων χρησιμοποιώντας ένα διαφορετικό πρωτόκολλο και δίνοντας σημασία σε γεγονότα με χαμηλή πιθανότητα εμφάνισης, τα οποία αγνοούσε η προηγούμενη έκδοση. Το PATHFINDER IV χρησιμοποιούσε ένα δίκτυο πεποίθησης για την αναπαράσταση των εξαρτήσεων που δεν μπορούσε να χειριστεί το απλοϊκό μοντέλο Bayes. Ο κατασκευαστής του συστήματος συνεργάστηκε με έναν εμπειρογνώμονα για την ανάπτυξη του δικτύου. Ενδεικτικά, η ανάπτυξη του λεξικού διήρκεσε 8 ώρες, η κατασκευή της τοπολογίας του δικτύου πεποίθησης 35 ώρες και ο προσδιορισμός 14,000 πιθανοτήτων άλλες 40 ώρες. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο προσδιορισμός ενός τόσο μεγάλου αριθμού πιθανοτήτων υποβοηθήθηκε από την εισαγωγή της έννοιας των δικτύων ομοιότητας (similarity networks), ενώ ο κλινικός εμπειρογνώμονας ανέφερε ότι τον διευκολύνει να σκέφτεται με όρους πιθανοτήτων πάνω σε αιτιολογικούς συνδέσμους.

Τα συστήματα PATHFINDER III και PATHFINDER IV αξιολογήθηκαν με βάση 53 περιπτώσεις που παραπέμπονταν σε ειδικούς των λεμφαδένων, ενώ οι περιπτώσεις ήταν αυξημένης δυσκολίας. Το σύστημα PATHFINDER III διέγνωσε σωστά κατά μέσο όρο 7,9 στις 10 περιπτώσεις, ενώ το PATHFINDER IV 8,9, κάτι που αποτελεί σημαντική βελτίωση. Μια πρόσφατη σύγκριση αποκαλύπτει ότι το σύστημα PATHFINDER υπερτερεί των ειδικών που παρείχαν τις γνώσεις τους κατά την ανάπτυξή του, οι οποίοι συγκαταλέγονται στους κορυφαίους παθολόγους παγκοσμίως.

1.8. Τα συστήματα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων ως εργαλείο πρόληψης των ιατρικών λαθών

Η δυνατότητα των συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων να βελτιώσουν τις παρεχόμενες υπηρεσίες υγείας και να αποτρέψουν το ιατρικό λάθος έχει αποδειχτεί μέσα από πληθώρα μελετών. Ειδικότερα, μπορούμε να διακρίνουμε τους ακόλουθους άξονες δράσης [24]:

- Βελτιώνουν τις πρακτικές συνταγογράφησης φαρμάκων

Η μηχανογράφηση με στόχο τον καθορισμό της βέλτιστης δοσολογίας οδηγεί σε αυξημένες συγκεντρώσεις του φαρμάκου στο αίμα του ασθενών, μείωση του χρόνου εμφάνισης του θεραπευτικού αποτελέσματος και λιγότερες παρενέργειες, ενώ βοηθάει τους ιατρούς να προσαρμόσουν τη δοσολογία καλύτερα στις ιδιαίτερες ανάγκες κάθε ασθενή [25]. Συστήματα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων που παράγουν υπενθυμίσεις σχετικά με τη φαρμακευτική αγωγή προάγουν τη συμμόρφωση του ασθενή με τη θεραπεία, ενώ οδηγούν τους ιατρούς σε καλύτερη διαχείριση της φαρμακευτικής αγωγής, π.χ. μέσω της παραγγελίας κατάλληλων διαγνωστικών εξετάσεων [26].

- Μειώνουν τα σοβαρά λάθη στη χορήγηση φαρμακευτικής αγωγής

Περισσότερα από τα μισά προλήψιμα ανεπιθύμητα συμβάντα που σχετίζονται με φάρμακα οφείλονται σε λάθη που γίνονται κατά την παραγγελία των φαρμάκων [27]. Τα συστήματα που αυτοματοποιούν την παραγγελία συνήθως περιλαμβάνουν και συστήματα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων σε κάποιο βαθμό, είτε μέσω απλών συστάσεων για τη δόση, τον τρόπο χορήγησης ή τη συχνότητα, είτε μέσω πιο σύνθετων λειτουργιών, που περιλαμβάνουν ελέγχους της αλλεργίας σε φάρμακα, ελέγχους της αλληλεπίδρασης φαρμάκων, υπενθυμίσεις για επόμενες παραγγελίες (π.χ. παρακινώντας το χρήστη να παραγγείλει έλεγχο της γλυκόζης μετά την παραγγελία ινσουλίνης) και οδηγίες για τη θεραπευτική αγωγή. Τα συστήματα αυτά μπορούν να μειώσουν σημαντικά τα λάθη που σχετίζονται με τη χορήγηση της φαρμακευτικής αγωγής [28].

- Προάγουν την παροχή προληπτικών υπηρεσιών υγείας

Η αυτοματοποιημένη δημιουργία μηνυμάτων και υπενθυμίσεων (prompting) σχετικών με κάποιο επεισόδιο ή ασθενή μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την παροχή προληπτικής περίθαλψης [29]. Τα παρεχόμενα μηνύματα αφορούν συνήθως διαγνώσεις και ειδοποιήσεις σχετικές με την απόκλιση από το κανονικό, κριτήρια για επεμβάσεις και εξετάσεις (π.χ. η αναπνευστική ανεπάρκεια αποτελεί ένδειξη για χειρουργική παρέμβαση σε νεκρωτική παγκρεατίτιδα), συστάσεις για θεραπείες ή ενέργειες, ενδείξεις ότι πλησιάζει ο χρόνος διεξαγωγής εξετάσεων ή επεμβάσεων, πληροφορία σχετική με παραλείψεις που αφορούν ενδεικνυόμενες εξετάσεις ή επεμβάσεις κ.α. Η παροχή μηνυμάτων και υπενθυμίσεων στο σημείο που λαμβάνονται οι αποφάσεις μπορεί να μειώσει τα λάθη που οφείλονται στην

υπερπληθώρα πληροφοριών και να στρέψει την προσοχή του ιατρού σε απαραίτητες προληπτικές ενέργειες, που δε συνδέονται άμεσα με το οξύ πρόβλημα του ασθενή, όπως εμβολιασμός, προληπτικός μαστογραφικός έλεγχος κ.α.

- Προάγουν τη συμμόρφωση προς τις συνιστώμενες ιατρικές οδηγίες

Παρά τις σοβαρές πρωτοβουλίες των διαφόρων εθνικών οργανισμών να αναπτύξουν και να διαδώσουν οδηγίες, οι ιατροί συνήθως τις αγνοούν. Τα υπολογιστικά συστήματα υλοποίησης οδηγιών παρέχουν τη δυνατότητα βελτίωσης της συμμόρφωσης προς τις οδηγίες [30], κυρίως μέσω συστάσεων για ενέργειες που περιλαμβάνονται στις οδηγίες, καλύτερης τεκμηρίωσης (συλλογή και αποθήκευση παρατηρήσεων, αξιολογήσεων και παρεμβάσεων σχετικών με την περίθαλψη), αιτιολόγησης των ενεργειών και των συστάσεων που προδιαγράφονται από τις οδηγίες με βάση κριτήρια ποιότητας ή κόστους, διαθέσιμη μαρτυρία, βιβλιογραφικές αναφορές κ.α. Επιπλέον, τα συστήματα αυτά καθοδηγούν τους ιατρούς στην καταγραφή του ιατρικού ιστορικού, ενώ τους παρέχουν και ένα ενιαίο υπόβαθρο γνώσης.

1.9. Σενάρια χρήσης συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων για την πρόληψη ιατρικών λαθών

Τα ιατρικά λάθη δεν κατανέμονται ισότιμα στους διάφορους ιατρικούς τομείς και δραστηριότητες: Τέσσερις τομείς συμβάλλουν σε περισσότερο από 70% των εσφαλμένων αποφάσεων: (α) θεραπεία με αντιβιοτικά, (β) θεραπεία ασθενών με αρτηριοσκλήρυνση και συμφορητική καρδιακή ανεπάρκεια, (γ) αντιπηκτική θεραπεία και (δ) διαχείριση διαβητικών ασθενών [31]. Στη συνέχεια παρουσιάζονται εκτενέστερα τα ιατρικά λάθη που σχετίζονται με τους παραπάνω τομείς:

- Θεραπεία με αντιβιοτικά

Το 12% των νοσηλευόμενων ασθενών υποφέρουν από ήπια έως σοβαρή βακτηριακή λοίμωξη. Σε περισσότερους από το ένα τρίτο των ασθενών χορηγείται αρχικά ακατάλληλη αντιβιοτική θεραπεία, με ολέθριες συνέπειες για τον ασθενή (νοσηρότητα ή θνησιμότητα), καθώς και για την κοινωνία συνολικότερα (ανάπτυξη ανθεκτικών μικροβίων). Η εφαρμογή

κατάλληλης θεραπείας σε ένα πρώιμο στάδιο αναφέρεται ότι μπορεί να μειώσει τη θνησιμότητα στο μισό [32]. Ενώ συνήθως υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία σχετικά με τις ευαισθησίες των μικροβίων στα διαθέσιμα αντιβιοτικά και τους παράγοντες κινδύνου του ασθενή, τα στοιχεία αυτά δεν αξιοποιούνται, καθώς απαιτούνται χρονοβόροι μαθηματικοί υπολογισμοί, που περιλαμβάνουν τον πολλαπλασιασμό μεγάλων πινάκων. Στα πλαίσια του έργου TREAT, που χρηματοδοτήθηκε από το Πρόγραμμα «Τεχνολογίες της Κοινωνίας των Πληροφοριών (IST)» του 5ου Προγράμματος Πλαισίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης υλοποιήθηκε ένα σύστημα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων βασισμένο σε δίκτυο πεποίθησης Bayes, το οποίο έχει τη δυνατότητα να μειώσει την ακατάλληλη αντιβιοτική θεραπεία στο μισό [33]. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται ως πρότυπο σύστημα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων στα πλαίσια της παρούσας διατριβής. Ειδικότερα, χρησιμοποιείται για την πρακτική εφαρμογή και την τεκμηρίωση της εγκυρότητας και των μεθόδων που προτείνονται.

- Θεραπεία ασθενών με αρτηριοσκλήρυνση και συμφορητική καρδιακή ανεπάρκεια

Τα διαθέσιμα δεδομένα αποκαλύπτουν ότι τα λάθη στη φαρμακευτική αγωγή ασθενών με καρδιοαγγειακές παθήσεις είναι πολύ συχνά και συμβάλλουν αποφασιστικά σε ανεπιθύμητα συμβάντα εντός και εκτός των νοσοκομείων. Το 14% με 27% των θανάτων που σχετίζονται με καρδιοαγγειακά επεισόδια ή έμφραγμα θα μπορούσαν να έχουν αποφευχθεί, ενώ η πλειοψηφία των θανάτων από έμφραγμα του μυοκαρδίου οφείλεται σε διαχειριστικά λάθη και όχι σε λάθος διαγνώσεις [34]. Συνηθισμένα λάθη είναι η σύγχυση των ονομάτων των φαρμάκων, όπως Laprazol αντί για Lopresol, και οι αποκλίσεις από τη σωστή δοσολογία, διάρκεια ή ισχύ των φαρμάκων, που ειδικότερα στην περίπτωση των θρομβολυτικών φαρμάκων μπορεί να έχει ανεπιθύμητες συνέπειες στο κλινικό αποτέλεσμα. Επίσης, παρατηρείται η παράλειψη χορήγησης αποτελεσματικών φαρμάκων που προτείνονται από τις οδηγίες, π.χ. καταγράφεται σχετικά χαμηλό ποσοστό χορήγησης ασπιρίνης κατά το πρώτο 24ώρο του εμφράγματος του μυοκαρδίου. Τα λάθη και οι παραλείψεις αυτές μπορούν να μειωθούν δραστικά με την αυτοματοποίηση των διαδικασιών παραγγελίας, εκτέλεσης, χορήγησης και παρακολούθησης της φαρμακευτικής αγωγής και την ανάπτυξη απλών μηχανισμών υποστήριξης αποφάσεων για την παροχή συστάσεων και ελέγχων.

- Αντιπηκτική θεραπεία

Σε περίπου 8% των νοσηλευόμενων ασθενών και 4% των εξωτερικών ασθενών χορηγείται αντιπηκτική θεραπεία. Τα συνηθέστερα λάθη αφορούν την προσαρμογή της δοσολογίας της ηπαρίνης ή των κουμαρινικών αντιπηκτικών και μπορούν να οδηγήσουν σε αιμορραγία και θρόμβωση. Σχετική έρευνα απέδειξε ότι η υποστήριξη αποφάσεων από κατάλληλο λογισμικό επιτρέπει σε πρωτοβάθμιες μονάδες υγείας να παρακολουθούν τη χορήγηση αντιπηκτικής θεραπείας από το στόμα εξίσου καλά με την νοσοκομειακή παρακολούθηση [35].

- Διαχείριση διαβητικών ασθενών

Περίπου 40% των ανθρώπων με διαβήτη έχουν πολύ υψηλές τιμές γλυκόζης αίματος, κάτι που μεταφράζεται σε υψηλό ποσοστό επιπλοκών, με πιο σοβαρές την τύφλωση και τον ακρωτηριασμό των άκρων. Το ίδιο ποσοστό διαβητικών ασθενών από όσους εισάγονται στα νοσοκομεία παρουσιάζουν υπερβολικά υψηλό επίπεδο σακχάρου στο αίμα. Η χρήση συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων έχει αποδειχτεί αποτελεσματική για την προσαρμογή της θεραπείας με ινσουλίνη. Τα συστήματα αυτά βασίζονται σε σύνολα κανόνων, σε αλγόριθμους και μοντέλα του μεταβολισμού της γλυκόζης για να παρέχουν συστάσεις σχετικές με τη βέλτιστη δοσολογία ινσουλίνης [36], καθώς και συστάσεις που αφορούν τη διαίτα του ασθενούς. Διάφορα συστήματα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων, όπως το Diabetes Advisory System (DIAS), έχουν αποδειχτεί αποτελεσματικά στη μείωση των επιπέδων της γλυκοζυλιωμένης αιμοσφαιρίνης (Hb1Ac), κάτι που καθυστερεί την εμφάνιση και την πρόοδο των χρόνιων διαβητικών επιπλοκών, με ταυτόχρονη μείωση της συχνότητας των περιστατικών υπογλυκαιμίας.

Ένας άλλος τομέας που μπορεί δυνητικά να ωφεληθεί από τη χρήση συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων είναι η διαχείριση της αντιρετροϊκής αγωγής (HAART) για ασθενείς με AIDS. Με τον όρο Highly Active Anti-Retroviral Therapy (HAART), οι ειδικοί αναφέρονται σε έναν συνδυασμό τριών ή περισσότερων φαρμάκων από τουλάχιστον δύο κατηγορίες φαρμάκων κατά του AIDS. Ενώ οι αγωγές HAART μπορούν να μειώσουν σημαντικά τη θνησιμότητα που οφείλεται στον ιό του AIDS, η ταυτόχρονη χορήγηση πολλών φαρμάκων μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητες αλληλεπιδράσεις. Η κατασκευή ενός συστήματος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων που θα μοντελοποιεί τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα φάρμακα της αγωγής HAART, λαμβάνοντας υπόψη τους

παράγοντες κινδύνου του ασθενή, μπορεί να βελτιστοποιήσει τη θεραπεία και να μειώσει τις ανεπιθύμητες ενέργειες των φαρμάκων.

1.10. Χαρακτηριστικά επιτυχίας των συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων

Παρά τις αναμφίβολες δυνατότητες που προσφέρουν τα συστήματα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων για τη μείωση των ιατρικών λαθών και την ανύψωση του συνολικότερου επιπέδου των παρεχόμενων υπηρεσιών υγείας, δεν επιτυγχάνουν πάντα τη βελτίωση της κλινικής πράξης. Σε μια πρόσφατη συστηματική επιθεώρηση αναφέρεται ότι η πλειοψηφία των ΣΥΚΑ (66%) βελτίωσαν σημαντικά την κλινική πρακτική, ενώ το υπόλοιπο 34% δεν είχε ιδιαίτερο αποτέλεσμα [37]. Ο Kawamoto και άλλοι συνέταξαν μια από τις πιο ενδεδειγμένες μελέτες σχετικά με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που καθιστούν ένα ΣΥΚΑ ικανό να βελτιώσει την κλινική πρακτική. Στον Πίνακα 1-1 καταγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά των ΣΥΚΑ που κρίθηκαν ικανά να συμπεριληφθούν στη μελέτη [24]:

Χαρακτηριστικό	Παράδειγμα
Γενικά Χαρακτηριστικά	
Ολοκλήρωση με συστήματα ιατρικού φακέλου ή συστήματα παραγγελιών με στόχο την ενσωμάτωση στη ροή εργασιών	Υπενθυμίσεις για προληπτικές εξετάσεις που επισυνάπτονται στο φάκελο του ασθενή, π.χ. προειδοποίηση για αυξημένη συγκέντρωση κρεατινίνης κατά τη συνταγογράφηση αμινογλυκοσιδών σε ένα νοσηλευόμενο ασθενή
Χρήση Η/Υ για την υποστήριξη αποφάσεων	Οι ασθενείς που έχουν καθυστερήσει να υποβληθούν σε ανιχνευτικό τεστ για τον καρκίνο του τραχήλου της μήτρας ανιχνεύονται με ερώτηση προς τη βάση δεδομένων και όχι με χειροκίνητη αναζήτηση μέσα στους φακέλους

Χαρακτηριστικά της αλληλεπίδρασης ιατρού - συστήματος

Αυτόματη παροχή υποστήριξης αποφάσεων ως μέρος της ροής εργασιών	Συστάσεις για τη θεραπεία του διαβήτη τυπώνονται σε αναφορές και επισυνάπτονται στο φάκελο του ασθενή από το παραϊατρικό προσωπικό, ώστε ο ιατρός να μη χρειάζεται να αναζητήσει τη συμβουλή του ΣΥΚΑ
Δεν απαιτείται η εισαγωγή πρόσθετων δεδομένων από τον ιατρό	Πραγματοποιούνται ηλεκτρονικοί ή χειροκίνητοι έλεγχοι των φακέλων για την ανάκτηση της απαραίτητης πληροφορίας που θα καθορίσει αν ένα παιδί χρειάζεται εμβολιασμό
Απαιτείται αιτιολόγηση στις περιπτώσεις που δεν ακολουθούνται οι συστάσεις του ΣΥΚΑ	Αν ο ιατρός δεν παρέχει εμβολιασμό κατά της γρίπης, όπως συστήνεται από το σύστημα, πρέπει να αιτιολογήσει την απόφασή του, π.χ. «Ο ασθενής αρνήθηκε» ή «Διαφωνώ με τη σύσταση»
Η παροχή της υποστήριξης αποφάσεων συμβαίνει στο χώρο και κατά το χρόνο της λήψης αποφάσεων	Οι συστάσεις για προληπτική θεραπεία παρέχονται με τη μορφή υπενθυμίσεων μέσα στο φάκελο του ασθενή κατά τη διάρκεια της εξέτασης και όχι με τη μορφή μηνιαίων αναφορών με τη λίστα όλων των ασθενών που χρειάζονται προληπτικές ενέργειες
Οι συστάσεις υλοποιούνται όταν εκφράσουμε τη συμφωνία μας	Ένα ηλεκτρονικό σύστημα παραγγελιών προτείνει την ανώτερη και κατώτερη συγκέντρωση φαρμάκου σαν απόκριση σε μια παραγγελία αμινογλυκοσιδών και ο ιατρός πατάει την ένδειξη «OK» για να παραγγείλει τις συνιστώμενες εξετάσεις
Χαρακτηριστικά επικοινωνίας	
Παροχή συστάσεων και όχι μόνο αξιολόγηση ενός περιστατικού	Το σύστημα προτείνει τη χορήγηση αντικαταθλιπτικών σε έναν ασθενή, αντί να

	αναγνωρίσει απλά την καταθλιπτική συμπτωματολογία του ασθενή
Προτίμηση της δράσης έναντι της αδράνειας	Το σύστημα προτείνει μια εναλλακτική όψη για μια ακτινογραφία κοιλίας με αμφίβολη διαγνωστική αξία, αντί να προτείνει την ακύρωση της παραγγελίας
Αιτιολόγηση της υποστήριξης αποφάσεων μέσω συλλογισμών	Η σύσταση για επισκόπηση ποδιού ενός διαβητικού ασθενή αιτιολογείται από την ημερομηνία της τελευταίας εξέτασης και τη συνιστώμενη συχνότητα της εξέτασης
Αιτιολόγηση της υποστήριξης αποφάσεων μέσω της τρέχουσας μαρτυρίας	Η σύσταση για επισκόπηση ποδιού ενός διαβητικού ασθενή αιτιολογείται με την παροχή δεδομένων από Τυχαιοποιημένες Ελεγχόμενες Μελέτες που καταδεικνύουν τα οφέλη της εξέτασης αυτής
Βοηθητικά χαρακτηριστικά	
Ανάμειξη των χρηστών στην ανάπτυξη του συστήματος	Ο σχεδιασμός του συστήματος οριστικοποιήθηκε με συμμετοχή αντιπροσώπων των χρηστών
Παροχή των αποτελεσμάτων της υποστήριξης αποφάσεων και σε ασθενείς	Εκτός από υπενθυμίσεις προς τους ιατρούς, το σύστημα παράγει κάρτες που στέλνονται ταχυδρομικά στους ασθενείς για να τους πληροφορήσουν για προληπτικές ενέργειες
Περιοδική αναφορά της απόδοσης	Κάθε 2 εβδομάδες στέλνονται e-mails στους ιατρούς που συνοψίζουν τη συμμόρφωσή τους προς τις υποδείξεις του συστήματος
Παροχή συμβατικής εκπαίδευσης	Στα πλαίσια ενός ΣΥΚΑ που έχει στόχο τη μείωση της παραγγελίας περιττών ακτινογραφιών κοιλίας παρέχονται παρουσιάσεις σχετικά με τις ενδείξεις που δικαιολογούν την παραγγελία τέτοιων

Δυστυχώς, άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά που θα μπορούσαν να αιτιολογήσουν την επιτυχία ή την αποτυχία των συστημάτων υπό εξέταση δεν ήταν δυνατό να συμπεριληφθούν στη στατιστική ανάλυση, καθώς δεν μπορούσαν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με αυτά τα χαρακτηριστικά από τις μελέτες που χρησιμοποιήθηκαν. Τέτοια χαρακτηριστικά λαμβάνουν υπόψη εάν:

- ✓ Το σύστημα είναι γρήγορο
- ✓ Εξοικονομεί χρόνο από τους ιατρούς ή απαιτεί ελάχιστο χρόνο για τη χρήση του
- ✓ Η διεπαφή χρήστη (user interface) είναι διαισθητική και ξεκάθαρη, με την εμφάνιση των συστάσεων σε προεξέχουσα θέση
- ✓ Οι παρεχόμενες αξιολογήσεις και συστάσεις είναι ακριβείς

Η μελέτη συμπεραίνει ότι οι σημαντικότεροι παράγοντες που συμβάλλουν στην επιτυχία ενός ΣΥΚΑ είναι *η αυτόματη παροχή υποστήριξης αποφάσεων ως μέρος της ροής εργασιών, η παροχή της υποστήριξης αποφάσεων στο χώρο και κατά το χρόνο της λήψης αποφάσεων, η προτροπή σε ενέργειες πέρα από την απλή αξιολόγηση των περιστατικών και η ηλεκτρονική υποστήριξη (χρήση Η/Υ) στη διαδικασία της υποστήριξης αποφάσεων*. Η κοινή συνιστώσα ανάμεσα στα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι ότι διευκολύνουν τη χρήση των ΣΥΚΑ από τους ιατρούς. Για παράδειγμα, η αυτοματοποιημένη παροχή υποστήριξης αποφάσεων (π.χ. μέσω της αυτόματης εκτύπωσης συστάσεων που επισυνάπτονται μέσα στον ιατρικό φάκελο από το παραϊατρικό προσωπικό) εξαλείφει την ανάγκη να καταναλώσουν οι ιατροί χρόνο αναζητώντας οι ίδιοι τη συμβουλή του συστήματος. Επίσης, η χρήση Η/Υ ελαχιστοποιεί την ανάγκη για διαδικασίες που απαιτούν πολύ κόπο και οδηγούν εύκολα σε λάθη, όπως η χειροκίνητη συλλογή στοιχείων από ιατρικούς φακέλους. Σαν γενική αρχή, ένα αποτελεσματικό ΣΥΚΑ θα πρέπει να ελαχιστοποιεί την προσπάθεια που απαιτείται από τους ιατρούς για τη λήψη συστάσεων από το σύστημα, καθώς και για τη συμμόρφωση προς τις προτεινόμενες ενέργειες.

Στο περιβάλλον παροχής ιατρικής περίθαλψης ο χρόνος είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος, που δεν μπορεί να αγνοηθεί. Διάφορες μελέτες επισημαίνουν ότι η δυνατότητα ενός ΣΥΚΑ να εξοικονομεί χρόνο για τους χρήστες, καθώς και να απαιτεί ελάχιστο χρόνο

για τη λειτουργία του, αποτελούν βασικούς παράγοντες που θα καθορίσουν την επιτυχία του [38, 39]. Ένας από τους βασικότερους λόγους που εμποδίζουν την αποδοχή των ΣΥΚΑ στην κλινική πράξη είναι η πεποίθηση ότι η υιοθέτησή τους θα αυξήσει το χρόνο που απαιτείται για την παροχή της ιατρικής περίθαλψης, τη στιγμή που ο φόρτος εργασίας του ιατρικού και παραϊατρικού προσωπικού είναι ήδη πολύ μεγάλο. Η ταχύτητα απόκρισης του ΣΥΚΑ προβάλλεται ως ο σημαντικότερος παράγοντας επιτυχίας από την πλευρά του χρήστη [40]. Συνεπώς, παρά τα οφέλη που παρέχει η υποστήριξη κλινικών αποφάσεων αναφορικά με το επίπεδο ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών και τη μείωση του κόστους, η μη ικανοποιητική απόδοση των συστημάτων μπορεί να αποτελέσει τη βασικότερη τροχοπέδη για την πρακτική εφαρμογή τους.

Συνοψίζοντας τις σημαντικότερες παραμέτρους που μπορεί να οδηγήσουν στην αποδοχή και την επιτυχή λειτουργία των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων στην κλινική πράξη, μπορούμε να πούμε ότι απαιτείται:

- ✚ Το σύστημα να είναι γρήγορο και να μην εισάγει ανεπιθύμητες καθυστερήσεις στην εργασία του ιατρικού προσωπικού, ούτε να αυξάνει το φόρτο εργασίας
- ✚ Οι συμβουλές ή οι υποδείξεις να παρέχονται αυτόματα ως μέρος της υπάρχουσας ροής εργασιών
- ✚ Η συμβουλή να είναι διαθέσιμη στο χώρο της λήψης αποφάσεων και κατά τη χρονική στιγμή που καλείται ο ιατρός να λάβει μια απόφαση
- ✚ Το σύστημα να προτρέπει το χρήστη σε - συνήθως προληπτικές - ενέργειες που είναι εύκολο να διαφύγουν της προσοχής του στην προσπάθεια να αντιμετωπιστεί το άμεσο πρόβλημα του ασθενή

Οι αρχές αυτές αποτέλεσαν βασικούς στόχους του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων, που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, καθώς ο κεντρικός άξονας της εργασίας μας είναι η ευρύτερη υιοθέτηση των υπολογιστικών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων στην κλινική πράξη.

1.11. Στόχοι και αντικείμενο της διατριβής

Με βάση τα παραπάνω, η παρούσα διατριβή επικεντρώνεται κυρίως στην ανάπτυξη μεθόδων και υπηρεσιών που μπορούν να συμβάλλουν στην αποδοχή και την ευρεία υιοθέτηση των υπολογιστικών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων στην κλινική πράξη. Καθώς ο χρόνος απόκρισης ενός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων είναι βασικός παράγοντας που μπορεί να καθορίσει την επιτυχή ή μη εφαρμογή του, η ερευνητική προσπάθεια επικεντρώνεται αρχικά στην επιτάχυνση της απόκρισης των συστημάτων και κυρίως στην ελαχιστοποίηση του χρόνου επεξεργασίας που απαιτείται για την παροχή συμβουλών από συστήματα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων.

Επιπλέον, η παρούσα διατριβή έχει ως βασικό άξονα την ανάπτυξη μεθόδων αποδοτικότερης εξαγωγής συμπερασμάτων από συστήματα που χρησιμοποιούν δίκτυα πεποίθησης Bayes (βλ. Κεφάλαιο 2) για την αναπαράσταση της ιατρικής γνώσης, καθώς αυτά αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία ανάπτυξης συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων, κυρίως λόγω της ικανότητάς τους να επιτρέπουν την ενσωμάτωση γνώσης από τη βιβλιογραφία με γνώση από βάσεις δεδομένων κλινικών περιστατικών [41]. Η πολυπλοκότητα όμως των παραγόμενων μοντέλων και οι απαιτητικοί υπολογισμοί που σχετίζονται με την εξαγωγή συμπερασμάτων από δίκτυα Bayes αποτελούν τροχοπέδη για την επιτυχή εφαρμογή τους στην κλινική πράξη, λόγω του μη αποδεκτού χρόνου απόκρισης. Στο 1^ο μέρος της παρούσας διατριβής προτείνεται, υλοποιείται και αξιολογείται μια μεθοδολογία για την παραλληλοποίηση – και κατ' επέκταση τη σημαντική επιτάχυνση - συστημάτων αξιολόγησης ιατρικών παρεμβάσεων, η οποία μπορεί να βρει εφαρμογή σε πληθώρα συστημάτων που βασίζονται σε δίκτυα Bayes, συμβάλλοντας έτσι στην ευρεία υιοθέτηση των πολύτιμων αυτών εργαλείων στην κλινική πρακτική.

Εκτός από μεθόδους και εργαλεία για την ανάπτυξη συστημάτων υψηλής επίδοσης, η αναγνώριση της ανάγκης για πολλαπλή θωράκιση του συστήματος παροχής υπηρεσιών υγείας απέναντι στο ιατρικό λάθος οδηγεί στην εισαγωγή της έννοιας του «ολοκληρωμένου περιβάλλοντος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων». Το περιβάλλον αυτό επιτρέπει την επιτυχή σύνθεση πολλαπλών συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων για την

παροχή υποστήριξης στο σημείο λήψης των αποφάσεων μέσα σε αποδεκτά χρονικά πλαίσια και με τρόπο εύχρηστο και διάφανο για τον τελικό χρήστη. Καθώς οι υπολογιστικές απαιτήσεις ενός τέτοιου εγχειρήματος σπάνια μπορούν να καλυφθούν από τις υπάρχουσες υποδομές του συστήματος παροχής υπηρεσιών υγείας, το «ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων» δεν μπορεί παρά να είναι και κατανεμημένο. Έτσι, στο 2^ο μέρος της διατριβής παρουσιάζουμε ένα σύνολο αυτόνομων και κατανεμημένων υπηρεσιών, που επιτρέπουν την ολοκλήρωση πολλαπλών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων σε ένα ενιαίο περιβάλλον επεξεργασίας με τρόπο διάφανο για τον τελικό χρήστη. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης μπορεί να επωφελείται από συστάσεις που παράγονται αυτόματα από πολλαπλά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων μέσα σε λογικά χρονικά πλαίσια και ως μέρος της υπάρχουσας ροής εργασιών των διαδικασιών ιατρικής περίθαλψης.

Συνοπτικά, τα κυριότερα ζητήματα, στα οποία επικεντρώθηκε η έρευνα της παρούσας διατριβής, είναι:

- Ανάλυση και βελτιστοποίηση της απόδοσης ενός πρότυπου συστήματος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων που χρησιμοποιεί δίκτυο Bayes.
- Αξιολόγηση των τεχνικών παραλληλοποίησης της εξαγωγής συμπερασμάτων (probabilistic inference) σε δίκτυα Bayes.
- Παρουσίαση μεθοδολογίας για την παραλληλοποίηση συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων που βασίζονται σε δίκτυα Bayes, υλοποίηση πρότυπου συστήματος σε συστοιχία υπολογιστών και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.
- Αξιολόγηση των βασικών τεχνολογιών κατανεμημένης επεξεργασίας (όπως τα Πλέγματα Υπολογιστικών Συστημάτων ή Grids) σε σχέση με τις δυνατότητες που παρέχουν για σύνθεση κατανεμημένων υπηρεσιών σε ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων.
- Σχεδίαση, ανάπτυξη και σύνθεση κατανεμημένων υπηρεσιών σε ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων.

1.12. Συνεισφορά της ερευνητικής εργασίας και καινοτομία

Η σημαντικότερη καινοτομία της παρούσας διατριβής αφορά την ανάπτυξη μεθόδων και υπηρεσιών για τη σύνθεση και την ολοκλήρωση πολλαπλών συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων στο χώρο λήψης κρίσιμων αποφάσεων. Τα υπολογιστικά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων δεν αντιμετωπίζονται μεμονωμένα και αποκομμένα από το περιβάλλον της ιατρικής φροντίδας, αλλά μέσα από το πρίσμα της ολοκλήρωσής τους σε ένα ενιαίο πλαίσιο, που θα συμπληρώνει και θα υποστηρίζει συνεχώς τη διαδικασία παροχής ιατρικής περίθαλψης. Επίσης, καθώς οι πηγές που επωάζουν το ιατρικό λάθος είναι πολλαπλές, η αποτροπή και η άμβλυνσή του προϋποθέτουν τη διαθεσιμότητα πολλαπλών συστημάτων που αυτοματοποιούν τη διαδικασία παροχής ιατρικών υπηρεσιών και υποστηρίζουν τον κλινικό ιατρό, ο οποίος εργάζεται υπό πίεση και χωρίς να έχει στη διάθεσή του το σύνολο των πληροφοριών που χρειάζεται. Η υποστήριξη αυτή πρέπει να είναι διαθέσιμη σε πραγματικό χρόνο και χωρίς να απαιτείται επιπλέον φόρτο εργασίας για την αναζήτηση της αρωγής των συστημάτων. Οι μεθοδολογίες που παρουσιάζονται στα πλαίσια της παρούσας διατριβής και οι υπηρεσίες που αναπτύσσονται διαθέτουν ένα σύνολο από καινοτόμα χαρακτηριστικά, μέσω των οποίων μπορούν να συμβάλλουν στην αποτροπή του ιατρικού λάθους και στην άνοδο του επιπέδου των παρεχόμενων υπηρεσιών υγείας.

Ειδικότερα, οι βασικότερες συνιστώσες της συνεισφοράς της παρούσας διατριβής στο χώρο της ιατρικής πληροφορικής είναι οι ακόλουθες:

- Αντιμετωπίζει το θέμα της υποστήριξης κλινικών αποφάσεων με ένα συνολικό τρόπο, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη λύση μέσα από το πρίσμα της ολοκλήρωσης των υπολογιστικών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων με την κλινική πράξη
- Παρέχει ένα υπόδειγμα ανάπτυξης και σύνθεσης αυτόνομων και κατανεμημένων υπηρεσιών για το χώρο της παροχής υπηρεσιών υγείας, κάτι που αποτελεί βιώσιμο μοντέλο για ένα χώρο που τον χαρακτηρίζει η ανομοιογένεια και η κατανεμημένη μορφή των διαθέσιμων δεδομένων και που απαιτεί μεγάλη ευελιξία και προσαρμοστικότητα, μια και ο ρυθμός αλλαγών στις διαδικασίες και τον τρόπο δουλειάς είναι ιδιαίτερα μεγάλος.

- Προτείνει και αξιολογεί μια μεθοδολογία για την ανάπτυξη συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων υψηλής επίδοσης, η οποία μπορεί να βρει εφαρμογή σε ένα μεγάλο εύρος συστημάτων, αυξάνοντας την ταχύτητα απόκρισης και συμβάλλοντας στην αποδοχή και υιοθέτησή τους στην κλινική πράξη.
- Αξιολογεί την καταλληλότητα της τρέχουσας αρχιτεκτονικής κατανεμημένων υπηρεσιών Υπολογιστικού Πλέγματος, καθώς και των τεχνικών αξιοποίησης έργων σταθμών εργασίας, για την υλοποίηση συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων με απαιτήσεις απόκρισης σε πραγματικό χρόνο.
- Παρέχει πρωτότυπο λογισμικό και υπηρεσίες για την κατανεμημένη επεξεργασία αιτήσεων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων σε σχεδόν πραγματικό χρόνο, αντιμετωπίζοντας έτσι τα προβλήματα απόδοσης και διαχειριστικού κόστους, που σχετίζονται με τις τρέχουσες τεχνολογίες αιχμής για την κατανεμημένη επεξεργασία, όπως οι πλεγματικές υπηρεσίες.
- Παρουσιάζει ενδελεχώς και αξιολογεί τις τεχνικές παραλληλοποίησης της εξαγωγής συμπερασμάτων σε δίκτυα Bayes υπό το πρίσμα των συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων.
- Παρέχει μια ολοκληρωμένη υπηρεσία για τη σύνθεση ιατρικής πληροφορίας, η οποία βρίσκεται κατακερματισμένη μεταξύ ετερογενών συστημάτων, σε μια ενιαία μορφή και με βάση ένα πολύ πρόσφατο (Ιανουάριος 2006) πρότυπο για τον ηλεκτρονικό ιατρικό φάκελο (ASTM E2369-05).
- Συμβάλλει στην εφαρμογή της Αποδεικτικής Ιατρικής στην κλινική πράξη, μέσω μιας υπηρεσίας, η οποία αναλαμβάνει την αυτόματη ανάκτηση επιστημονικής τεκμηρίωσης από πηγές τεκμηρίωσης του Διαδικτύου, σε μια προσπάθεια να ελαχιστοποιηθεί ο υπερβολικός χρόνος αναζήτησης της τεκμηρίωσης, που αποτελεί και τη βασικότερη τροχοπέδη για την ευρύτερη υιοθέτηση της Αποδεικτικής Ιατρικής.

1.13. Σκελετός διατριβής

Η παρούσα διατριβή απαρτίζεται από 4 μέρη, τα οποία διαρθρώνονται σε 17 συνολικά κεφάλαια (Σχήμα 1-1: Σκελετός διατριβής).

1^ο ΜΕΡΟΣ : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο **κεφάλαιο 1** αναλύονται οι λόγοι που οδηγούν στα ιατρικά λάθη και προβάλλεται η άποψη ότι τα λάθη οφείλονται κατά κύριο λόγο στην αδυναμία του συστήματος παροχής ιατρικών υπηρεσιών να θωρακιστεί αποτελεσματικά απέναντι στο –αναπόφευκτο – ανθρώπινο λάθος. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα συστήματα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων υπό το πρίσμα της πρόληψης των ιατρικών λαθών και αναλύονται τα χαρακτηριστικά που συμβάλλουν στην επιτυχή λειτουργία των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων στην κλινική πράξη. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την παρουσίαση του αντικειμένου και των στόχων της διατριβής.

2^ο ΜΕΡΟΣ: Μελέτη, σχεδιασμός και ανάπτυξη συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων υψηλής επίδοσης

Το 2^ο μέρος επικεντρώνεται στην ανάλυση των συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων που βασίζονται σε δίκτυα Bayes, στην ανάλυση της απόδοσης και τη βελτιστοποίηση ενός προτύπου συστήματος και στην ανάπτυξη και αξιολόγηση ενός συστήματος υψηλής επίδοσης με χρήση παράλληλου υλικού (hardware). Ειδικότερα, το 2^ο μέρος περιλαμβάνει τα ακόλουθα κεφάλαια:

- **Κεφάλαιο 2: Δίκτυα Bayes** : Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των δικτύων Bayes, τα οποία αποτελούν ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την ανάπτυξη συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων, καθώς επιτρέπουν την ενσωμάτωση γνώσης από τη βιβλιογραφία με γνώση από βάσεις δεδομένων κλινικών περιστατικών. Ειδικότερα, αναλύονται οι τρόποι εξαγωγής συμπερασμάτων σε δίκτυα Bayes, καθώς η πολυπλοκότητα της

συμπερασματολογίας (inference) αποτελεί τροχοπέδη για την επιτυχή εφαρμογή τους στην κλινική πράξη, λόγω του μη αποδεκτού χρόνου απόκρισης.

- **Κεφάλαιο 3: Το πρότυπο σύστημα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων:** Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ένα πρότυπο σύστημα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων, που αφορά τη βέλτιστη αντιβιοτική θεραπεία ασθενών που υποπτευόμαστε ότι εμφανίζουν βακτηριακή λοίμωξη με βάση ένα δίκτυο πεποίθησης Bayes. Το σύστημα βελτιστοποιείται στα πλαίσια της διατριβής με την εφαρμογή τεχνικών παράλληλης επεξεργασίας και χρησιμεύει για την ανάπτυξη τεχνικών που βρίσκουν εφαρμογή σε ένα ευρύτερο φάσμα συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων.
- **Κεφάλαιο 4: Ανάλυση απόδοσης και βελτιστοποίηση:** Το Κεφάλαιο 4 αφορά την ανάλυση της απόδοσης του προτύπου συστήματος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων με χρήση κατάλληλου λογισμικού, με στόχο την αναγνώριση και εξάλειψη δυνητικών σημείων συμφόρησης κατά τη ροή της εφαρμογής, που επιβραδύνουν ανεπιθύμητα τη διαδικασία παροχής συμβουλών από το σύστημα. Στη συνέχεια, δοκιμάζονται διάφοροι ευρετικοί αλγόριθμοι τριγωνισμού του δικτύου Bayes με στόχο την ταχύτερη εξαγωγή συμπερασμάτων από το δίκτυο και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.
- **Κεφάλαιο 5: Παράλληλη επεξεργασία:** Εδώ παρουσιάζονται βασικές έννοιες που αφορούν την παράλληλη επεξεργασία, όπως η ανάλυση της απόδοσης των παράλληλων αλγορίθμων και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας διεργασιών. Στο τέλος του κεφαλαίου αναλύονται οι απαιτήσεις της παραλληλοποίησης του προτύπου συστήματος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων.
- **Κεφάλαιο 6: Παραλληλοποίηση της συμπερασματολογίας σε δίκτυα Bayes:** Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται και αξιολογούνται οι τεχνικές παραλληλοποίησης της εξαγωγής συμπερασμάτων σε δίκτυα Bayes. Στη συνέχεια, αξιολογούνται οι δυνατότητες παραλληλοποίησης του πιθανοτικού συμπερασμού (probabilistic inference) για το δίκτυο Bayes του προτύπου συστήματος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων και παρουσιάζονται τα σχετικά συμπεράσματα.

- **Κεφάλαιο 7: Σχεδίαση και ανάπτυξη ενός συστήματος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων υψηλής επίδοσης:** Αρχικά, προτείνεται μια μεθοδολογία για την παραλληλοποίηση συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων που βασίζονται σε δίκτυα Bayes. Στη συνέχεια, αξιολογούνται οι δυνατότητες παραλληλισμού του προτύπου συστήματος με βάση την προτεινόμενη μεθοδολογία και παρουσιάζεται η διαδικασία υλοποίησης του παράλληλου συστήματος σε μια συστοιχία υπολογιστών. Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των επιδόσεων του παράλληλου συστήματος, τα οποία επιβεβαιώνουν την ορθότητα της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

ΜΕΡΟΣ 3^ο : Σχεδίαση, ανάπτυξη και σύνθεση κατανεμημένων υπηρεσιών σε ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων

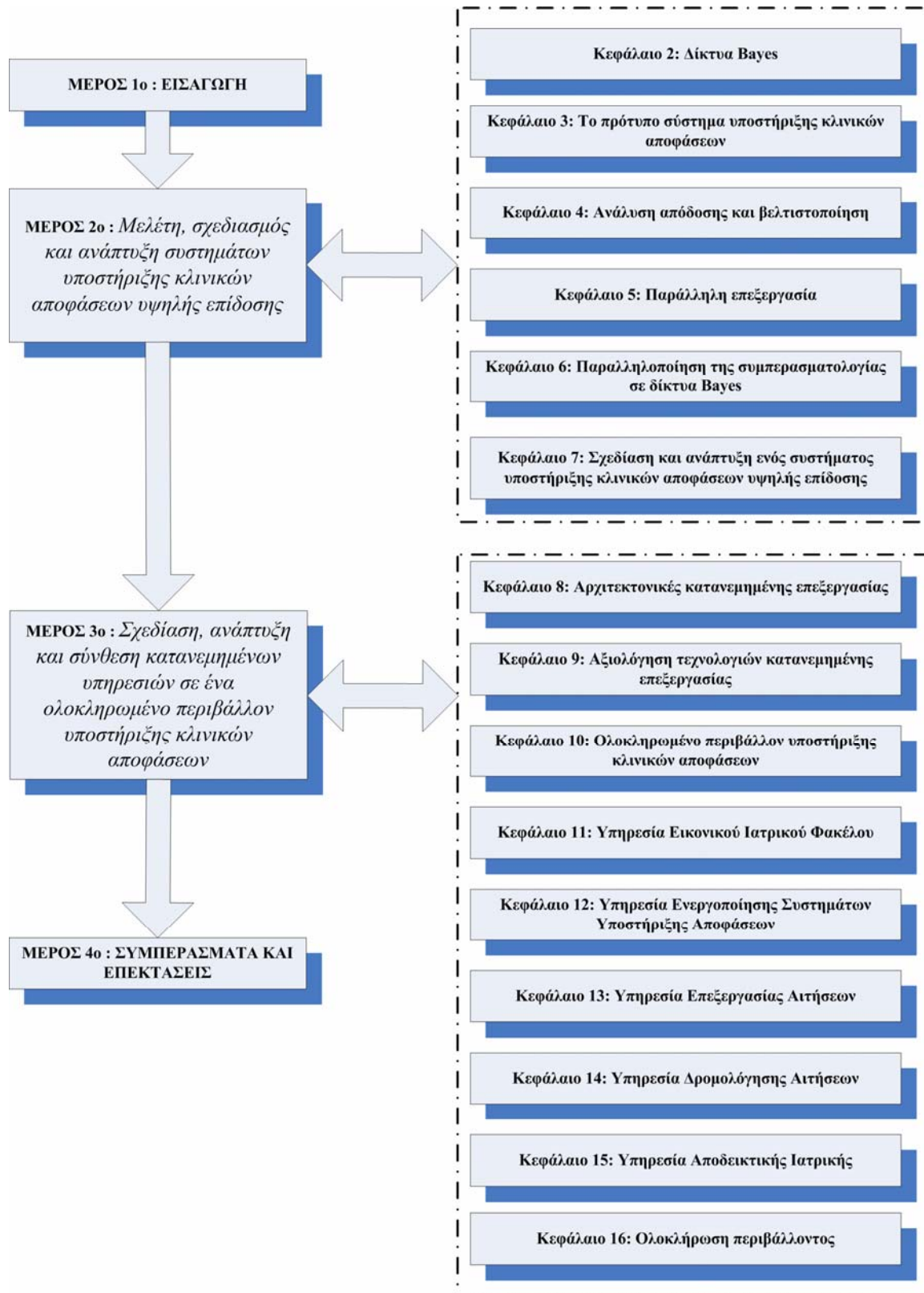
- **Κεφάλαιο 8: Αρχιτεκτονικές κατανεμημένης επεξεργασίας:** Στο κεφάλαιο αυτό συνοψίζονται τα βασικότερα χαρακτηριστικά των αρχιτεκτονικών κατανεμημένης επεξεργασίας και ειδικότερα των κατανεμημένων υπηρεσιών Υπολογιστικού Πλέγματος (Grid). Επίσης, παρουσιάζονται πρότυπες τεχνολογίες περιγραφής εργασιών, καθώς και υπολογιστικών πόρων, οι οποίες υιοθετήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής.
- **Κεφάλαιο 9: Αξιολόγηση τεχνολογιών κατανεμημένης επεξεργασίας:** Στην ενότητα αυτή αξιολογούνται οι βασικές τεχνολογίες κατανεμημένης επεξεργασίας σε σχέση με τις δυνατότητες που παρέχουν για τη σύνθεση κατανεμημένων υπηρεσιών σε ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων. Τα συμπεράσματα της αξιολόγησης συγκλίνουν στην ακαταλληλότητα της τρέχουσας αρχιτεκτονικής κατανεμημένων υπηρεσιών Υπολογιστικού Πλέγματος, καθώς και των τεχνικών αξιοποίησης έργων σταθμών εργασίας, για την ενσωμάτωση πολλαπλών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων στην κλινική πράξη.
- **Κεφάλαιο 10: Ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων:** Το κεφάλαιο αυτό επικεντρώνεται στην παρουσίαση της αρχιτεκτονικής του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων. Ειδικότερα, αναλύονται τα χαρακτηριστικά και τα οφέλη της υπηρεσιο-στραφούς

αρχιτεκτονικής του περιβάλλοντος και παρουσιάζονται συνοπτικά οι κατανεμημένες υπηρεσίες που το απαρτίζουν, καθώς και οι τεχνολογίες αιχμής που αξιοποιήθηκαν για την υλοποίησή τους.

- **Κεφάλαιο 11: Υπηρεσία Εικονικού Ιατρικού Φακέλου:** Στο κεφάλαιο 11 παρουσιάζεται η Υπηρεσία Εικονικού Ιατρικού Φακέλου. Ο βασικός στόχος της Υπηρεσίας είναι η συλλογή και ολοκλήρωση πληροφορίας σχετικά με ένα κλινικό περιστατικό από ετερογενείς πηγές εντός του νοσοκομείου. Η πληροφορία αυτή κωδικοποιείται με βάση το πρότυπο ASTM E2369-05 και είναι διαθέσιμη για άλλες υπηρεσίες-συνδρομητές, οι οποίες ενημερώνονται αυτόματα από την Υπηρεσία Εικονικού Ιατρικού Φακέλου για γεγονότα, όπως η δημιουργία ή η τροποποίηση φακέλων, μέσω ενός μηχανισμού δημοσίευσης/συνδρομής (Publisher/Subscriber). Το Κεφάλαιο 11 περιλαμβάνει ένα πλήρες σενάριο ολοκλήρωσης της υπηρεσίας με το Πληροφοριακό Σύστημα Εργαστηρίων (LIS) του νοσοκομείου.
- **Κεφάλαιο 12: Υπηρεσία Ενεργοποίησης Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων:** Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η Υπηρεσία Ενεργοποίησης Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων. Η υπηρεσία αυτή περιλαμβάνει ένα «έμπειρο» σύστημα και ο βασικός της στόχος είναι η αυτόματη ενεργοποίηση ενός ή περισσότερων συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων με βάση γεγονότα που περιέχονται σε έναν Εικονικό Ιατρικό Φάκελο και κανόνες που διατυπώνονται από τους κλινικούς ιατρούς, χωρίς να απαιτείται η παρέμβαση του χρήστη. Η υπηρεσία καταχωρείται ως συνδρομητής της Υπηρεσίας Εικονικού Ιατρικού Φακέλου και στοχεύει στην αυτόματη παροχή υποστήριξης αποφάσεων ως μέρος της υπάρχουσας ροής εργασιών. Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζεται ένα πλήρες σενάριο ενεργοποίησης του προτύπου συστήματος υποστήριξης αποφάσεων για περιστατικά σήψης.
- **Κεφάλαιο 13: Υπηρεσία Επεξεργασίας Αιτήσεων:** Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική ενός υπολογιστικού κόμβου επεξεργασίας αιτήσεων για υποστήριξη κλινικών αποφάσεων, καθώς και η Υπηρεσία Επεξεργασίας Αιτήσεων, που αποτελεί τη δημόσια διεπαφή κάθε υπολογιστικού πόρου που συμμετέχει στο περιβάλλον.

- **Κεφάλαιο 14: Υπηρεσία Δρομολόγησης Αιτήσεων:** Η λειτουργία του καταναμημένου περιβάλλοντος ενορχηστρώνεται από την Υπηρεσία Δρομολόγησης Αιτήσεων. Η Υπηρεσία Δρομολόγησης παρέχει μια ενιαία διεπαφή προς τους υπολογιστικούς πόρους και τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων και επιδιώκει την ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου απόκρισης των αιτήσεων για υποστήριξη αποφάσεων από πολλαπλά συστήματα μέσω του μετασχηματισμού των αιτήσεων σε ανεξάρτητες υπό-εργασίες και τη βέλτιστη ανάθεση των υπό-εργασιών σε υπολογιστικούς πόρους με βάση έναν αλγόριθμο χρονοδρομολόγησης. Ο αλγόριθμος αυτός επιλέχθηκε με βάση τα αποτελέσματα προσομοίωσης που διενεργήθηκε, τα οποία παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο. Επίσης, η Υπηρεσία επιμελείται το μετασχηματισμό της κοινής κωδικοποίησης του εικονικού φακέλου (ASTM E2369-05) στις εξειδικευμένες κωδικοποιήσεις κάθε επιμέρους συστήματος υποστήριξης αποφάσεων, θέματα ασφάλειας, ενιαίας εφαρμογής πολιτικών κ.α.
- **Κεφάλαιο 15: Υπηρεσία Αποδεικτικής Ιατρικής:** Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι αρχές της Αποδεικτικής Ιατρικής (Evidence-Based Medicine) και η λειτουργικότητα της Υπηρεσίας Αποδεικτικής Ιατρικής, η οποία αναλαμβάνει την αυτόματη ανάκτηση τεκμηρίωσης από τη βάση δεδομένων PubMed, με βάση τα περιεχόμενα του Εικονικού Ιατρικού Φακέλου. Ο κλινικός ιατρός μπορεί να επιθεωρήσει τα αποτελέσματα και να τροποποιήσει την αρχική ερώτηση, ώστε να προχωρήσει σε πιο εστιασμένες ερωτήσεις.
- **Κεφάλαιο 16: Ολοκλήρωση περιβάλλοντος:** Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η σύνθεση των υπηρεσιών που περιγράφονται στα Κεφάλαια 11-15 σε ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον. Ειδικότερα, παρουσιάζεται η συνεργασία των υπηρεσιών για την παροχή υποστήριξης αποφάσεων, αλλά και οι δυνατότητες επέκτασης του περιβάλλοντος, μέσω της ενσωμάτωσης νέων υπολογιστικών πόρων και νέων συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων. Τέλος, παρουσιάζεται πρότυπη διεπαφή χρήστη για την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον, η οποία αναπτύσσεται με στόχο τη λειτουργία σε φορητές συσκευές, οι οποίες επιτρέπουν την κινητικότητα του χρήστη.

Η διδακτορική διατριβή ολοκληρώνεται με την παράθεση των συμπερασμάτων και των προτάσεων για βελτίωση και επέκταση στο **Κεφάλαιο 17: Συμπεράσματα και Επεκτάσεις**.



Σχήμα 1-1: Σκελετός διατριβής

1.14. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1]. Kohn LT, Corrigan JM, Donaldson MS, eds. To err is human. Building a safer health system. Washington DC: National Academy Press: 1999.
- [2]. Vincent C, Neale G, Woloshynowych M. Adverse events in British hospitals: preliminary retrospective record review. *BMJ* 2001; 322:517-9.
- [3]. Weingart SN, Wilson RM, Gibberd RW, Harrison B. Epidemiology of medical error. *BMJ* 2000; 320:774-7
- [4]. Leape, Lucian; Lawthers, Ann G.; Brennan, Troyen A., et al. Preventing Medical Injury. *Qual Rev Bull.* 19(5):144–149, 1993.
- [5]. Κογεβίνας Α., Σύγχρονες απόψεις για το ιατρικό λάθος, *Ιατρική του Σήμερα*, Εκδόσεις GlaxoSmithKline, 2005;42:3-12
- [6]. Reason J. Human error: models and management. *BMJ.* 2000;320:768-770
- [7]. Helmreich RL, Merritt AC, Wilhelm JA. The evolution of crew resource management in commercial aviation. *Int J Aviation Psychol* 1999; 9: 19-32.
- [8]. Helmreich, R.L. (2000). On error management: Lessons from aviation. *British Medical Journal*, 320, 781-785
- [9]. Van Bommel J.H. and Musen M.A. (eds) *Handbook of Medical Informatics*, Springer, Heidelberg, (1997)
- [10]. De Dombal FT. Computer aided diagnosis of abdominal pain. *BMJ* 1972;2:9-13
- [11]. Adams ID, Chan M, Clifford PC, Cooke WM, Dallos V, de Dombal FT, et al. Computer aided diagnosis of acute abdominal pain: a multicentre study. *BMJ* 1986; 293: 800-804
- [12]. E. H. Shortliffe and B. G. Buchanan. A model of inexact reasoning in medicine. *Mathematical Biosciences*, 23:351--379, 1975.
- [13]. L. A. Zadeh. Is probability theory sufficient for dealing with uncertainty in AI? a negative view. In L. N. Kanal and J. F. Lemmer, editors, *Uncertainty in Artificial Intelligence*, pages 103--116. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands, 1986.
- [14]. McCarthy J, Hayes P, Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence, *Machine Intelligence* 4:463-502, 1969
- [15]. E.H. Shortliffe. *MYCIN: Computer-based Medical Consultations*. Elsevier Press, New York, 1976

- [16]. Zadeh L.A. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 1:3-28, 1978
- [17]. J. Pearl. *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference*. Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, CA, 1988
- [18]. R.A. Howard and J.E. Matheson. *Influence diagrams. Principles and Applications of Decision Analysis*, 1981. Strategic Decisions Group, Menlo Park, CA
- [19]. J. H. Kim and J. Pearl. A computational model for causal and diagnostic reasoning in inference engines. In *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pages 190--193. Morgan Kaufmann, 1983
- [20]. J. Pearl. Fusion, propagation and structuring in belief networks. *Artificial Intelligence*, 29(3):241-248, 1986
- [21]. S. Lauritzen, D. Spiegelhalter, Local computations with probabilities on graphical structures and their applications to expert systems, *J. Royal Stat. Soc. B* 50 (1988) 157-224
- [22]. David Heckerman. *Probabilistic Similarity Networks*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1991
- [23]. Russell S, Norvig P (1995) *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Prentice Hall Series in Artificial Intelligence. Englewood Cliffs, New Jersey
- [24]. Kensaku Kawamoto, Caitlin A Houlihan, E Andrew Balas and David F Lobach, "Improving Clinical Practice Using Clinical Decision Support Systems: A Systematic Review of Trials to Identify Features Critical to Success," *British Medical Journal* 330(7494) (2005), pp. 765–768
- [25]. Walton R, Dovey S, Harvey E, Freemantle N. Computer support for determining drug dose: systematic review and meta-analysis. *BMJ* 1999;318:984-90
- [26]. Bennett JW, Glasziou PP. Computerised reminders and feedback in medication management: a systematic review of randomised controlled trials. *Med J Aust* 2003; 178:217-22
- [27]. Bates DW, Cullen D, Laird N, et al. Incidence of adverse drug events and potential adverse drug events: implications for prevention. *JAMA*. 1995;274:29-34
- [28]. Kaushal R, Shojania KG, Bates DW. Effects of computerized physician order entry and clinical decision support systems on medication safety: a systematic review. *Arch Intern Med* 2003;163:1409-16
- [29]. Balas EA, Weingarten S, Barb CT, Blumenthal D, Boren SA, Brown GD. Improving preventive care by prompting physicians. *Arch Intern Med* 2000;160:301-8.

- [30]. Shiffman RN, Liaw Y, Brandt CA, Corb GJ. Computer-based guideline implementation systems: a systematic review of functionality and effectiveness. *J Am Med Inform Assoc* 1999;6:104-14.
- [31]. Bates DW, Spell N, Cullen DJ, Burdick E, Laird N, Petersen LA, Small SD, Sweitzer BJ, Leape LL. The costs of adverse drug events in hospitalized patients. Adverse Drug Events Prevention Study Group. *JAMA* 1997; 277:307-11
- [32]. Leibovici L, Shraga I, Drucker M, Konigsberger H, Samra Z, Pitlik SD. The benefit of appropriate empirical antibiotic treatment in patients with bloodstream infection. *J Intern Med* 1998;244(5):379-86
- [33]. Tacconelli, E., Paul, M., Cataldo, M. A., Almanasreh, N., Zalounina, A., Nielsen, A., Andreassen, S., Frank, U., Cauda, R., and Leibovici, "A computerized decision support system (TREAT) to reduce inappropriate antibiotic therapy of bacterial infection", Proceedings at 14th European Congress of Clinical Microbiology and Infectious Diseases, May 2004, Prague, Czech Republic. 10:3, Page 4-4. (Abstract)
- [34]. Freedman JE, Becker RC, Adams JE et al. Medications errors in acute cardiac care. *Circulation* 2002; 106:2623-9
- [35]. Fitzmaurice DA, Hobbs FDR, Murray ET et al. Oral anticoagulant management in primary care with use of computerised decision support and near-patient testing. A randomised, controlled trial. *Arch Intern Med* 2000; 160:2343-8
- [36]. DIAS-the diabetes advisory system: an outline of the system and the evaluation results obtained so far. *Comput Methods Programs Biomed* 1997; 54:49-58
- [37]. Hunt DL, Haynes RB, Hanna SE, Smith K. Effects of computer-based clinical decision support systems on physician performance and patient outcomes: a systematic review. *JAMA* 1998;280:1339-46.
- [38]. Wendt T, Knaup-Gregori P, Winter A. Decision support in medicine: a survey of problems of user acceptance. *Stud Health Technol Inform* 2000; 77:852-6
- [39]. Wetter T. Lessons learnt from bringing knowledge-based decision support into routine use. *Artif Intell Med* 2002; 24:195-203
- [40]. Bates DW, Kuperman GJ, Wang S, Gandhi T, Kittler A, Volk L, et al. Ten commandments for effective clinical decision support: making the practice of evidence-based medicine a reality. *J Am Med Inform Assoc* 2003;10:523-30.
- [41]. Leonard Leibovici, Michal Fishman, Henrik C Schünheyder, Christian Riekehr, Brian Kristensen, Ilana Shraga, and Steen Andreassen , "A Causal Probabilistic Network for Optimal Treatment of Bacterial Infections," *IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering*, 12(4) (2000), pp. 517-528
- [42]. Dempster, Arthur P., A generalization of Bayesian inference, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, Vol. 30, pp. 205-247, 1968

- [43]. Shafer, Glenn, *A Mathematical Theory of Evidence*, Princeton University Press, 1976

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΔΙΚΤΥΑ BAYES

2.1. Τα πλεονεκτήματα των δικτύων Bayes για την ανάπτυξη συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων

Τα δίκτυα πεποίθησης Bayes (Causal Probabilistic Networks – CPNs) είναι ικανά να εκφράσουν την εκ των προτέρων γνώση μας σχετικά με τη συμπεριφορά των βιολογικών συστημάτων, τόσο σε ποιοτικό, όσο και σε ποσοτικό επίπεδο. Το χαρακτηριστικό αυτό τα καθιστά ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία για την κατασκευή υπολογιστικών συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων, καθώς επιτρέπουν την ενσωμάτωση γνώσης από τη βιβλιογραφία με γνώση από βάσεις δεδομένων κλινικών περιστατικών [1]. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα των δικτύων Bayes είναι ότι παρέχουν τις πιθανότητες που απαιτούνται για την εφαρμογή της θεωρίας αποφάσεων, εφόσον προστεθούν στο δίκτυο κάποιοι κόμβοι που αντιπροσωπεύουν τα αναμενόμενα οφέλη που σχετίζονται με μία ή περισσότερες τυχαίες μεταβλητές, π.χ. προσδόκιμο ή ποιότητα ζωής. Η φύση τους καθιστά ιδιαίτερα διαισθητική την ανάπτυξή τους από εμπειρογνώμονες, καθώς τους επιτρέπει να εκφράσουν τη γνώση τους σε όρους αιτίου-αποτελέσματος και πιθανοτήτων.

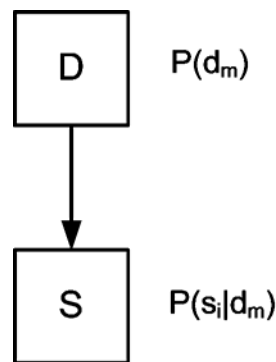
2.2. Τα συστατικά ενός δικτύου Bayes

Ένα δίκτυο Bayes αποτελείται από κόμβους και κατευθυνόμενες συνδέσεις (βέλη). Κάθε κόμβος αντιπροσωπεύει μια τυχαία μεταβλητή. Στη συνέχεια θα θεωρήσουμε ότι όλοι οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν διακριτές τυχαίες μεταβλητές, εκτός αν αναφέρεται ρητά ότι πρόκειται για συνεχείς τυχαίες μεταβλητές. Σε κάθε κόμβο N αντιστοιχεί ένας αριθμός από καταστάσεις n_i , που αντιστοιχούν σε «καταστάσεις του φυσικού κόσμου». Η γνώση μας

σχετικά με την κατάσταση του φυσικού κόσμου αντιπροσωπεύεται από τη μη αρνητική κατανομή πιθανοτήτων $P(n_i)$ πάνω σε όλες τις καταστάσεις n_i , όπου το άθροισμα των πιθανοτήτων πάνω σε όλες τις καταστάσεις ισούται με ένα:

$$\sum P(n_i) = 1$$

Οι κατευθυνόμενες συνδέσεις καθορίζουν τις άμεσες επιρροές ανάμεσα στους κόμβους. Οι συνδέσεις κατευθύνονται από τους γονείς προς τα παιδιά, έτσι ώστε οι γονείς να επηρεάζουν αιτιολογικά τα παιδιά. Η γνώση μας σχετικά με την επιρροή εκφράζεται αριθμητικά με τη μορφή πιθανοτήτων υπό συνθήκη.



Σχήμα 2-1: Απλό δίκτυο Bayes

Στο Σχήμα 2-1: *Απλό δίκτυο Bayes* απεικονίζεται ένα πολύ απλό δίκτυο Bayes, που αποτελείται από δύο κόμβους. Εκτός από τη σχηματική αναπαράσταση του δικτύου, απαιτείται και ο καθορισμός του πίνακα πιθανοτήτων υπό συνθήκη (ή των εκ των προτέρων πιθανοτήτων) για κάθε κόμβο. Για παράδειγμα, αν ο κόμβος D αντιπροσωπεύει μια ασθένεια με δυνατές καταστάσεις d_m και ο κόμβος S ένα σύμπτωμα με δυνατές καταστάσεις s_i , τότε απαιτείται ο καθορισμός των υπό συνθήκη πιθανοτήτων $P(s_i | d_m)$ για τον S και της εκ των προτέρων πιθανότητας $P(d_m)$ για τον D.

Ο υπολογισμός της πιθανότητας εμφάνισης της ασθένειας $P(s_i | d_m)$ με δεδομένο το σύμπτωμα μπορεί να γίνει με χρήση των εξισώσεων της θεωρίας πιθανοτήτων. Το κεντρικό αξίωμα της θεωρίας πιθανοτήτων για τις δεσμευμένες πιθανότητες:

$$P(s_i, d_m) = P(s_i | d_m)P(d_m),$$

οδηγεί στο περίφημο θεώρημα του Bayes:

$$P(d_m | s_i) = \frac{P(s_i | d_m)P(d_m)}{P(s_i)}$$

Το θεώρημα του Bayes καθορίζει πως ένα εύρημα, όπως η παρατήρηση ενός συμπτώματος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της εκ των υστέρων πιθανότητας μιας ασθένειας. Στην περίπτωση των συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων, οι κόμβοι ενός δικτύου Bayes ενδέχεται να αντιπροσωπεύουν ασθένειες, συμπτώματα, πληροφορίες σχετικά με την παθοφυσιολογία του ασθενούς, αποτελέσματα εργαστηριακών εξετάσεων, θεραπείες κ.α. Ορισμένοι κόμβοι βασίζονται στην αντικειμενική παρατήρηση, όπως τα συμπτώματα ή τα αποτελέσματα εργαστηριακών εξετάσεων, ενώ κάποιοι επηρεάζονται από αποφάσεις, όπως οι θεραπείες. Επίσης, κάποιοι κόμβοι δεν βασίζονται στην παρατήρηση, όπως οι ασθένειες ή οι παρατηρήσεις σχετικά με την παθοφυσιολογία του ασθενούς. Η κατασκευή ενός δικτύου Bayes επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τους μη παρατηρήσιμους κόμβους με βάση τους κόμβους που εκφράζουν τις παρατηρήσεις μας.

2.3. Εξαγωγή συμπερασμάτων σε δίκτυα Bayes

Η εξαγωγή συμπερασμάτων ή συμπερασματολογία (inference) σε δίκτυα Bayes συνίσταται κυρίως στον υπολογισμό των εκ των υστέρων περιθωρίων κατανομών για όλες τις τυχαίες μεταβλητές του δικτύου, για τις οποίες δεν υπάρχει διαθέσιμη μαρτυρία, με δεδομένο ένα σύνολο ευρημάτων.

Ας θεωρήσουμε ένα δίκτυο Bayes, που περιέχει ένα σύνολο κόμβων $N = \{N_1, N_2, \dots, N_n\}$. Η ολοκληρωμένη γνώση σχετικά με το δίκτυο Bayes περιέχεται στον πίνακα των από κοινού πιθανοτήτων $P(N) = P(N_1, N_2, \dots, N_n)$. Έστω $N_1, \dots, N_i, \dots, N_l$ μια απαρίθμηση των κόμβων, όπου κάθε κόμβος εμφανίζεται πριν από τα παιδιά του και έστω $pa(N_i)$ οι γονείς του κόμβου N_i . Θεωρούμε κάθε μεταβλητή ανεξάρτητη από όλους τους κόμβους που προηγούνται στην απαρίθμηση, με δεδομένους τους γονείς της. Η υπόθεση ανεξαρτησίας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι:

$$P(N) = \prod_i P(N_i | N_1, N_2, \dots, N_{i-1}) = \prod_i P(N_i | pa(N_i))$$

Για δίκτυα Bayes με περισσότερους από μερικές δεκάδες κόμβους, δεν είναι εφικτός ο υπολογισμός και η αποθήκευση του πίνακα αυτού, καθώς η πολυπλοκότητα αυξάνει εκθετικά σε σχέση με τον αριθμό των κόμβων. Στην πράξη όμως, ενδιαφερόμαστε κυρίως για τις περιθώριες κατανομές μεμονωμένων κόμβων ή για τη δεσμευμένη κατανομή μερικών μόνο κόμβων. Το 1983 ο Pearl και οι συνεργάτες του [2,3] ανέπτυξαν τον αλγόριθμο Polytree (Σχήμα 2-2: *Αλγόριθμος Polytree*) που επιτρέπει τον υπολογισμό των περιθωρίων κατανομών πιθανότητας για όλους τους κόμβους ενός απλά συνδεδεμένου (*singly connected*) δικτύου Bayes, δηλαδή ενός δικτύου που έχει την ιδιότητα ότι αν αφαιρεθεί έστω και μια σύνδεση, αυτό να χωρίζεται σε δύο ανεξάρτητα δίκτυα. Καθώς ένα μοναδικά συνδεδεμένο δίκτυο Bayes είναι δέντρο, η εξαγωγή συμπερασμάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο ταυτόχρονες ροές μηνυμάτων: αιτιολογικά μηνύματα στέλνονται από πάνω προς τα κάτω (π -μηνύματα) και διαγνωστικά μηνύματα στέλνονται από κάτω προς τα πάνω (λ -μηνύματα), ενώ κάθε κόμβος V του δικτύου στέλνει ένα μήνυμα στους γείτονές του.

Αλγόριθμος Polytree:

Έστω V μια τυχαία μεταβλητή στο γράφο G με γονείς V_1, \dots, V_n και παιδιά Y_1, \dots, Y_n .

Το μήνυμα $\lambda_V(V_i)$ που στέλνει ο κόμβος V σε έναν απ' τους γονείς του V_i υπολογίζεται ως:

$$\lambda_V(V_i) = \sum_V \left[\prod_{j=1}^m \lambda_{Y_j}(V) \sum_{V_k \neq V_i} P(V | V_1, \dots, V_n) \prod_{l \neq j} \pi_{V_l}(V) \right]$$

Το μήνυμα $\pi_V(Y_j)$ που στέλνει ο κόμβος V σε ένα από τα παιδιά του Y_j υπολογίζεται ως:

$$\pi_V(Y_j) = \sum_{V_1, \dots, V_n} P(V | V_1, \dots, V_n) \prod_{i=1}^n \pi_{V_i}(V) \prod_{k \neq j} \lambda_{Y_k}(V)$$

Σχήμα 2-2: Αλγόριθμος Polytree

Η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου Polytree αυξάνεται γραμμικά σε σχέση με τον αριθμό των κόμβων. Φυσικά, τα περισσότερα δίκτυα Bayes που αφορούν ιατρικά προβλήματα περιέχουν βρόχους, είναι δηλαδή *πολλαπλά συνδεδεμένα* (*multiply connected*). Στα

πολλαπλά συνδεδεμένα δίκτυα, ακόμα και αν αφαιρεθεί μια σύνδεση, ο γράφος παραμένει ενιαίος. Το 1988 παρουσιάστηκαν αρκετοί αλγόριθμοι που χειρίζονται δίκτυα Bayes με βρόχους [4, 5], με την υπολογιστική πολυπλοκότητα να αυξάνει κάπου ανάμεσα σε γραμμική και εκθετική σε σχέση με τον αριθμό των κόμβων. Αυτή η εξέλιξη επέτρεψε στα δίκτυα Bayes να μετατραπούν από μια ενδιαφέρουσα αναπαράσταση γνώσης σε πρακτικά εργαλεία για την κατασκευή συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων.

2.4. Μετασχηματισμός ενός δικτύου Bayes

Ο αποδοτικός αλγόριθμος των Lauritzen και Spiegelhalter [4] για εξαγωγή συμπερασμάτων σε πολλαπλά συνδεδεμένα δίκτυα Bayes αναπτύχθηκε περαιτέρω και υλοποιήθηκε στο εμπορικό λογισμικό HUGIN [6]. Ο αλγόριθμος του λογισμικού HUGIN μετασχηματίζει το δίκτυο Bayes σε ένα δέντρο ζεύξης (junction tree) και όλοι οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται στο δέντρο και όχι στο αρχικό δίκτυο. Ο στόχος του μετασχηματισμού είναι να χειριστούμε τους βρόχους με το σχηματισμό συνόλων από κόμβους, που ονομάζονται κλίκες (cliques). Οι κλίκες δημιουργούνται με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε όλα τα πολλαπλά μονοπάτια ανάμεσα στους κόμβους να αντικατασταθούν από ένα μοναδικό μονοπάτι που διατρέχει την κλίκα. Ο μετασχηματισμός περιλαμβάνει 4 βήματα:

A) Σχηματισμός του «ηθικού» γράφου (moral graph):

Οι γονείς κάθε κόμβου ενώνονται και οι κατευθύνσεις αφαιρούνται από όλες τις συνδέσεις.

B) Τριγωνισμός του «ηθικού» γράφου:

Προσθέτουμε μη-κατευθυνόμενες συνδέσεις μέχρις ότου όλοι οι κύκλοι με μήκος μεγαλύτερο του τρία να έχουν μια χορδή.

Γ) Σχηματισμός των «κλικών»

Μια «κλίκα» είναι το μεγαλύτερο σύνολο από κόμβους που συνδέονται μεταξύ τους μετά τον τριγωνισμό. Οι πίνακες πιθανοτήτων για κάθε κλίκα αρχικοποιούνται ως το γινόμενο των αντίστοιχων δεσμευμένων και εκ των προτέρων πιθανοτήτων.

Δ) Σχηματισμός του «δέντρου ζεύξης»

Οι κλίκες ενώνονται, έτσι ώστε για κάθε ζεύγος V, W , όλες οι κλίκες πάνω στο μονοπάτι ανάμεσα στη V και στη W να περιέχουν την τομή $V \cap W$. Κάθε σύνδεση στο δέντρο έχει ένα διαχωριστή, που περιέχει την από κοινού κατανομή πιθανοτήτων των κόμβων που μοιράζονται οι δύο κλίκες που ενώνονται με τη σύνδεση αυτή.

Γενικά, η διάδοση των ευρημάτων μέσα σε ένα δίκτυο Bayes είναι εκθετική ή NP-hard [7]. Στον αλγόριθμο HUGIN, η υπολογιστική δυσκολία κρύβεται στο βήμα (B), δηλαδή στον τριγωνισμό του γράφου. Τα περισσότερα δίκτυα Bayes μπορούν να τριγωνιστούν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, ενώ η απόδοση της εξαγωγής συμπερασμάτων σε αυτά βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην ποιότητα του παραγόμενου τριγωνισμού.

2.5. Τριγωνισμός στον αλγόριθμο HUGIN

Η επιλογή της μεθόδου τριγωνισμού μπορεί να έχει μεγάλη επίδραση στο μέγεθος του μετασχηματισμένου δικτύου, ειδικά στην περίπτωση μεγάλων δικτύων. Η διεπαφή HUGIN API v 6.2 παρέχει 5 μεθόδους τριγωνισμού [8]:

- H_TM_CLIQUÉ_SIZE,
- H_TM_CLIQUÉ_WEIGHT,
- H_TM_FILL_IN_SIZE,
- H_TM_FILL_IN_WEIGHT,
- H_TM_TOTAL_WEIGHT

Οι πρώτες 4 είναι εγγενώς ευρετικές, ενώ η τελευταία είναι συνδυασμός ακριβούς και ευρετικής μεθόδου και μπορεί να παράγει βέλτιστο τριγωνισμό, στην περίπτωση που είναι διαθέσιμοι επαρκείς υπολογιστικοί πόροι.

Οι τέσσερις ευρετικές μέθοδοι ακολουθούν μια κοινή προσέγγιση: Οι κόμβοι εξαλείφονται διαδοχικά (χωρίς πρόβλεψη) και αν υπάρχει ένας κόμβος στον τρέχοντα γράφο, που όλοι οι γείτονές του να ενώνονται ανά ζεύγη, αυτός εξαλείφεται στη συνέχεια, με στόχο να ελαχιστοποιηθεί το μέγεθος της μεγαλύτερης κλίκας στον τελικό γράφο. Αν δεν υπάρχει

τέτοιος κόμβος, επιλέγεται ο κόμβος με την καλύτερη «βαθμολογία», ανάλογα με τον ευρετικό αλγόριθμο που έχουμε επιλέξει. Καθώς το μέγεθος του πίνακα της από κοινού κατανομής πιθανοτήτων των κόμβων του αρχικού δικτύου που περιέχονται σε μια κλίκα αυξάνει εκθετικά ως συνάρτηση του αριθμού των κόμβων της κλίκας, οι παραπάνω ευρετικοί αλγόριθμοι επιδιώκουν να παράγουν κατά το δυνατό μικρότερες κλίκες.

Έστω $C(V)$ το σύνολο που αποτελείται από τον κόμβο V και όσους γείτονές του δεν έχουν εξαλειφθεί ακόμα. Οι βαθμολογίες που ορίζουν οι αλγόριθμοι που υλοποιούνται στο HUGIN είναι οι εξής:

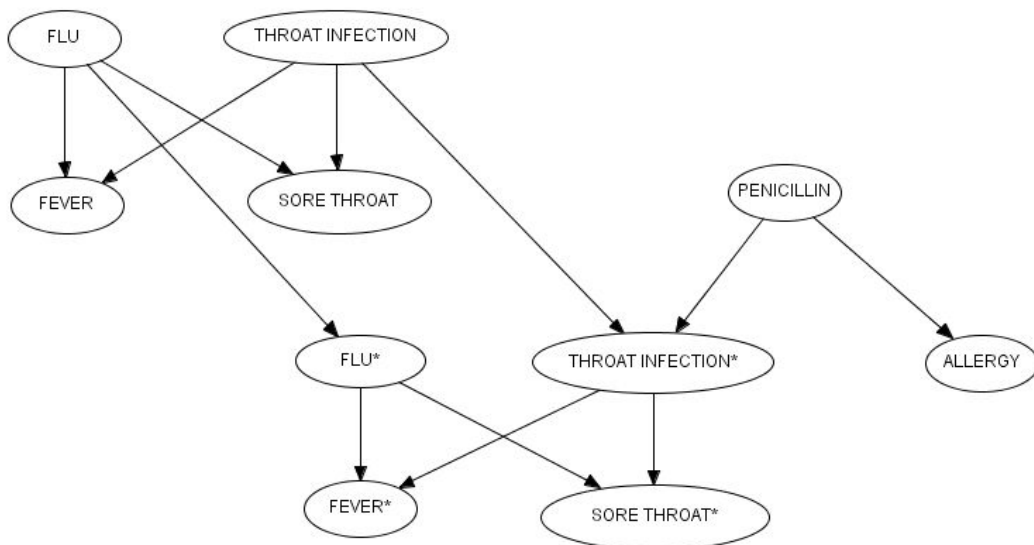
- $H_TM_CLIQUE_SIZE$: Η βαθμολογία ισούται με τον αριθμό των στοιχείων του συνόλου $C(V)$.
- $H_TM_CLIQUE_WEIGHT$: Η βαθμολογία προκύπτει από μια εξίσωση που υπολογίζει τις αποθηκευτικές απαιτήσεις για το σύνολο $C(V)$. Για διακριτές τυχαίες μεταβλητές, η βαθμολογία αυτή ορίζεται ως το γινόμενο του αριθμού των καταστάσεων των κόμβων που περιέχει το σύνολο $C(V)$ επί τον αριθμό σε bytes που απαιτείται για την αποθήκευση ενός αριθμού κινητής υποδιαστολής απλής ακρίβειας.
- $H_TM_FILL_IN_SIZE$: Η βαθμολογία ισούται με τον αριθμό των συνδέσεων που απαιτούνται για να συμπληρωθεί το σύνολο $C(V)$.
- $H_TM_FILL_IN_WEIGHT$: Η βαθμολογία ισούται με το άθροισμα των βαρών των συνδέσεων που απαιτούνται για να συμπληρωθεί το σύνολο $C(V)$, όπου ως βάρος μιας σύνδεσης ορίζεται το γινόμενο του αριθμού των δυνατών καταστάσεων των κόμβων που ενώνονται με τη σύνδεση αυτή. Οι κόμβοι που αντιστοιχούν σε συνεχείς τυχαίες μεταβλητές θεωρούμε ότι έχουν 1.5 καταστάσεις.

Οι ευρετικοί αλγόριθμοι είναι πολύ γρήγοροι, αλλά συχνά ο παραγόμενος τριγωνισμός είναι κακής ποιότητας, δηλαδή καταλήγει σε πολύ περίπλοκο δέντρο ζεύξης με μεγάλο αριθμό κόμβων ανά κλίκα. Εναλλακτικά, παρέχεται η μέθοδος $H_TM_TOTAL_WEIGHT$ που μπορεί να παράγει ένα βέλτιστο τριγωνισμό, αν διαθέτουμε επαρκείς υπολογιστικούς πόρους. Ως βέλτιστο τριγωνισμό η μέθοδος θεωρεί

τον ελάχιστο, όπου κανένας κατάλληλος υπό-γράφος του τελικού γράφου δεν μπορεί να τριγωνιστεί, ενώ το άθροισμα των βαρών στις κλίκες (όπως ορίζεται από τον αλγόριθμο $H_TM_CLIQUE_WEIGHT$) είναι ελάχιστο. Για ορισμένα μεγάλα δίκτυα, η μέθοδος αυτή έχει βελτιώσει τη χωρική και χρονική πολυπλοκότητα της εξαγωγής συμπερασμάτων κατά μια τάξη μεγέθους, σε σύγκριση με τις ευρετικές μεθόδους που περιγράφονται πιο πάνω.

2.6. Διάδοση των ευρημάτων σε δίκτυα Bayes

Η εισαγωγή των ευρημάτων (αρχικοποίηση των κόμβων) και η διάδοσή τους μέσα στο δίκτυο λαμβάνει χώρα στο παραγόμενο δέντρο ζεύξης, αντί για το αρχικό δίκτυο Bayes. Το πρώτο βήμα περιλαμβάνει την αρχικοποίηση των «κλικών»: Οι πίνακες πιθανοτήτων κάθε κλίκας αρχικοποιούνται με τα κατάλληλα γινόμενα των εκ των προτέρων πιθανοτήτων και



Σχήμα 2-3: Δίκτυο Bayes για απλό ιατρικό πρόβλημα

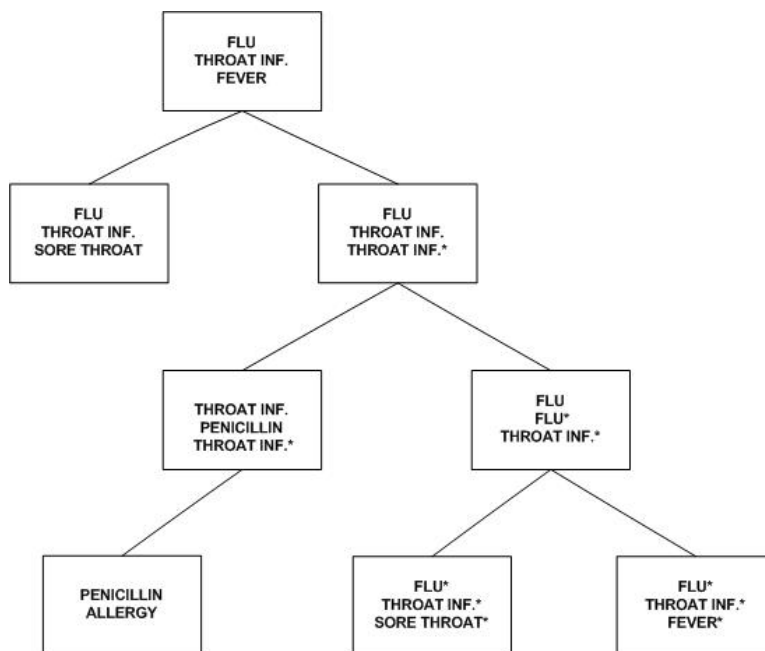
των δεσμευμένων πιθανοτήτων των κόμβων που περιέχουν. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 2-3: *Δίκτυο Bayes για απλό ιατρικό πρόβλημα* βλέπουμε ένα απλό δίκτυο Bayes που αναπαριστά ένα ιατρικό πρόβλημα που αφορά τη γρίπη (FLU) και τη λοίμωξη του λάρυγγα (THROAT INFECTION) [9], ενώ στο Σχήμα 2-4: *Δέντρο ζεύξης* βλέπουμε το δέντρο ζεύξης που προκύπτει από το μετασχηματισμό του δικτύου αυτού σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 2.4. *Μετασχηματισμός ενός δικτύου Bayes*. Ο πίνακας των από κοινού πιθανοτήτων των κόμβων της κλίκας C1 (Σχήμα 2-4: *Δέντρο ζεύξης*) αρχικοποιείται ως εξής:

$$P(C1) = P(FLU) P(THROAT INF) P(FEVER | FLU, THROAT INF)$$

Η περιθώρια κατανομή πιθανοτήτων οποιουδήποτε κόμβου μπορεί να βρεθεί αθροίζοντας τις πιθανότητες για όλες τις δυνατές τιμές των άλλων κόμβων που ανήκουν στην κλίκα, π.χ.:

$$P(FEVER) = \sum_{FLU} \sum_{THROAT INF} P(C1)$$

Εκτός από τις κλίκες, απαιτείται και η αρχικοποίηση των συνόλων διαχωρισμού. Γενικά, κάθε σύνδεση στο δέντρο ζεύξης έχει και ένα σύνολο διαχωρισμού. Αυτό περιέχει την από κοινού κατανομή πιθανοτήτων των κοινών κόμβων που ενώνονται με τη σύνδεση αυτή και αρχικοποιείται αθροίζοντας στο «περιθώριο» τις πιθανότητες μίας από τις γειτονικές κλίκες. Μετά από αυτό το βήμα, το δέντρο ζεύξης είναι έτοιμο για τη διάδοση των ευρημάτων. Έστω ότι το εύρημα που θέλουμε να διαδοθεί είναι η παρατήρηση ότι ο ασθενής έχει πυρετό (FEVER = “yes”). Ο πυρετός παίρνει την τιμή “YES” πολλαπλασιάζοντας το διάνυσμα FEVER = (yes, no) = (1, 0) μέσα στην κλίκα. Μετά τον πολλαπλασιασμό, ο πίνακας πιθανοτήτων της κλίκας C1 δεν δίνει πλέον άθροισμα μονάδα. Το άθροισμα των στοιχείων του πίνακα ονομάζεται σταθερά κανονικοποίησης και ισούται με την πιθανότητα του ευρήματος που εισάγουμε, στην περίπτωση αυτή με την πιθανότητα εμφάνισης πυρετού (P(FEVER) = “yes”).



Σχήμα 2-4: Δέντρο ζεύξης

Ο πίνακας της κλίκας κανονικοποιείται διαιρώντας όλα τα στοιχεία του με τη σταθερά κανονικοποίησης και ο πίνακας της C1 έχει και πάλι την από κοινού πιθανότητα για όλους τους κόμβους.

Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός του νέου πίνακα P*s για το διαχωριστή, που γίνεται αθροίζοντας στο «περιθώριο» τις πιθανότητες της κλίκας C1:

$$P^*s = \sum_{C1s} Ps$$

Το εύρημα διαδίδεται στην κλίκα C2 πολλαπλασιάζοντας τον πίνακα της C2 με το λόγο του P*s προς τον Ps:

$$P(C2) = P(C2) * P^*s / Ps$$

2.7. Διάδοση των ευρημάτων στο λογισμικό HUGIN

Από τη στιγμή που εισάγεται κλινική πληροφορία σε κάποιους κόμβους του δικτύου Bayes, αυτή πρέπει να διαδοθεί μέσα στο δίκτυο. Το HUGIN επιτρέπει την ταυτόχρονη διάδοση πολλών ευρημάτων. Ένας κόμβος R_i στο δέντρο επιλέγεται ως ρίζα και καλείται οι λειτουργία CollectEvidence ακολουθούμενη από τη λειτουργία DistributeEvidence. Στην CollectEvidence ένας κόμβος V ζητάει από τους γείτονές του να του στείλουν ένα μήνυμα και εάν δεν είναι σε θέση να το κάνουν, προωθούν την αίτηση επαγωγικά σε όλους τους γείτονες, εκτός από αυτόν από τον οποίο προήλθε η αίτηση. Στη λειτουργία DistributeEvidence ο κόμβος V στέλνει μηνύματα σε όλους τους γείτονές του, οι οποίοι στέλνουν μηνύματα επαγωγικά σε όλους τους γείτονές τους, εκτός από αυτόν από τον οποίο προήλθε το μήνυμα. Ανεξάρτητα από την ποσότητα των ευρημάτων που θα εισαχθούν στο δίκτυο, οι διαδοχικές κλήσεις της DistributeEvidence(R_i) και της CollectEvidence(R_i) έχουν σαν αποτέλεσμα την ανταλλαγή όλων των απαιτούμενων μηνυμάτων για τη διάδοση των ευρημάτων [10].

2.8. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1]. Leonard Leibovici, Michal Fishman, Henrik C Schønheyder, Christian Riekehr, Brian Kristensen, Ilana Shraga, and Steen Andreassen , “A Causal Probabilistic Network for Optimal Treatment of Bacterial Infections,” IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering, 12(4) (2000), pp. 517-528
- [2]. J. H. Kim and J. Pearl. A computational model for causal and diagnostic reasoning in inference engines. In International Joint Conference on Artificial Intelligence, pages 190--193. Morgan Kaufmann, 1983
- [3]. J. Pearl. Fusion, propagation and structuring in belief networks. Artificial Intelligence, 29(3):241-248, 1986
- [4]. S. Lauritzen, D. Spiegelhalter, Local computations with probabilities on graphical structures and their applications to expert systems, J. Royal Stat. Soc. B 50 (1988) 157-224
- [5]. J. Pearl. Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference. Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, CA, 1988
- [6]. S. K. Anderson, K. G. Olesen, F. V. Jensen, and F. Jensen, "HUGIN - A Shell for Building Belief Universes for Expert Systems," In Proceedings: International Joint Conference on Artificial Intelligence, pages 1080-1085, 1989
- [7]. G. F. Cooper. The computational complexity of probabilistic inference using bayesian belief networks. Artificial Intelligence, 42(2-3):393-405, 1990
- [8]. HUGIN API Reference Manual Version 6.2, Hugin Expert, February 2004
- [9]. Steen Andreassen, Medical Decision Support Systems Based on Causal Probabilistic Networks, Aalborg University, March 2001
- [10]. Finn V. Jensen, An introduction to Bayesian networks. London: UCL Press, 1996, ch. 4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΡΟΤΥΠΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΚΛΙΝΙΚΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

3.1. Περιγραφή πρότυπου συστήματος

Το πρότυπο Σύστημα Υποστήριξης Κλινικών Αποφάσεων (ΣΥΚΑ) αφορά τη θεραπεία των ασθενών που υποπτευόμαστε ότι εμφανίζουν ήπια ή οξεία βακτηριακή λοίμωξη με βάση ένα δίκτυο πεποίθησης Bayes [1]. Η είσοδος του Συστήματος αποτελείται από απλά στοιχεία σχετικά με τον ασθενή, τα οποία είναι διαθέσιμα κατά την εισαγωγή του ή μπορούν να αποκτηθούν μέσα σε λίγες ώρες από το σχηματισμό της υποψίας για λοίμωξη. Η έξοδος του συστήματος περιλαμβάνει:

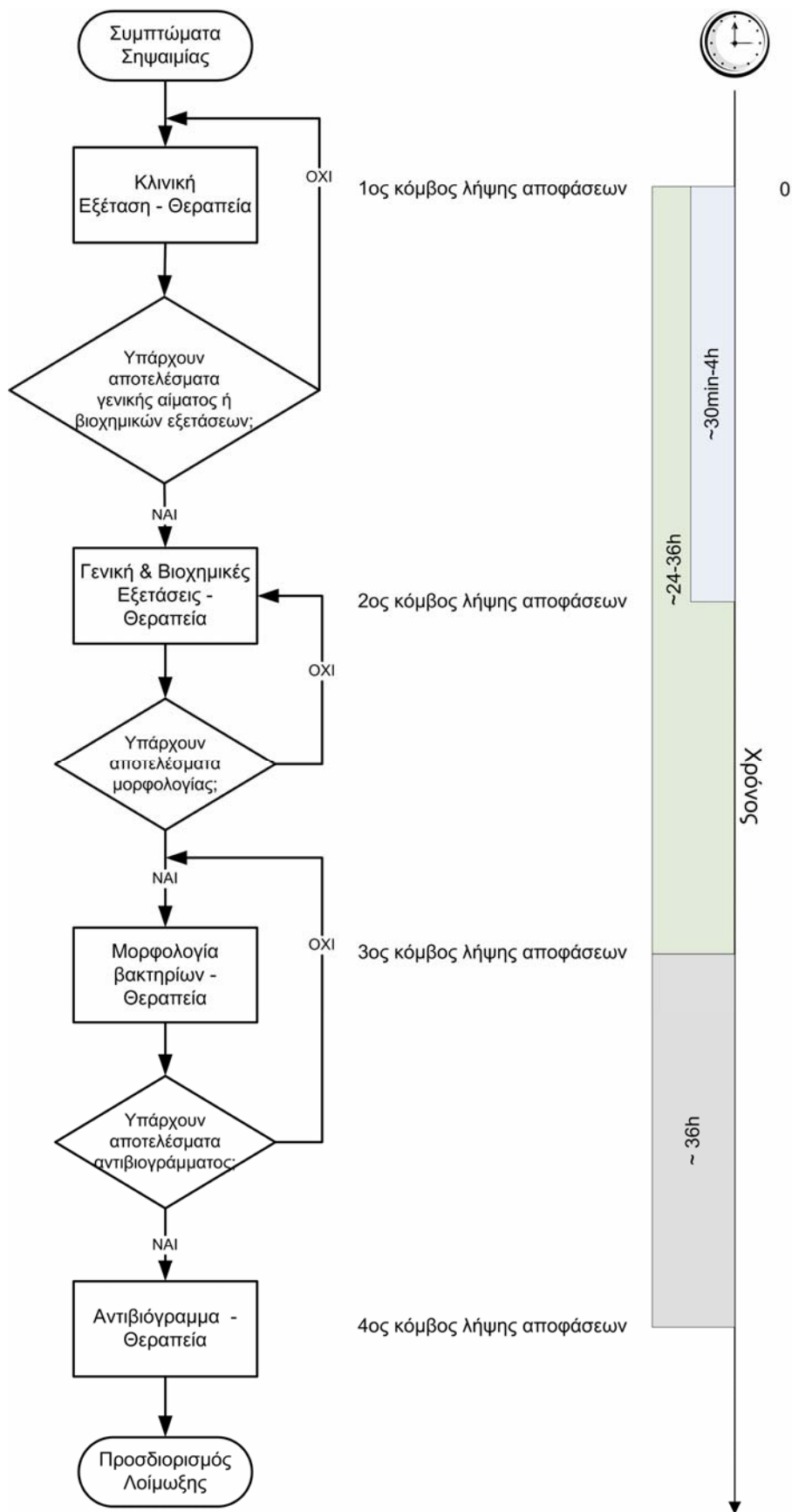
- ✓ Την πιθανότητα βακτηριακής λοίμωξης
- ✓ Ένα μέτρο της σοβαρότητας της λοίμωξης
- ✓ Την πιθανότερη εστία της λοίμωξης
- ✓ Τα πιθανότερα παθογόνα αίτια
- ✓ Την ευαισθησία των παθογόνων στις διαθέσιμες αντιβιοτικές θεραπείες
- ✓ Το όφελος σε προσδόκιμο ζωής από τη χορήγηση κάποιου αντιβιοτικού
- ✓ Το συνολικό κόστος της χορήγησης του αντιβιοτικού, συμπεριλαμβανομένου του κόστους της αγοράς, των παρενεργειών και της ανάπτυξης αντοχών στο συγκεκριμένο φάρμακο
- ✓ Την κατάταξη των αντιβιοτικών με βάση τη σχέση κόστους-οφέλους

3.1.1. Κόμβοι Λήψης Αποφάσεων

Η ροή της πληροφορίας στο πρότυπο Σύστημα αρχικοποιείται κατά την κλινική εξέταση του ασθενή από τον ιατρό. Η υποψία για σήψη μπορεί να απαιτεί την άμεση χορήγηση αντιβιοτικής θεραπείας «εμπειρικά», δηλαδή πριν από την αναγνώριση του παθογόνου παράγοντα. Το πρότυπο ΣΥΚΑ μπορεί να προτείνει μια θεραπεία με βάση τα αρχικά ευρήματα της κλινικής εξέτασης (1^ο κόμβος λήψης απόφασης). Αν κριθεί απαραίτητο, ο ιατρός αποστέλλει δείγματα αίματος ή άλλα δείγματα (π.χ. πτύελα, ούρα, υλικό παροχέτευσης) για περαιτέρω ανάλυση. Τα αποτελέσματα από τη γενική αίματος ή από τις βιοχημικές εξετάσεις είναι διαθέσιμα σε ένα χρονικό διάστημα που κυμαίνεται από μισή ώρα έως μερικές ώρες και μπορούν να οδηγήσουν στην τροποποίηση της αρχικής «εμπειρικής» θεραπείας (2^{ος} κόμβος λήψης απόφασης). Τα δείγματα που αποστέλλονται στο Μικροβιολογικό Εργαστήριο επώάζονται για 24-36 ώρες για να διαπιστωθεί εάν η κλινική εικόνα του ασθενούς οφείλεται σε βακτηριαιμία και για να αναγνωριστεί η εστία και η ταυτότητα του μικροβίου. Κατά την καλλιέργεια, τα βακτήρια πολλαπλασιάζονται και εντοπίζονται ευκολότερα με το μικροσκόπιο. Καθώς διαφορετικά βακτήρια αναπτύσσονται καλύτερα σε διαφορετικό περιβάλλον, δύο δείγματα αίματος τοποθετούνται σε αερόβιο κλίβανο επώασης, ενώ ένα τοποθετείται σε αναερόβιο κλίβανο. Ο μεταβολισμός των βακτηρίων παράγει CO₂, το οποίο ανιχνεύεται από ειδικά αισθητήρια όργανα, τα οποία καθορίζουν την ποσότητα – καθώς και το ρυθμό ανάπτυξης – των βακτηρίων στο δείγμα. Αν η περιεκτικότητα σε βακτήρια είναι υψηλή ή ο ρυθμός αύξησής τους είναι υψηλός, διεξάγονται περαιτέρω εξετάσεις για την ταξινόμηση των βακτηρίων σε ομάδες και παθογόνα με βάση:

- Τη μορφολογία, που περιγράφει το σχήμα των βακτηρίων. Από πλευράς σχήματος τα βακτηριακά κύτταρα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: τα ραβδοειδή που ονομάζονται και βάκιλλοι ή βακτηρίδια, τα σφαιρικά (cocci) και τα σπειροειδή (spirilla).
- Την κινητικότητα, καθώς πολλά είδη βακτηρίων παρουσιάζουν αυτόνομη κίνηση. Έτσι κατατάσσονται σε ακίνητα, αυτά που κινούνται τυχαία σε μια κατεύθυνση (περίτριχα) ή σε ευθεία γραμμή στην ίδια κατεύθυνση.
- Τη κατά Gram χρώση, η οποία κατατάσσει τα βακτήρια σε Gram θετικά και Gram αρνητικά με βάση τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των κυτταρικών τους τοιχωμάτων.

Η διαθεσιμότητα της πληροφορίας σχετικά με τη μορφολογία των βακτηρίων μπορεί να οδηγήσει στην τροποποίηση της αρχικής «εμπειρικής» θεραπείας. Έτσι, οδηγούμαστε στον 3^ο κόμβο λήψης αποφάσεων σχετικά με τη θεραπεία, στον οποίο μπορεί να εμπλακεί το πρότυπο ΣΥΚΑ, εάν το τροφοδοτήσουμε με τη μορφολογία των βακτηρίων. Στη συνέχεια, ελέγχεται η ευαισθησία του παθογόνου βακτηρίου και η αντοχή του στα διαθέσιμα αντιβιοτικά: Η καλλιέργεια αίματος αλείφεται σε ένα αποστειρωμένο τρυβλίο Petri με θρεπτικό υλικό (άγαρ) και μικροί δίσκοι καλυμμένοι με ποσότητες διαφόρων αντιβιοτικών τοποθετούνται μέσα στο τρυβλίο. Οι δίσκοι επωάζονται για επιπλέον 36 ώρες και στο τέλος της διαδικασίας η ακτίνα της ζώνης αναστολής ανάπτυξης γύρω από τους δίσκους με τα αντιβιοτικά είναι ανάλογη με την ευαισθησία του βακτηρίου σε κάθε αντιβιοτικό. Η γνωστοποίηση των αποτελεσμάτων του αντιβιογράμματος αποτελεί τον 4^ο κόμβο λήψης απόφασης σχετικά με τη συνέχιση της τρέχουσας θεραπείας ή την προσαρμογή της με βάση τα νέα δεδομένα. Τα παραπάνω βήματα - από την παρατήρηση συμπτωμάτων λοίμωξης που εγείρουν την υποψία για σήψη έως τον προσδιορισμό της εστίας της λοίμωξης και του παθογόνου μικροοργανισμού - περιγράφονται στο Σχήμα 3-1: *Διάγραμμα Ροής Προτύπου Συστήματος*, όπου παρουσιάζονται τα 4 κομβικά σημεία λήψης αποφάσεων. Το πρότυπο ΣΥΚΑ μπορεί να προτείνει μια βέλτιστη αντιβιοτική θεραπεία κατά τη λήψη αποφάσεων στα σημεία αυτά, με βάση τα νέα ευρήματα που προκύπτουν από τις διάφορες εξετάσεις.



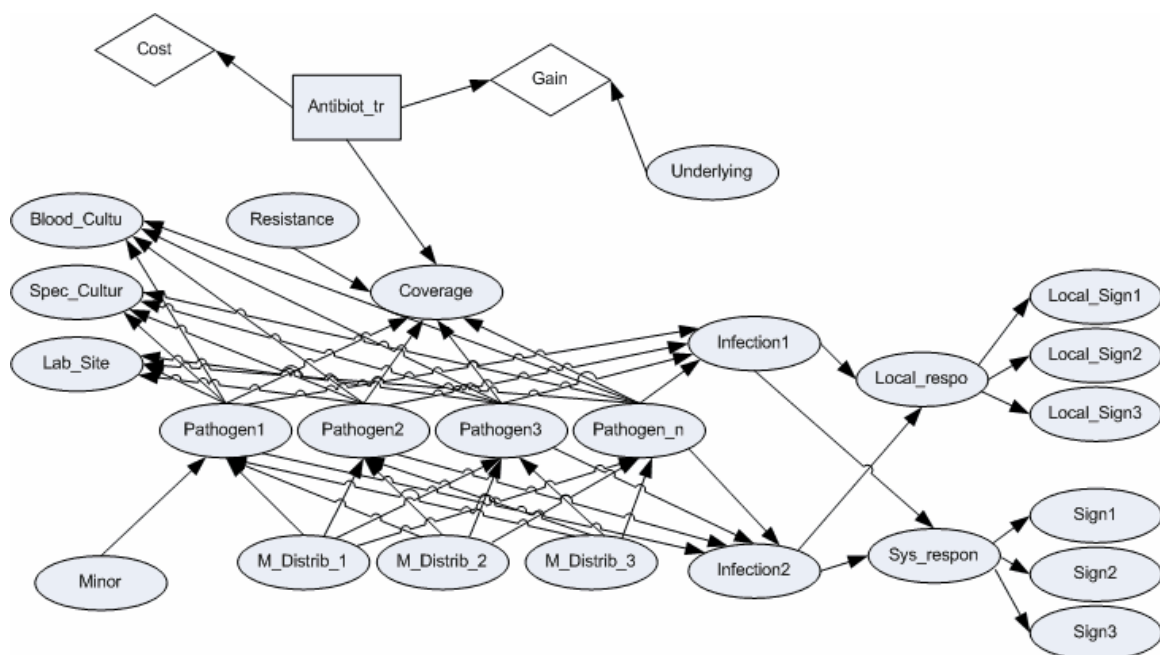
Σχήμα 3-1: Διάγραμμα Ροής Προτύπου Συστήματος

3.1.2. Το κλινικό δίκτυο Bayes

Η «καρδιά» του προτύπου Συστήματος Υποστήριξης Κλινικών Αποφάσεων είναι ένα δίκτυο πεποίθησης Bayes για τη θεραπεία των σοβαρών βακτηριακών λοιμώξεων. Το δίκτυο αποτελείται από διακριτές ενότητες, η κάθε μια εκ των οποίων αντιπροσωπεύει μια πιθανή εστία της λοίμωξης. Στο Σχήμα 3-2 βλέπουμε το γενικό μοντέλο για μια εστία λοίμωξης, όπου οι κόμβοι **Pathogen1** έως **Pathogen_n** αντιπροσωπεύουν τα πιθανά παθογόνα στη συγκεκριμένη εστία. Η πιθανότητα να προκλήθηκε η λοίμωξη από κάποιο παθογόνο καθορίζεται από τη συχνότητα εμφάνισής του σε βασικές ομάδες ασθενών (κόμβοι **M_Distrib_1** έως **M_Distrib_3**). Κάθε ομάδα ασθενών ορίζεται από κάποιον παράγοντα, ο οποίος αποτελεί ισχυρό και ανεξάρτητο δείκτη πρόβλεψης για τη λοίμωξη στη συγκεκριμένη εστία, καθώς και για την κατανομή εμφάνισης των διαφόρων παθογόνων. Για παράδειγμα, στην περίπτωση λοιμώξεων των ουροφόρων οδών, οι βασικοί παράγοντες που καθορίζουν την εμφάνιση της λοίμωξης και την κατανομή των παθογόνων είναι ο τόπος και ο χρόνος εμφάνισης της λοίμωξης, το φύλο και η χρήση καθετήρα. Εκτός από τους σημαντικούς παράγοντες, υπάρχουν και δευτερεύοντες (**Minor**), οι οποίοι πολλαπλασιάζουν την πιθανότητα εμφάνισης κάποιου παθογόνου, χωρίς να επηρεάζουν ιδιαίτερα την παρουσία της λοίμωξης.

Κάθε παθογόνο μπορεί να προκαλέσει κάποια λοίμωξη (**Infection1** έως **Infection2**) και οι λοιμώξεις με τη σειρά τους προκαλούν τοπικές αντιδράσεις (**Local_respo**), που εμφανίζονται ως τοπικές εκδηλώσεις και συμπτώματα, π.χ. βήχας και πόνος κατά την αναπνοή που προκαλείται από πνευμονία (κόμβοι **Local_sign_1** έως **Local_sign_3**), καθώς και συστηματικές αντιδράσεις (**Sys_respo**), που εκδηλώνονται ως γενικευμένα συμπτώματα, όπως πυρετός, ταχυκαρδία και υπόταση (**Sign1** έως **Sign3**).

Ο παθογόνος παράγοντας μπορεί να εντοπιστεί από την καλλιέργεια κάποιου δείγματος, π.χ. ούρων (κόμβος **Spec_cultur**) και με καλλιέργεια αίματος (**Blood_cultu**), ενώ μπορεί να προκαλέσει άλλες αλλαγές που ανιχνεύονται με εργαστηριακές εξετάσεις π.χ. λευκά αιμοσφαίρια στα ούρα (**Lab_site**). Η αντιβιοτική θεραπεία (**Antibiotic_tr**) θα είναι κατάλληλη (**Coverage**) εάν αντιστοιχεί στην in vitro ευαισθησία των παθογόνων και φθάνει στα κατάλληλα επίπεδα στο αίμα και στην εστία της λοίμωξης.



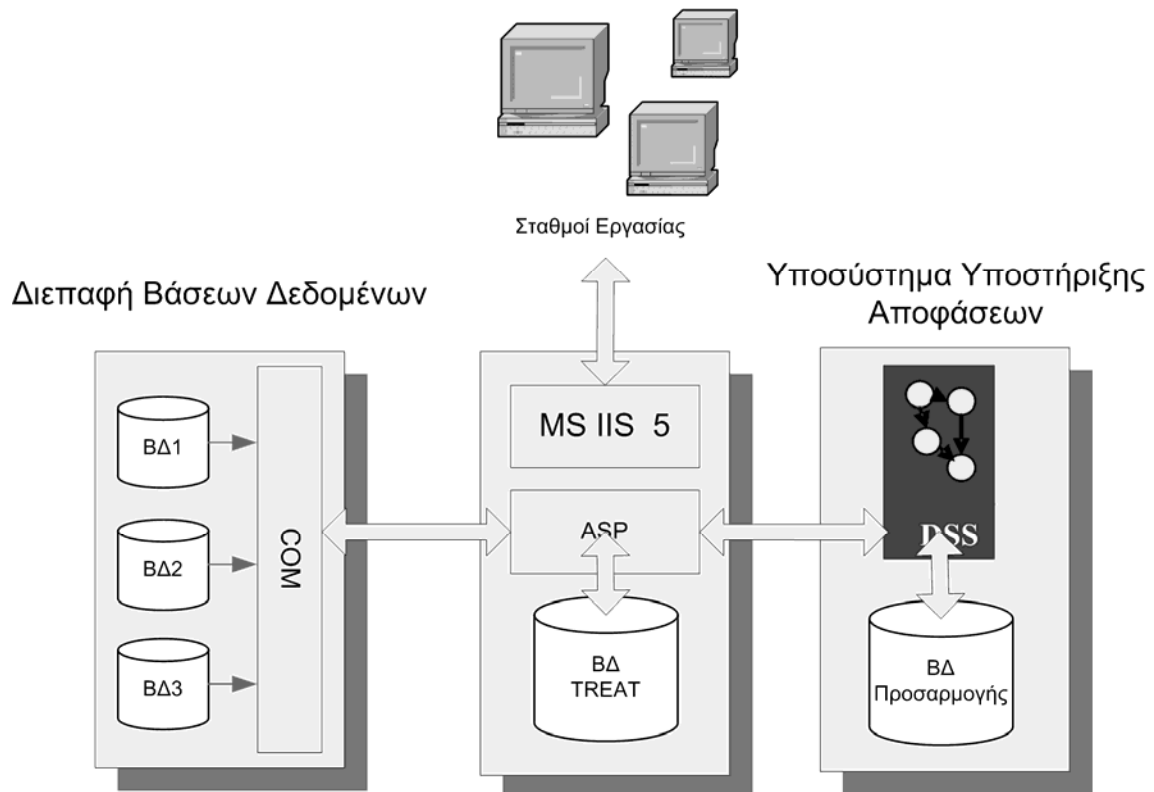
Σχήμα 3-2: Γενικό σχήμα του δικτύου Bayes για μια εστία της λοίμωξης

Το όφελος σε προσδόκιμο ζωής που επιτυγχάνεται από τη χορήγηση κάποιου αντιβιοτικού (**Gain**) καθορίζεται από την κάλυψη που επιτυγχάνει το αντιβιοτικό (κόμβος **Coverage**) και την κατάσταση υγείας (κόμβος **Underlying**) του ασθενή. Για κάθε πιθανή επιλογή αντιβιοτικού, ο κόμβος **Cost** συνυπολογίζει το συνολικό κόστος που προκαλείται από τη χρήση του αντιβιοτικού. Αυτό υπολογίζεται αθροίζοντας το κόστος αγοράς και χορήγησης του αντιβιοτικού, το κόστος που οφείλεται σε τυχόν παρενέργειες και το οικολογικό κόστος, δηλαδή το κόστος των χαμένων ευκαιριών να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά μελλοντικοί ασθενείς λόγω της αύξησης των αντοχών των μικροβίων που προκαλείται από τη χρήση των αντιβιοτικών. Η καλύτερη θεραπεία είναι αυτή με το μεγαλύτερο καθαρό κέρδος, που υπολογίζεται ως το κέρδος μείον το κόστος.

Στο ολοκληρωμένο δίκτυο Bayes, που περιλαμβάνει όλες τις βασικές θέσεις των λοιμώξεων, οι διάφορες θέσεις «ανταγωνίζονται» μεταξύ τους για την ερμηνεία των συστηματικών αντιδράσεων (**Sys_respon**), των θετικών καλλιιεργειών αίματος (**Blood_cultu**) και άλλων εκδηλώσεων και συμπτωμάτων που είναι κοινά για όλες τις εστίες. Αντίθετα, οι τοπικές εκδηλώσεις και συμπτώματα και οι εργαστηριακές εξετάσεις αποτελούν μαρτυρία για την εμφάνιση της λοίμωξης σε συγκεκριμένη εστία.

3.1.3. Η εφαρμογή αλληλεπίδρασης με το πρότυπο σύστημα

Η αλληλεπίδραση του χρήστη με το δίκτυο Bayes πραγματοποιείται μέσω μιας εφαρμογής διαδικτύου (TreatWard) [2]. Οι χρήστες αλληλεπιδρούν μέσω του λογισμικού πλοήγησης Microsoft Internet Explorer με τον εξυπηρετητή που φιλοξενεί την εφαρμογή.



Σχήμα 3-3: Η εφαρμογή αλληλεπίδρασης με το πρότυπο σύστημα

Ο εξυπηρετητής του συστήματος υποστηρίζεται από τον διακομιστή MS Internet Information Server (MS IIS) και επικοινωνεί με τη βάση δεδομένων TREAT μέσω σελίδων Active Server Pages (ASP). Ο εξυπηρετητής επικοινωνεί με το Υποσύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΥΥΑ), που χειρίζεται την παροχή συμβουλών για ένα επεισόδιο και με τη Διεπαφή Βάσεων Δεδομένων για την ανάκτηση στοιχείων από τις τοπικές βάσεις δεδομένων της κλινικής (ΔΒΔ). Τα συστατικά του συστήματος Treat Ward απεικονίζονται στο Σχήμα 3-3.

Ο εξυπηρετητής είναι το «ενεργό» υποσύστημα που χειρίζεται τα δεδομένα από τη Διεπαφή Βάσεων Δεδομένων, τη Βάση Δεδομένων Treat και το Υποσύστημα Υποστήριξης

Αποφάσεων. Ο πηγαίος κώδικας είναι γραμμένος στη γλώσσα Javascript. Ο εξυπηρετητής δημιουργεί ένα νέο ασθενή ή ένα νέο επεισόδιο και ανακτά πληροφορία μέσω της Διεπαφής Βάσεων Δεδομένων, την οποία καταχωρεί στη βάση δεδομένων Treat. Όταν όλη η απαιτούμενη πληροφορία έχει ανακτηθεί ή εισαχθεί χειροκίνητα από τον κλινικό ιατρό, ο εξυπηρετητής στέλνει ένα μήνυμα στο Υποσύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων και ζητά την παροχή συμβουλών. Τότε, το Υποσύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων ανακτά πληροφορία σχετική με το επεισόδιο από τη βάση δεδομένων Treat και την καταχωρεί στους κατάλληλους κόμβους του δικτύου Bayes. Το Υποσύστημα αξιολογεί ένα σύνολο από αντιβιοτικές θεραπείες με βάση τη θνησιμότητα και τη διαφορά κόστους-οφέλους που υπολογίζεται από το δίκτυο Bayes και καταχωρεί τα αποτελέσματα στη βάση δεδομένων Treat, απ' όπου μπορούν να ανακτηθούν και να παρουσιαστούν στο χρήστη.

Το Υποσύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων αποτελείται από τρία βασικά συστατικά: PatientDataSource, CalibrationDataSource και InfectionModel.

- **PatientDataSource**

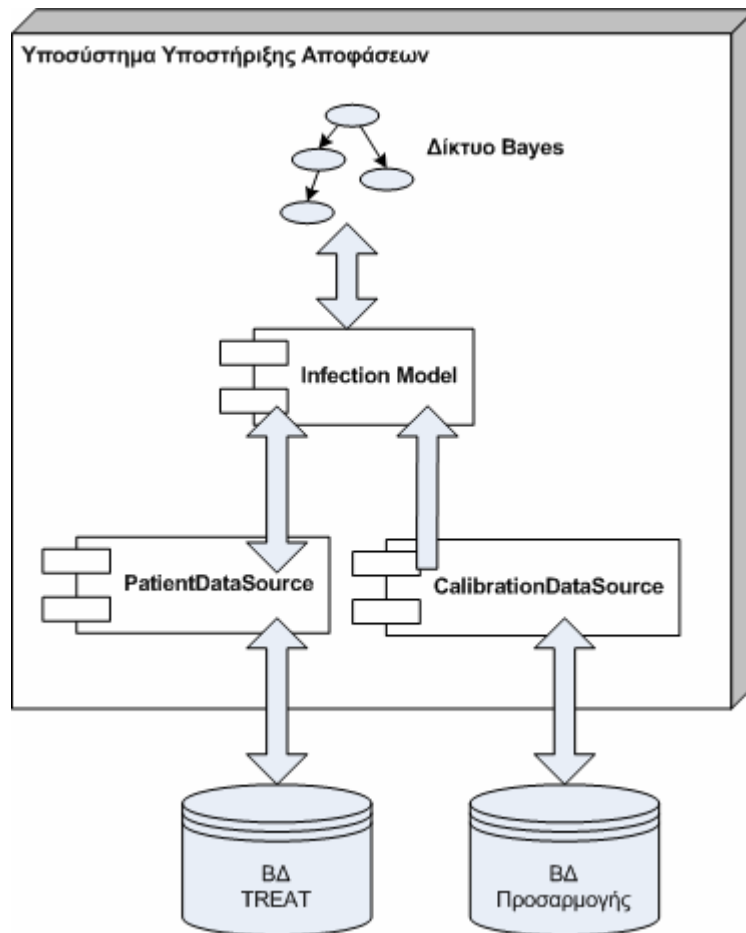
Παρέχει διάφανη πρόσβαση στην πληροφορία σχετικά με τον ασθενή που περιέχεται στη Βάση Δεδομένων Treat μέσω σύνδεσης ODBC

- **CalibrationDataSource**

Παρέχει διάφανη πρόσβαση στην πληροφορία σχετικά με την προσαρμογή στις τοπικές συνθήκες (calibration) που περιέχεται στη Βάση Δεδομένων Προσαρμογής μέσω σύνδεσης ODBC

- **InfectionModel**

Εισάγει στους κόμβους του δικτύου Bayes την πληροφορία που προέρχεται από τα συστατικά CalibrationDataSource και PatientDataSource και υπολογίζει το κόστος και τη θνησιμότητα για διάφορες θεραπείες



Σχήμα 3-4: Συστατικά του Υποσυστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων

3.2. Κριτήρια επιλογής πρότυπου ΣΥΚΑ

Η επιλογή του πρότυπου συστήματος για ανάλυση, βελτιστοποίηση και εφαρμογή τεχνικών παράλληλης επεξεργασίας βασίστηκε στα ακόλουθα κριτήρια:

- ✓ Αποτελεί ένα επιτυχημένο σύστημα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων με σημαντική συμβολή στην πρόληψη των ιατρικών λαθών, καθώς έχει τη δυνατότητα να μειώσει την ακατάλληλη αντιβιοτική θεραπεία στο μισό [3].
- ✓ Βασίζεται σε δίκτυο Bayes, το οποίο αποτελεί ανεκτίμητο εργαλείο για την ανάπτυξη κλινικών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, κυρίως λόγω των δυνατοτήτων ενσωμάτωσης γνώσης από τη βιβλιογραφία και κλινικές βάσεις δεδομένων. Συνεπώς, η μεθοδολογία που αναπτύσσεται μπορεί να βρει εφαρμογή σε

ένα ευρύτερο φάσμα κλινικών συστημάτων που χρησιμοποιούν δίκτυα Bayes για την αναπαράσταση της ιατρικής γνώσης.

- ✓ Είναι εξαιρετικά πολύπλοκο, καθώς αποτελείται από περίπου 6.000 κόμβους, ο καθένας από τους οποίους αντιπροσωπεύει μια διακριτή τυχαία μεταβλητή.
- ✓ Η εξαγωγή συμπερασμάτων στο δίκτυο έχει υψηλές απαιτήσεις σε υπολογιστικές δυνατότητες και μνήμη.
- ✓ Ο χρόνος απόκρισης σε ένα μέσο σταθμό εργασίας (2~3 min) θεωρείται ότι αποτελεί τροχοπέδη στην αποδοχή και ενσωμάτωσή του στην κλινική πράξη.

3.3. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1]. Leonard Leibovici, Michal Fishman, Henrik C Schønheyder, Christian Riekehr, Brian Kristensen, Ilana Shraga, and Steen Andreassen , “A Causal Probabilistic Network for Optimal Treatment of Bacterial Infections,” IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering, 12(4) (2000), pp. 517-528
- [2]. TREAT-WARD installed at 3 sites, Deliverable D9 for the TREAT project: IST-1999-11459, 2002
- [3]. Tacconelli, E., Paul, M., Cataldo, M. A., Almanasreh, N., Zalounina, A., Nielsen, A., Andreassen, S., Frank, U., Cauda, R., and Leibovici, “A computerized decision support system (TREAT) to reduce inappropriate antibiotic therapy of bacterial infection”, Proceedings at 14th European Congress of Clinical Microbiology and Infectious Diseases, May 2004, Prague, Czech Republic. 10:3, Page 4-4. (Abstract)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

4.1. Εισαγωγή

Η πρώτη προσέγγιση στην προσπάθεια βελτιστοποίησης του πρότυπου συστήματος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων αφορά την ανάλυση της απόδοσής του με χρήση κατάλληλου λογισμικού, με στόχο την αναγνώριση και εξάλειψη δυνητικών σημείων συμφόρησης κατά τη ροή της εφαρμογής, που επιβραδύνουν ανεπιθύμητα τη διαδικασία παροχής συμβουλών από το σύστημα. Για το σκοπό αυτό επιθεωρούμε τις διαθέσιμες τεχνικές ανάλυσης της απόδοσης λογισμικού.

4.2. Τεχνικές ανάλυσης απόδοσης

Η δειγματοληψία (sampling) είναι μια μη επεμβατική προσέγγιση στην ανάλυση της απόδοσης του λογισμικού, καθώς δεν απαιτεί αλλαγές στο περιβάλλον εκτέλεσης των προγραμμάτων και όλη η ανάλυση πραγματοποιείται εκτός της διεργασίας των εφαρμογών. Η δειγματοληψία εκμεταλλεύεται τις διακοπές (interrupts) του λειτουργικού συστήματος για την καταγραφή της τρέχουσας εντολής της εφαρμογής υπό εξέταση. Η λήψη του δείγματος διαρκεί ελάχιστα και δεν επιβαρύνει την εκτέλεση της εφαρμογής, καθώς απαιτεί μόνο τη μεταφορά των περιεχομένων ενός καταχωρητή της Κεντρικής Μονάδας Επεξεργασίας (ΚΜΕ) στη μνήμη. Τα καταγεγραμμένα σημεία εκτέλεσης αντιστοιχίζονται αργότερα με ρουτίνες και γραμμές του πηγαίου κώδικα της εφαρμογής χρησιμοποιώντας συμβολική (debug) πληροφορία που συνδέεται με το εκτελέσιμο αρχείο της εφαρμογής. Το τελικό αποτέλεσμα είναι η συχνότητα εμφάνισης κάποιας ρουτίνας ή κάποιας γραμμής του

πηγαίου κώδικα κατά τη διάρκεια μιας δεδομένης περιόδου στο χρόνο ζωής της εφαρμογής ή μέχρι τον τερματισμό της εφαρμογής.

Στην περίπτωση των επεμβατικών μεθόδων, εισάγεται ειδικός κώδικας στην αρχή και στο τέλος κάθε ρουτίνας με στόχο τη μέτρηση του πραγματικού χρόνου που διαρκεί η εκτέλεση της ρουτίνας σε κάθε κλήση. Εδώ μπορούμε να διακρίνουμε τους αναλυτές που μεταβάλλουν τον πηγαίο κώδικα (π.χ. gprof [1]) και αυτούς που εργάζονται αποκλειστικά στο περιβάλλον εκτέλεσης (π.χ. Valgrind [2]), εισάγοντας ειδικό κώδικα απευθείας στο εκτελέσιμο της εφαρμογής κατά το φόρτωμα στη μνήμη.

Η προσέγγιση της δειγματοληψίας είναι ιδανική για τον εντοπισμό μικρών ρουτινών που καλούνται συχνά και προκαλούν συμφόρηση στην εκτέλεση του προγράμματος, ενώ οι εφαρμογές εκτελούνται σχεδόν στην πραγματική τους ταχύτητα κατά την ανάλυση [3]. Το μειονέκτημα είναι ότι οι υπολογισμοί του χρόνου εκτέλεσης των τμημάτων του κώδικα είναι προσεγγιστικοί. Αντίθετα, οι επεμβατικές προσεγγίσεις έχουν μεγαλύτερες δυνατότητες να παράγουν ακριβή αποτελέσματα, όμως η ανάλυση απαιτεί περισσότερο χρόνο. Επίσης, ενδέχεται να επηρεάσουν την απόδοση της εφαρμογής σε σύγχρονους επεξεργαστές που χρησιμοποιούν τεχνικές βελτιστοποίησης και να παράγουν ανακριβείς συγκρίσεις ανάμεσα σε μικρότερες και μεγαλύτερες ρουτίνες.

Με βάση τα παραπάνω επιλέγουμε την προσέγγιση της δειγματοληψίας, καθώς:

- ✓ Είναι μη επεμβατική και δεν επηρεάζει τη λειτουργία του συστήματος
- ✓ Επιτρέπει τη γρήγορη ανίχνευση σημείων συμφόρησης στη ροή της εφαρμογής

4.2.1. Ο αναλυτής Intel VTune Performance Analyzer

Το λογισμικό Intel VTune Performance Analyzer επιλέγεται για την ανάλυση της απόδοσης του προτύπου συστήματος, καθώς αποτελεί ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάλυσης και ρύθμισης της απόδοσης για αρχιτεκτονικές Intel (IA-32) [4].

Ο αναλυτής απόδοσης Intel VTune Performance Analyzer παρέχει δύο μεθόδους δειγματοληψίας:

- Time-Based Sampling (TBS)

Ο αναλυτής διακόπτει τον επεξεργαστή ανά τακτά χρονικά διαστήματα που καθορίζονται από το προκαθορισμένο διάστημα δειγματοληψίας (συνήθως 1 ms) και συλλέγει δείγματα των διευθύνσεων εντολών

- Event-Based Sampling (EBS)

Ο αναλυτής συλλέγει δείγματα των διευθύνσεων εντολών μετά από καθορισμένο αριθμό συμβάντων που σχετίζονται με τον επεξεργαστή. Η συχνότητα δειγματοληψίας καθορίζεται από το πόσο συχνά προκαλείται ένα συμβάν από τις εφαρμογές που αναλύονται. Αν δεν καθοριστεί κάποιο άλλο γεγονός, επιλέγεται ως συμβάν ο κύκλος ρολογιού της Κεντρικής Μονάδας Επεξεργασίας (ΚΜΕ), π.χ. πραγματοποιείται δειγματοληψία κάθε 2.000.000 κύκλους ρολογιού.

Σε πολλές περιπτώσεις, ο αριθμός εμφάνισης ενός συμβάντος δεν έχει ιδιαίτερο νόημα από μόνος του, όμως η αναλογία του με κάποιο άλλο συμβάν παρέχει χρήσιμη πληροφορία για την απόδοση της εφαρμογής. Ο αναλυτής απόδοσης παρέχει κάποιους προκαθορισμένους Λόγους Εμφάνισης Συμβάντων (Event Ratios), με πιο ενδεικτικό για τις δυνατότητες βελτιστοποίησης του κώδικα το λόγο των κύκλων ρολογιού προς τον αριθμό των εντολών που εκτελέστηκαν:

$$\text{Κύκλοι Ανά Εντολές (ΚΑΕ)} = \text{Κύκλοι ρολογιού} / \text{Εντολές που εκτελέστηκαν} \quad (1)$$

Από την εμπειρία των μηχανικών απόδοσης έχει προκύψει ότι για τον επεξεργαστή Pentium IV ισχύουν οι ακόλουθοι κανόνες: Τιμές του λόγου ΚΑΕ κοντά στη μονάδα αποτελούν ένδειξη ότι ο κώδικας κάνει καλή χρήση των πόρων του επεξεργαστή, ενώ η τιμή του λόγου ΚΑΕ κοντά στο 5 υποδεικνύει χαμηλή αξιοποίηση των πόρων του επεξεργαστή και υψηλές δυνατότητες βελτιστοποίησης τμημάτων της εφαρμογής.

Για την ανάλυση της απόδοσης του προτύπου ΣΥΚΑ επιλέγουμε την προσέγγιση του Event-Based Sampling καθώς μας επιτρέπει να αναγνωρίσουμε τα τμήματα του συστήματος που καταναλώνουν τον περισσότερο χρόνο της ΚΜΕ και να εξάγουμε τους ενδεικτικούς λόγους ΚΑΕ για τα τμήματα αυτά, αναγνωρίζοντας έτσι τις δυνατότητες βελτιστοποίησης

ενοτήτων του κώδικα, στις οποίες οι εντολές καταναλώνουν έναν υψηλό αριθμό από κύκλους ρολογιού για την εκτέλεσή τους.

4.2.2. Δειγματοληψία EBS

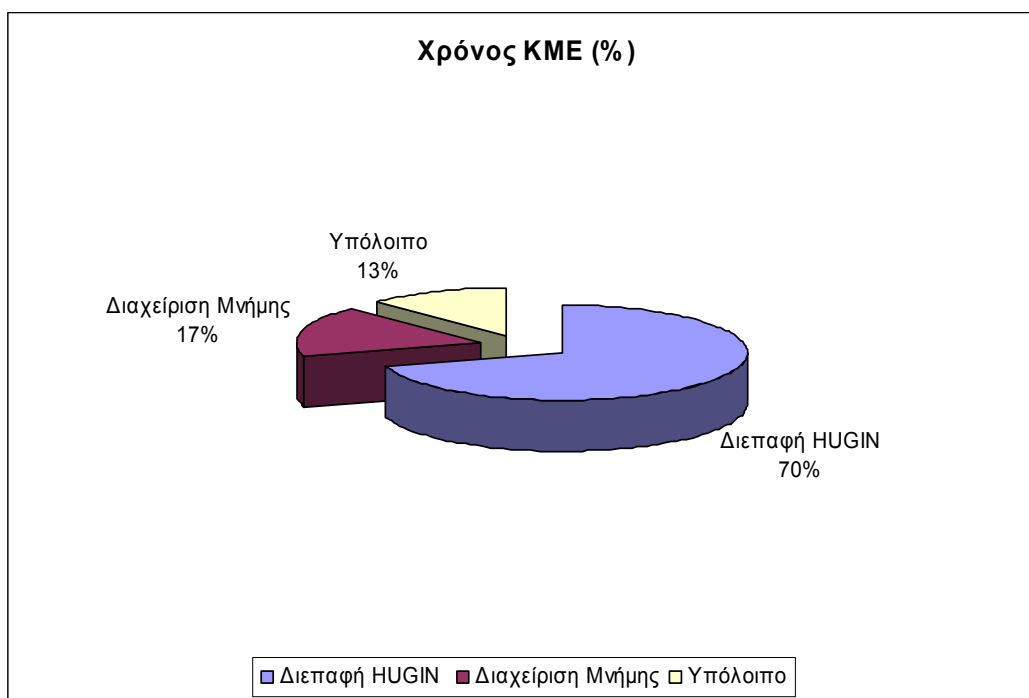
Πραγματοποιούμε δειγματοληψία για δυο βασικά σενάρια της εφαρμογής αλληλεπίδρασης με το πρότυπο δίκτυο Bayes:

[A] Ολοκληρωμένη λειτουργία, που περιλαμβάνει αυθεντικοποίηση του χρήστη, αρχικοποίηση της εφαρμογής και παροχή συμβουλών για κάποιο επεισόδιο και

[B] Παροχή συμβουλών για επεισόδιο.

Η απόδοση του Σεναρίου [B] μας ενδιαφέρει περισσότερο, καθώς η αυθεντικοποίηση του χρήστη και η αρχικοποίηση της εφαρμογής μπορούν να πραγματοποιηθούν άπαξ κατά την έναρξη της λειτουργίας του συστήματος και να μην επαναλαμβάνονται σε κάθε αναζήτηση συμβουλών από το Σύστημα. Η δειγματοληψία βασίζεται στη μέθοδο Event-Based Sampling και καταγράφονται τα συμβάντα «Κύκλοι ρολογιού» και «Εντολές που Εκτελέστηκαν», από τα οποία προκύπτει ο λόγος ΚΑΕ (Εξίσωση 1). Για μεγαλύτερη στατιστική ακρίβεια, εκτελούμε κάθε δειγματοληψία 5 φορές και υπολογίζουμε το μέσο όρο των παραπάνω συμβάντων.

Από την ανάλυση του συμβάντος «Κύκλοι ρολογιού» για το Σενάριο [A] προκύπτει η κατανάλωση χρόνου της ΚΜΕ από βασικές ενότητες του Συστήματος. Στο Σχήμα 4-1 βλέπουμε πως κατανέμεται η χρήση της ΚΜΕ από κώδικα που αντιστοιχεί στον αλγόριθμο HUGIN (Διεπαφή για Προγραμματισμό Εφαρμογών HUGIN – HUGIN API), σε λειτουργίες διαχείρισης μνήμης και στο υπόλοιπο του κώδικα.



Σχήμα 4-1: Χρόνος ΚΜΕ (%) για την πρότυπη εφαρμογή

Καθώς οι εντολές διαχείρισης μνήμης οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στην ανταλλαγή μηνυμάτων ανάμεσα στις κλίκες του μετασχηματισμένου δικτύου Bayes και πραγματοποιούνται από τις μεθόδους της Διεπαφής Προγραμματισμού Εφαρμογών HUGIN (HUGIN API), συμπεραίνουμε ότι σχεδόν 80% με 90% του χρόνου της ΚΜΕ καταναλώνεται από τη βιβλιοθήκη HUGIN API.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται δειγματοληψία για το Σενάριο [B], όπου εντοπίζουμε τις μεθόδους της διεπαφής HUGIN που καταναλώνουν τους περισσότερους πόρους. Στον Πίνακα 4-2: *Χρόνος ΚΜΕ και λόγος ΚΑΕ για τις μεθόδους της διεπαφής HUGIN* απεικονίζονται οι σημαντικότερες εσωτερικές μέθοδοι της διεπαφής HUGIN, ο χρόνος χρήσης της ΚΜΕ και ο αντίστοιχος λόγος ΚΑΕ.

Όνομασία	Χρόνος ΚΜΕ (%)	Λόγος ΚΑΕ
<i>_h_combine</i>	33,00	1,6
<i>_h_marginalize</i>	9,30	2,2
<i>_h_collect_evidence</i>	1,30	1,8
<i>_h_distribute_evidence</i>	0,23	14,6

Πίνακας 4-2: Χρόνος ΚΜΕ και λόγος ΚΑΕ για τις μεθόδους της διεπαφής HUGIN

4.2.3. Ερμηνεία και Συμπεράσματα

Στο Κεφάλαιο 2 είδαμε ότι ένα εύρημα διαδίδεται από μια κλίκα C1 στη γειτονική κλίκα C2 πολλαπλασιάζοντας τον πίνακα της C2 με το λόγο P_s^* / P_s του νέου πίνακα P_s^* για το διαχωριστή προς τον προηγούμενο πίνακα P_s . Η μέθοδος *_h_combine* χειρίζεται τον πολλαπλασιασμό αυτό, ο οποίος αποτελεί το βασικό μηχανισμό διάδοσης των ευρημάτων μέσα στο δέντρο ζεύξης. Ο λόγος ΚΑΕ για τη μέθοδο *_h_combine* είναι πολύ κοντά στη μονάδα και υποδεικνύει ότι ο κώδικας κάνει βέλτιστη χρήση των πόρων του επεξεργαστή. Η δεύτερη πιο απαιτητική μέθοδος είναι η *_h_marginalize* που χειρίζεται λειτουργίες υπολογισμού των περιθωρίων κατανομών πιθανότητας για όλους τους κόμβους του δικτύου, που απαιτούνται για τη διάδοση των ευρημάτων. Ο λόγος ΚΑΕ είναι 2.2 και αποτελεί δείκτη καλής απόδοσης της μεθόδου.

Η μέθοδος *_h_collect_evidence* επιτελεί τη λειτουργία *CollectEvidence*, η οποία αναλύθηκε στην ενότητα «2.7. Διάδοση των ευρημάτων στο λογισμικό HUGIN». Ο χρόνος χρήσης της ΚΜΕ (1.3%) αποτελεί το χρόνο που καταναλώνεται μέσα στην ίδια τη μέθοδο και όχι σε κλήσεις προς την *_h_combine*, *_h_marginalize* ή άλλες μεθόδους, όπως απαιτείται για την ανταλλαγή μηνυμάτων ανάμεσα στις κλίκες του δέντρου. Ο λόγος ΚΑΕ για τη λειτουργία *CollectEvidence* είναι 1,8 και υποδεικνύει ότι η υλοποίηση της συλλογής ευρημάτων είναι βέλτιστη. Τέλος, η μέθοδος *_h_distribute_evidence* χειρίζεται τη λειτουργία *DistributeEvidence*, η οποία παρουσιάζεται στην ενότητα «2.7. Διάδοση των ευρημάτων στο λογισμικό HUGIN». Παρατηρούμε ότι ο λόγος ΚΑΕ (14.6) για τη συγκεκριμένη μέθοδο είναι ιδιαίτερα υψηλός, κάτι που οφείλεται στην υπολογιστική πολυπλοκότητα της διάδοσης των ευρημάτων, η οποία αναφέρεται ότι είναι μεγαλύτερη ή ίση από την πολυπλοκότητα της συλλογής των ευρημάτων [5]. Στη συγκεκριμένη περίπτωση αποδεικνύεται ότι ο λόγος ΚΑΕ για τη διαδικασία της διάδοσης των ευρημάτων στο δέντρο *DistributeEvidence* είναι 8 φορές μεγαλύτερος από το λόγο ΚΑΕ για τη μέθοδο συλλογής των ευρημάτων *CollectEvidence*.

Από την ανάλυση συμπεραίνουμε ότι το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου ΚΜΕ καταναλώνεται από τη Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογών HUGIN και ότι ο κώδικας HUGIN είναι βελτιστοποιημένος ως προς την απόδοσή του, συνεπώς η διεπαφή δεν

προκαλεί συμφόρηση στη ροή της εφαρμογής. Το συμπέρασμα αυτό μας οδήγησε στην αναζήτηση μεθόδων βελτιστοποίησης των αλγορίθμων που χρησιμοποιούν τις εξαγόμενες λειτουργίες της διεπαφής HUGIN για την αλληλεπίδραση με το δίκτυο Bayes.

4.3. Βελτιστοποίηση του μηχανισμού εξαγωγής συμπερασμάτων

Ο αλγόριθμος του τριγωνισμού μπορεί να έχει μεγάλη επίδραση στο μέγεθος του παραγόμενου δέντρου ζεύξης, ειδικά στην περίπτωση μεγάλων δικτύων, όπως το δίκτυο του προτύπου ΣΥΚΑ, που περιέχει περίπου 6.000 τυχαίες μεταβλητές. Για να διερευνήσουμε τις δυνατότητες βελτιστοποίησης του πιθανοτικού συμπερασμού (probabilistic inference) σε συνάρτηση με τη μέθοδο τριγωνισμού, δοκιμάζουμε 4 εναλλακτικές μεθόδους και καταγράφουμε το μέσο χρόνο υπολογισμού της σχέσης κόστους-οφέλους από τη χορήγηση κάποιας αντιβιοτικής θεραπείας. Οι δοκιμές πραγματοποιούνται με τροποποίηση του πηγαίου κώδικα, ώστε να ενημερώνεται η διεπαφή HUGIN για τον αλγόριθμο τριγωνισμού που πρέπει να χρησιμοποιηθεί, και εκτέλεση της εφαρμογής για ένα απλοποιημένο επεισόδιο σηψαιμίας.

Στον Πίνακα 4-3: *Μέσος χρόνος υπολογισμού για εναλλακτικές μεθόδους τριγωνισμού* απεικονίζεται η μέθοδος τριγωνισμού και ο μέσος χρόνος υπολογισμού των αποτελεσμάτων μιας θεραπείας από τις 45 διαθέσιμες θεραπείες που συγκρίνονται. Η πλατφόρμα των δοκιμών είναι ένας σταθμός εργασίας Pentium IV με συχνότητα ρολογιού 2GHz και 768MB μνήμη RAM.

Μέθοδος τριγωνισμού	Μέσος χρόνος υπολογισμού (ms)
<i>h_tm_fill_in_weight</i>	1897
<i>h_tm_fill_in_size</i>	1978
<i>h_tm_clique_weight</i>	3134
<i>h_tm_total_weight</i>	Η εφαρμογή δεν αποκρίνεται

Πίνακας 4-3: Μέσος χρόνος υπολογισμού για εναλλακτικές μεθόδους τριγωνισμού

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 4-3 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η χρήση της προεπιλεγμένης μεθόδου τριγωνισμού (*h_tm_fill_in_weight*) έχει σαν αποτέλεσμα την ταχύτερη διάδοση των ευρημάτων στο μετασχηματισμένο δίκτυο σε σχέση με τις εναλλακτικές ευρετικές μεθόδους

- Οι υπολογιστικές απαιτήσεις της μεθόδου *h_tm_total_weight*, η οποία αναφέρεται ότι μπορεί να παράγει βέλτιστο τριγωνισμό, δεν μπορούν να καλυφθούν από ένα σταθμό εργασίας Pentium IV/2GHz/768MB RAM.

4.4. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1]. GNU gprof, http://www.cs.utah.edu/dept/old/texinfo/as/gprof_toc.html
- [2]. Valgrind, <http://valgrind.org/>
- [3]. AutomatedQA, The Fundamentals of Performance Profilers - What You Need to Know, <http://www.automatedqa.com/techpapers/profiling.asp>
- [4]. VTune Performance Analyzer 7.1. [Online]. Available: <http://www.intel.com/cd/software/products/asmo-na/eng/vtune/vpa/index.htm>
- [5]. F.V. Jensen, K.G. Olesen, S.K. Andersen, An algebra of Bayesian belief universes for knowledge-based systems, Networks 20 (5) (1990) 637-659.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

5.1. Παράλληλη επεξεργασία

Ένας παράλληλος υπολογιστής αποτελείται από ένα σύνολο από επεξεργαστές που μπορούν να συνεργάζονται για την επίλυση ενός υπολογιστικού προβλήματος. Ο ορισμός αυτός είναι αρκετά ευρύς και καλύπτει παράλληλους υπέρ-υπολογιστές με εκατοντάδες ή χιλιάδες επεξεργαστές, δίκτυα από σταθμούς εργασίας, σταθμούς εργασίας με πολλούς επεξεργαστές ή ενσωματωμένα (embedded) συστήματα.

Μια δημοφιλής ταξινόμηση των παράλληλων υπολογιστών που εισήχθη από τον Michael Flynn στα μέσα της δεκαετίας του 1960 διακρίνει το προγραμματιστικό μοντέλο σε Μοναδικής Εντολής, Πολλαπλών Δεδομένων (ΜΕΠΔ) (single instruction / multiple data – SIMD) ή Πολλαπλών Εντολών, Πολλαπλών Δεδομένων (ΠΕΠΔ) (multiple instruction – multiple data – ΜΙΜΔ) [1]. Στις μηχανές ΜΕΠΔ, όλοι οι επεξεργαστές εκτελούν την ίδια ακολουθία εντολών πάνω σε διαφορετικό τμήμα των δεδομένων. Αυτό το μοντέλο προγραμματισμού απαιτεί χαμηλή πολυπλοκότητα σε υλικό και λογισμικό, αλλά είναι κατάλληλο μόνο για εξειδικευμένες κατηγορίες προβλημάτων, όπως η επεξεργασία εικόνας. Στο μοντέλο ΜΕΠΔ χρησιμοποιούνται γλώσσες υψηλού επιπέδου (π.χ. CM Fortran ή Lisp) ενώ η επεξεργασία και η επικοινωνία ανάμεσα στους επεξεργαστές συγχρονίζεται σε κάθε κύκλο ρολογιού.

Στην περίπτωση των μηχανών ΠΕΠΔ, κάθε επεξεργαστής εκτελεί μια ανεξάρτητη ακολουθία εντολών στα δικά του τοπικά δεδομένα, ενώ μπορούμε να διακρίνουμε τους υπολογιστές ΠΕΠΔ με κατανεμημένη μνήμη, όπου η μνήμη κατανέμεται ανάμεσα στους

επεξεργαστές, και τους υπολογιστές ΠΕΠΔ με κοινή μνήμη (ή μηχανές πολυεπεξεργασίας), όπου οι επεξεργαστές μοιράζονται την πρόσβαση σε μια κοινή μνήμη, συνήθως μέσω ενός κοινού διαδρόμου ή πολλαπλών διαδρόμων. Στο ιδανικό μοντέλο μιας Παράλληλης Μηχανής Τυχαίας Προσπέλασης (Parallel Random Access Machine - PRAM), που χρησιμοποιείται συχνά στη θεωρητική μελέτη των παράλληλων αλγορίθμων, κάθε επεξεργαστής μπορεί να προσπελάσει οποιοδήποτε κύτταρο της κοινής μνήμης στιγμιαία [2]. Στην πράξη, απαιτείται μια ιεράρχηση στις μνήμες, όπου τα συχνότερα χρησιμοποιούμενα τμήματα της μνήμης αντιγράφονται στην πολύ γρηγορότερη τοπική μνήμη (cache) κάθε επεξεργαστή.

5.2. Μεθοδολογία σχεδιασμού παράλληλων αλγορίθμων

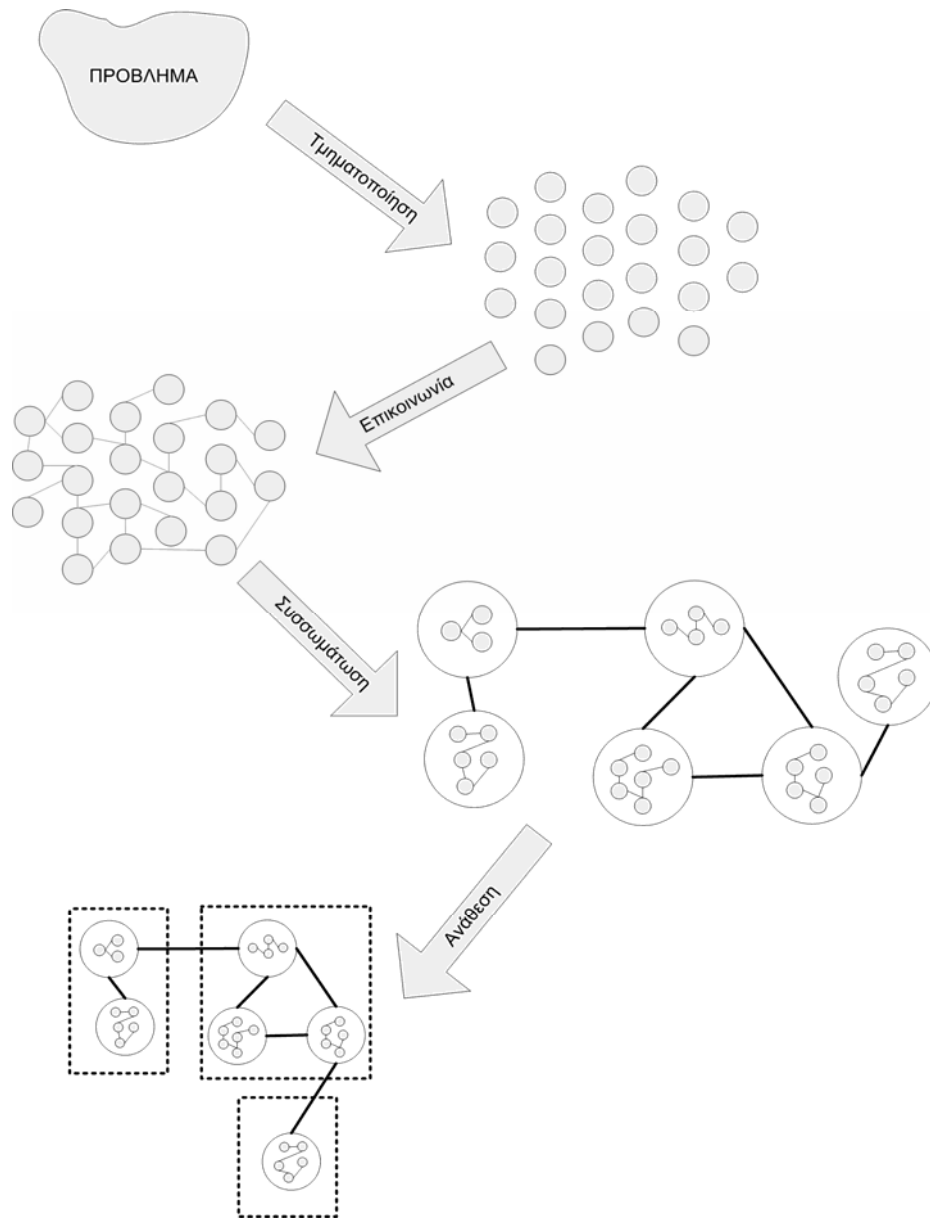
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζουμε μια μεθοδολογία για την ανάπτυξη παράλληλων αλγορίθμων, η οποία προτάθηκε από τον Ian Foster [3] και έχει ως στόχο να λαμβάνονται υπόψη νωρίς στη σχεδίαση βασικές πλευρές του παράλληλου προγραμματισμού, όπως η ταυτόχρονη πρόσβαση σε πόρους. Η προσέγγιση περιλαμβάνει 4 στάδια: Στα πρώτα δύο εστιάζουμε στον ταυτοχρονισμό και στις δυνατότητες κλιμάκωσης και αναζητούμε αλγορίθμους που ανταποκρίνονται στις ιδιότητες αυτές, ενώ στο τρίτο και το τέταρτο η προσοχή μετακινείται στην τοπικότητα των δεδομένων και σε άλλα θέματα που αφορούν την απόδοση του παραλληλισμού (Σχήμα 5-1).

A) Τμηματοποίηση

Ο υπολογισμός που πρέπει να πραγματοποιηθεί, καθώς και δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν, διαιρούνται σε μικρότερες εργασίες. Στη φάση αυτή αγνοούνται εσκεμμένα διάφορα πρακτικά θέματα, όπως ο αριθμός των διαθέσιμων επεξεργαστών, για να δοθεί προσοχή στην αναγνώριση ευκαιριών για παράλληλη επεξεργασία.

B) Επικοινωνία

Αναγνωρίζονται οι ανάγκες επικοινωνίας για το συντονισμό της εργασίας και καθορίζονται οι κατάλληλες δομές και αλγόριθμοι επικοινωνίας.



Σχήμα 5-1: Μεθοδολογία ανάπτυξης παράλληλων αλγορίθμων

Γ) Συσσωμάτωση

Στη φάση αυτή αξιολογούνται τα δύο πρώτα στάδια με κριτήριο τις απαιτήσεις απόδοσης και το κόστος υλοποίησης. Αν κριθεί απαραίτητο, κάποιες υπό-εργασίες ενώνονται σε μεγαλύτερες εργασίες για να αυξηθεί η απόδοση ή να μειωθεί το κόστος ανάπτυξης του παράλληλου αλγορίθμου

Δ) Ανάθεση

Κάθε εργασία ανατίθεται σε κάποιον επεξεργαστή με στόχο να ικανοποιηθούν ταυτόχρονα οι ανταγωνιστικοί στόχοι της μεγιστοποίησης της χρήσης των επεξεργαστών και της ελαχιστοποίησης του κόστους επικοινωνίας. Η ανάθεση μπορεί να πραγματοποιηθεί στατικά ή δυναμικά κατά την εκτέλεση με αλγόριθμους ισοστάθμισης φόρτου (load balancing).

5.3. Συστοιχίες υπολογιστών

Η πιο δημοφιλής και οικονομική προσέγγιση στην παράλληλη επεξεργασία είναι οι συστοιχίες υπολογιστών, που αποτελούνται από Προσωπικούς Υπολογιστές (Π/Υ) με το λειτουργικό σύστημα Linux. Η αποτελεσματικότητα της προσέγγισης εξαρτάται από το επικοινωνιακό δίκτυο ανάμεσα στους Π/Υ, που μπορεί να κυμαίνεται από Fast Ethernet μέχρι Myrinet, με ικανότητα μεταφοράς μηνυμάτων με ρυθμό αρκετών Gigabits per second (Gbs) [4].

Η πρώτη συστοιχία Π/Υ κατασκευάστηκε το 1994 από το Goddard Space Flight Center της NASA με στόχο την εκτέλεση ενός δισεκατομμυρίου διαδικασιών κινητής υποδιαστολής ανά δευτερόλεπτο (1 Gigaflop). Ειδικότερα, 16 Π/Υ ενώθηκαν σε ένα τυπικό δίκτυο Ethernet, ενώ κάθε Π/Υ είχε έναν μικροεπεξεργαστή Intel 486 με απόδοση γύρω στα 70 Megaflops (70 εκατομμύρια διαδικασίες κινητής υποδιαστολής ανά δευτερόλεπτο). Το κόστος της συστοιχίας ήταν 40.000 δολάρια, τη στιγμή που το κόστος ενός αντίστοιχου εμπορικού υπέρ-υπολογιστή ήταν 1 εκατομμύριο δολάρια. Η πρώτη συστοιχία βαφτίστηκε Beowulf από το όνομα του αδύναμου μεσαιωνικού ήρωα που νίκησε το γίγαντα Grendel. Τρία χρόνια αργότερα, ερευνητές από το εργαστήριο Oak Ridge των ΗΠΑ κατασκεύασαν μια συστοιχία Beowulf από ξεπερασμένους Π/Υ διαφόρων τύπων. Για παράδειγμα, κάποια στιγμή περιείχε 75 Π/Υ με μικροεπεξεργαστές Intel 486, 53 Π/Υ Intel Pentium και 5 γρήγορους σταθμούς εργασίας Alpha. Ενώ δημιουργήθηκε με ελάχιστο κόστος, αυτή η ετερογενής συστοιχία από Π/Υ ήταν σε θέση να πραγματοποιήσει σημαντικές προσομοιώσεις και να παράγει αναλυτικούς χάρτες των ΗΠΑ, οι οποίοι παρέχουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με οικοσυστήματα και προβλέψεις για τις κλιματικές αλλαγές που σχετίζονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου [5].

Η επιτυχία της πρώτης συστοιχίας Beowulf οδήγησε στην ανάπτυξη αρκετών συστημάτων υψηλής απόδοσης με χρήση οικονομικών μικροεπεξεργαστών και γρήγορης δικτύωσης με ρυθμούς μεγαλύτερους του Gigabit/sec. Ο νόμος του Moore προβλέπει ότι η ταχύτητα των μικροεπεξεργαστών διπλασιάζεται κάθε 18 μήνες, κάτι που σημαίνει ότι - ακόμα και χωρίς επαναστατικές αλλαγές στον τρόπο κατασκευής - επεξεργαστές με ταχύτητα δεκάδων GigaFlops θα είναι κάποια στιγμή διαθέσιμοι. Η ναυοτεχνολογία μπορεί να παρατείνει την εγκυρότητα της πρόβλεψης του Moore, η οποία δεν έχει πάψει να ισχύει εδώ και 4 δεκαετίες. Εκτός από την αύξηση της ταχύτητας των επεξεργαστών, αξίζει να επισημάνουμε και άλλες κομβικές εξελίξεις που συνέβαλλαν στην κατασκευή φθηνών υπέρ-υπολογιστών τύπου Beowulf [4]:

- Η ανάπτυξη και η ωρίμανση του λειτουργικού συστήματος Linux, που είναι πλέον διαθέσιμο σε όλες τις πλατφόρμες υπολογιστών. Η ελεύθερη διανομή του Linux και το κίνημα για λογισμικό ανοιχτού κώδικα καθιέρωσαν το Linux ως το λειτουργικό σύστημα επιλογής για συστοιχίες υπολογιστών.
- Το πρωτόκολλο επικοινωνίας διεργασιών Message Passing Interface (MPI) κατέστησε τον παράλληλο κώδικα μεταφέσιμο και εύκολο στον προγραμματισμό. Υπάρχουν πολλές υλοποιήσεις του προτύπου, όπως MPICH, SCore κ.λ.π., αλλά όλες μοιράζονται το ίδιο βασικό σύνολο εντολών.
- Οι ταχύτερες εξελίξεις στη δικτύωση των υπολογιστών, όπως οι γρήγοροι μεταγωγείς με μικρές καθυστερήσεις, που είναι σήμερα ευρύτερα διαθέσιμοι στο εμπόριο.

5.4. Μέτρηση της Απόδοσης της Παραλληλοποίησης

Ο Gene Amdahl [13] πρότεινε ένα γενικό μοντέλο για τον παράγοντα επιτάχυνσης που μπορεί να επιτευχθεί αν παραλληλοποιήσουμε ένα πρόγραμμα. Ο γνωστός και ως “Νόμος του Amdahl” υποθέτει ότι κάποιο ποσοστό ξ ενός προγράμματος δεν μπορεί να παραλληλοποιηθεί και ότι το υπόλοιπο $(1-\xi)$ είναι απόλυτα παραλληλοποιήσιμο. Αγνοώντας τις καθυστερήσεις που οφείλονται στην επικοινωνία, ο νόμος του Amdahl για την επιτάχυνση S_p δίνει:

$$S_p = \frac{T_1}{[\xi + (1 - \xi)/P]T_1} = \frac{1}{\xi + \frac{1 - \xi}{P}}, \quad (1)$$

όπου P ο αριθμός των επεξεργαστών και T_1 ο σειριακός χρόνος εκτέλεσης. Συνεπώς, το άνω όριο της επιτάχυνσης για $P \rightarrow \infty$ είναι $S_p \leq 1/\xi$. Αυτό σημαίνει ότι ακόμα και εάν $\xi = 1\%$, δηλαδή μόνο 1% του προγράμματος δεν παραλληλοποιείται, η μέγιστη θεωρητική επιτάχυνση για 100 επεξεργαστές ($P = 100$) είναι $S_{100} = 50$.

Παρά την αναμφισβήτητη χρησιμότητά της, η επιτάχυνση S_p μπορεί να είναι συχνά παραπλανητική, καθώς ευνοεί αλγορίθμους χαμηλής απόδοσης με υψηλή δυνατότητα παραλληλοποίησης αντί για πιο αποδοτικούς αλγορίθμους που δεν είναι εύκολο να μεταφερθούν σε συστήματα πολυεπεξεργασίας. Επίσης, ο νόμος του Amdahl βασίζεται στην υπόθεση ότι το σειριακό τμήμα της εργασίας ξ είναι ανεξάρτητο από το μέγεθος του προβλήματος N . Στην πράξη, το ποσοστό ξ μειώνεται ως συνάρτηση του μεγέθους του προβλήματος. Συνεπώς, το άνω όριο του παράγοντα επιτάχυνσης S_p συνήθως αυξάνει ως συνάρτηση του μεγέθους του προβλήματος. Μια άλλη ανωμαλία είναι η υπεργραμμική επιτάχυνση, που σημαίνει ότι ο παράγοντας της επιτάχυνσης προκύπτει μεγαλύτερος από τον αριθμό των επεξεργαστών P . Η υπεργραμμική επιτάχυνση μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως η υπό-βέλτιστη σειριακή υλοποίηση του αλγορίθμου, το γεγονός ότι εκτός από P επεξεργαστές, ένας πολυεπεξεργαστής μπορεί να διαθέτει και P φορές περισσότερη τοπική μνήμη, να έχουμε πιο αποδοτική χρήση της υπάρχουσας μνήμης από τους επεξεργαστές λόγω της τμηματοποίησης του προβλήματος, κ.α.

Ο νόμος του Amdahl αγνοεί διάφορα θέματα που σχετίζονται με την παραλληλοποίηση, ειδικότερα σε σχέση με την εφαρμογή του σε περιβάλλον τύπου Beowulf. Εκτός από το σειριακό χρόνο ξ και τον παραλληλοποίησιμο χρόνο $(1 - \xi)$, ένας πιο ρεαλιστικός υπολογισμός της επιτάχυνσης πρέπει να περιλαμβάνει τουλάχιστον άλλους δύο χρόνους [6].

Έστω:

- **T_s**: Ο αρχικός σειριακός χρόνος σε έναν επεξεργαστή (ξ)
- **T_{is}**: Ο μέσος σειριακός χρόνος που καταναλώνεται για επικοινωνία ανάμεσα στους επεξεργαστές (Interprocessor Communication – IPC), αρχικοποίηση κ.λ.π. Ο χρόνος αυτός μπορεί να εξαρτάται από τον αριθμό N των επεξεργαστών με διάφορους τρόπους, αλλά η απλούστερη υπόθεση είναι ότι κάθε σύστημα ξοδεύει τον ίδιο

χρόνο το ένα μετά το άλλο, έτσι ώστε ο συνολικός προστιθέμενος σειριακός χρόνος είναι $N \cdot T_{is}$.

- **T_p** : Ο αρχικός παραλληλοποιήσιμος χρόνος σε έναν επεξεργαστή (1-ξ)
- **T_{ip}** : Ο μέσος παράλληλος χρόνος που καταναλώνεται από κάθε επεξεργαστή για την αρχικοποίηση και την παράλληλη επεξεργασία. Αυτός μπορεί να περιλαμβάνει και ανενεργό (idle) χρόνο.

Με βάση τους παραπάνω χρόνους προκύπτει μια βελτιωμένη - αλλά επίσης απλουστευμένη - εκδοχή του νόμου του Amdahl για την εκτίμηση της παράλληλης επιτάχυνσης που επιτυγχάνεται κατανέμοντας μια εργασία σε N επεξεργαστές:

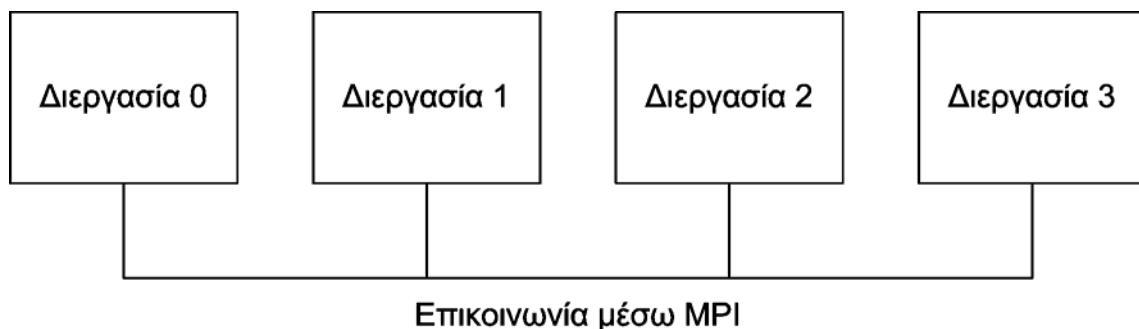
$$S(N) = \frac{T_s + T_p}{T_s + N \cdot T_{is} + T_p / N + T_{ip}} \quad (2)$$

Ο τύπος αυτός παρέχει μια πιο ρεαλιστική εκτίμηση της δυνατότητας κλιμάκωσης εργασιών που παραλληλοποιούνται σε ένα περιβάλλον Beowulf.

5.5. Πρωτόκολλα επικοινωνίας διεργασιών

5.5.1. Message Passing Interface (MPI)

Το προγραμματιστικό μοντέλο του πρωτοκόλλου MPI προβλέπει ότι ένας παράλληλος υπολογισμός πραγματοποιείται από μία ή περισσότερες διεργασίες που επικοινωνούν μέσω των ρουτινών της βιβλιοθήκης για την αποστολή και λήψη μηνυμάτων από και προς άλλες διεργασίες (Σχήμα 5-2: Πρωτόκολλο επικοινωνίας διεργασιών MPI). Σχεδόν οποιαδήποτε



Σχήμα 5-2: Πρωτόκολλο επικοινωνίας διεργασιών MPI

πράξη στα πλαίσια του πρωτοκόλλου μπορεί να συνοψιστεί στη βασική ιδέα «Αποστολή μηνύματος – Λήψη μηνύματος». Στις περισσότερες υλοποιήσεις του πρωτοκόλλου δημιουργείται ένας σταθερός αριθμός διεργασιών κατά την αρχικοποίηση της εφαρμογής, ενώ μια διεργασία αντιστοιχεί σε κάθε επεξεργαστή.

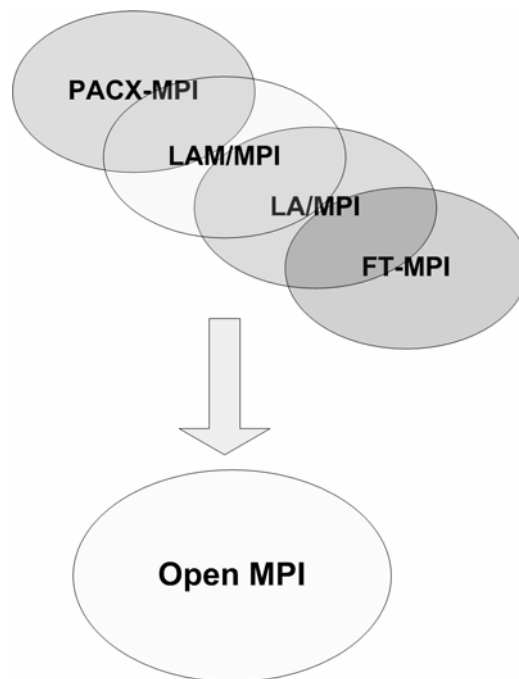
Παρότι το πρωτόκολλο MPI είναι περίπλοκο και πολύπλευρο, ένα ευρύτατο σύνολο προβλημάτων μπορεί να επιλυθεί με χρήση μόνο 6 λειτουργιών, που αρχικοποιούν και τερματίζουν έναν υπολογισμό, αναγνωρίζουν τις διεργασίες και στέλνουν ή δέχονται μηνύματα:

- MPI_INIT : Αρχικοποίηση ενός υπολογισμού MPI
- MPI_FINALIZE : Τερματισμός ενός υπολογισμού
- MPI_COMM_SIZE : Καθορισμός του αριθμού p των διεργασιών στον τρέχοντα υπολογισμό
- MPI_COMM_RANK : Καθορισμός της τρέχουσας διεργασίας μέσω ενός ακέραιου αναγνωριστικού $(0, \dots, p-1)$
- MPI_SEND : Αποστολή μηνύματος
- MPI_RECV : Λήψη μηνύματος

Ίσως το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου MPI είναι η υποστήριξη αρθρωτού προγραμματισμού μέσω του μηχανισμού communicator, που ορίζει ένα υποσύνολο (ομάδα) διεργασιών που εμπλέκονται σε μια μεταφορά μηνύματος. Οι διεργασίες που ανήκουν σε κάποια ομάδα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους με «τοπικά» αναγνωριστικά και να εκτελούν λειτουργίες συλλογικής επικοινωνίας, χωρίς να εμπλέκουν άλλες διεργασίες. Η συλλογική επικοινωνία περιλαμβάνει αποστολή του ίδιου μηνύματος από μια διεργασία σε όλες (MPI_BCAST), συλλογή μηνυμάτων που προέρχονται από πολλές διεργασίες σε μια (MPI_GATHER), αποστολή πολλών μηνυμάτων από μια διεργασία προς πολλές (MPI_SCATTER), συλλογή μιας τιμής από κάθε άλλη διεργασία και υπολογισμός μιας τελικής τιμής (π.χ. άθροισμα, γινόμενο) (MPI_REDUCE), συγχρονισμός των διεργασιών μέσα στην ομάδα (MPI_BARRIER) κ.α. Τέλος, το πρωτόκολλο υποστηρίζει ασύγχρονη επικοινωνία μέσω της ικανότητας που παρέχει στις διεργασίες να ενημερώνονται για την ύπαρξη εκκρεμών μηνυμάτων χωρίς να τα λαμβάνουν.

Το πρωτόκολλο MPI επιτρέπει την ανάπτυξη μεταφέρσιμων εφαρμογών, καθώς υποστηρίζεται από όλες σχεδόν τις παράλληλες πλατφόρμες, ενώ αποτελείται από 2 προδιαγραφές: το πρότυπο MPI-1 (1994) και το νεότερο MPI-2 (1997), που περιλαμβάνει διορθώσεις και επεκτάσεις της αρχικής προδιαγραφής. Οι πιο διαδεδομένες μεταφέρσιμες υλοποιήσεις του προτύπου MPI είναι οι MPICH [7], MPICH2 [8] και LAM MPI [9]. Η εξέλιξη των παράλληλων αρχιτεκτονικών, είτε αφορά τις γεωγραφικά κατανομημένες αρχιτεκτονικές «Υπολογιστικού Πλέγματος», είτε τη δραματική αύξηση του αριθμού των διαθέσιμων επεξεργαστών, θέτει νέες προκλήσεις στις υπάρχουσες υλοποιήσεις του προτύπου MPI [10]. Μια υλοποίηση MPI που καλείται να αξιοποιήσει χιλιάδες επεξεργαστές αντιμετωπίζει θέματα κλιμάκωσης που μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά την απόδοση της παράλληλης εφαρμογής. Τα λάθη μετάδοσης στο επίπεδο του δικτύου, που θεωρούνταν αμελητέα σε συστοιχίες μεσαίου μεγέθους, δεν μπορούν να αγνοηθούν σε υπολογισμούς μεγάλης κλίμακας. Επίσης, η πιθανότητα αποτυχίας της εφαρμογής αυξάνεται με τον αριθμό των επεξεργαστών που χρησιμοποιεί, συνεπώς απαιτείται ένας μηχανισμός ανοχής σε σφάλματα, π.χ. μέσω σημείων ελέγχου στην εφαρμογή που επιτρέπουν την επανεκκίνηση της εφαρμογής από το τελευταίο σημείο ελέγχου πριν το σφάλμα και όχι από την αρχή. Διάφορα τέτοια θέματα έχουν αντιμετωπιστεί από διαφορετικές υλοποιήσεις του προτύπου MPI, αλλά καμιά δεν τα έχει αντιμετωπίσει συνολικά. Το κενό αυτό έρχεται να καλύψει η υλοποίηση Open MPI [10], η οποία συνθέτει την εμπειρία από διάφορα έργα, όπως LAM-MPI, LA-MPI, FT-MPI και PACX-MPI, προσπαθώντας να συνδυάσει τα καλύτερα χαρακτηριστικά από τις διάφορες υλοποιήσεις σε μια βέλτιστη υλοποίηση MPI ανοικτού κώδικα (Σχήμα 5-3: *Open MPI*). Οι στόχοι του έργου Open MPI συνοψίζονται στα εξής:

- Δημιουργία πλήρους υλοποίησης του προτύπου MPI-2 σε ελεύθερο λογισμικό, ανοικτού κώδικα και ποιότητας παραγωγής
- Παροχή υψηλής απόδοσης σε επίπεδο χρόνων αναμονής, εύρους ζώνης κ.λ.π.
- Άμεση εμπλοκή της κοινότητας που ασχολείται με υπολογισμούς υψηλής επίδοσης με στόχο την εξωτερική ανάπτυξη και την ανάδραση
- Ανάπτυξη μιας σταθερής πλατφόρμας για έρευνα και εμπορική ανάπτυξη
- Αποφυγή της ανεξάρτητης ανάπτυξης παρόμοιας λειτουργικότητας από διαφορετικές ομάδες (forking)
- Υποστήριξη μεγάλου εύρους από πλατφόρμες και περιβάλλοντα υπολογισμών υψηλών επιδόσεων



Σχήμα 5-3: Open MPI

5.5.2. Parallel Virtual Machine (PVM)

Όπως το πρότυπο MPI, έτσι και το σύστημα PVM [11] βασίζεται στην ανταλλαγή μηνυμάτων. Ειδικότερα, μας επιτρέπει να χειριστούμε ένα δίκτυο από ετερογενή μηχανήματα ως ένα ενιαίο, παράλληλο «εικονικό μηχάνημα» με κατανομημένη μνήμη. Το «εικονικό μηχάνημα» μπορεί να αποτελείται από μηχανήματα διαφορετικής αρχιτεκτονικής σε απομακρυσμένες τοποθεσίες. Το σύστημα PVM αποτέλεσε την πρώτη επιτυχημένη προσπάθεια στην ανάπτυξη μεταφέρσιμων εφαρμογών για παράλληλες αρχιτεκτονικές, όμως η χρήση του άρχισε να περιορίζεται δραστικά κατά το τέλος της δεκαετίας του 1990 προς όφελος του νεότερου πρωτοκόλλου MPI [12]. Επίσης, οι νεότερες εκδόσεις του συστήματος PVM δεν ενσωματώνουν νέα χαρακτηριστικά, αλλά αποτελούν απλά συντήρηση του κώδικα και περιλαμβάνουν σποραδικές διορθώσεις.

5.5.3. OpenMP

Το OpenMP [14] είναι μια διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών (API) για την ανάπτυξη παράλληλων εφαρμογών σε αρχιτεκτονικές διαμοιραζόμενης μνήμης. Αποτελείται από οδηγίες προς το μεταγλωττιστή, ρουτίνες βιβλιοθηκών και μεταβλητές περιβάλλοντος που επιτρέπουν την ανάπτυξη παράλληλων εφαρμογών σε Fortran, C ή C++. Η προδιαγραφή OpenMP έχει σχεδιαστεί με στόχο την αξιοποίηση των ειδικών χαρακτηριστικών των αρχιτεκτονικών διαμοιραζόμενης μνήμης, συνεπώς δεν είναι κατάλληλη για δίκτυα σταθμών εργασιών ή μηχανήματα κατανεμημένης μνήμης.

5.6. Απαιτήσεις παραλληλοποίησης του προτύπου συστήματος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων

Πριν προχωρήσουμε στη διερεύνηση των δυνατοτήτων παραλληλοποίησης του προτύπου συστήματος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων και των κατάλληλων τεχνικών που πρέπει να εφαρμοστούν, καθορίζουμε τις βασικές απαιτήσεις που καθοδηγούν τη σχεδίαση του παράλληλου συστήματος:

- Υποστήριξη μεγάλου εύρους από πλατφόρμες και περιβάλλοντα παράλληλης επεξεργασίας

Ο παράλληλος κώδικας θα πρέπει να είναι μεταφέρσιμος σε διάφορες πλατφόρμες υλικού και λογισμικού. Συνεπώς, η ανάπτυξη δε θα πρέπει να βασίζεται σε υποθέσεις σχετικά με την εσωτερική αρχιτεκτονική του παράλληλου υλικού, αλλά επιδιώκεται η αποδοτική λειτουργία τόσο σε συστοιχίες πολυεπεξεργαστών, όσο και σε συστοιχίες Beowulf. Για την κάλυψη της απαίτησης αυτής επιλέγεται η χρήση του πρωτοκόλλου επικοινωνίας διεργασιών MPI, που εξασφαλίζει τη μεταφερσιμότητα του παράλληλου κώδικα σε πληθώρα αρχιτεκτονικών, λόγω της ευρύτατης υποστήριξης διαφορετικού υλικού και της επικοινωνίας με μηνύματα ανάμεσα στις διεργασίες. Επίσης, απαιτείται η μετατροπή του πηγαίου κώδικα με βάση τον πρότυπο ορισμό της γλώσσας προγραμματισμού και η εξάλειψη επεκτάσεων και υποθέσεων που είναι έγκυρες μόνο σε συγκεκριμένες πλατφόρμες υλικού και λογισμικού.

- Επεξεργασία αιτήσεων σε πραγματικό χρόνο

Ο βασικός στόχος της παράλληλης έκδοσης του συστήματος είναι η ελαχιστοποίηση της ταχύτητας απόκρισης του συστήματος, κάτι που οδηγεί στην ικανοποίηση του χρήστη και σε αυξημένες πιθανότητες αποδοχής του συστήματος στην κλινική πράξη. Το σύστημα θα πρέπει να λειτουργεί σε «κατάσταση αναμονής» για την άμεση εξυπηρέτηση αιτήσεων με βάση τη σειρά άφιξής τους.

- Χρήση «ανοικτών» προτύπων και τεχνολογιών

Η ολοκλήρωση του συστήματος σε ένα κατανεμημένο περιβάλλον προϋποθέτει τη χρήση ανοικτών τεχνολογιών και προτύπων για την επικοινωνία του συστήματος με τον «έξω» κόσμο. Για το σκοπό αυτό ενδείκνυται η χρήση τεχνολογιών XML για τη μεταφορά δεδομένων από και προς το σύστημα.

- Εύκολη προσαρμογή του συστήματος σε διαφορετικό περιβάλλον εργασίας

Η μεταφερσιμότητα του συστήματος δεν αφορά μόνο θέματα υλικού και λογισμικού, αλλά και την επιτυχή προσαρμογή του στις ιδιαίτερες συνθήκες κάθε περιβάλλοντος εργασίας. Η προσαρμογή αυτή επιτυγχάνεται μέσω της παραμετροποίησης του συστήματος, π.χ. η ευαισθησία των βακτηρίων στα αντιβιοτικά διαφέρει από τη μια μονάδα υγείας στην άλλη και πρέπει να τροποποιηθεί κατάλληλα. Η προσαρμογή μπορεί να εξασφαλιστεί μέσω μιας μεταφέρσιμης «αποθήκης» πληροφοριών, η οποία θα είναι κωδικοποιημένη σε αρχεία XML και θα ρυθμίζει το σύστημα κατά την αρχικοποίησή του με βάση τις τοπικές συνθήκες.

5.7. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1]. Γ.Κ. Παπακωνσταντίνου, Π.Δ. Τσανάκας, Γ.Π. Φραγκάκης, Αρχιτεκτονική Υπολογιστών, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 1991
- [2]. Αλγόριθμοι: Μέθοδοι Σχεδίασης και Ανάλυση Πολυπλοκότητας, Φ.Αφράτη, Γ.Παπαγεωργίου, Εκδόσεις Συμμετρία, 1993
- [3]. I. Foster. Designing and Building Parallel Programs. Addison-Wesley, 1995
- [4]. George Em Karniadakis, Robert M. Kirby II, "Parallel Scientific Computing in C++ and MPI", Cambridge University Press, 2003.
- [5]. William W. Hargrove, Forrest M. Hoffman, and Thomas Sterling. The Do-It-Yourself supercomputer. Scientific American, 285(2):72-79, August 2001
- [6]. R. Brown, Maximizing Beowulf Performance, Proceedings, 4th Annual Linux Showcase & Conference, Atlanta GA [Online]. Available: http://www.linuxshowcase.org/2000/2000papers/papers/brownrobert/brownrobert_html/
- [7]. MPICH, Διαθέσιμο από την ιστοσελίδα: <http://www-unix.mcs.anl.gov/mpi/mpich/>
- [8]. MPICH-2, Διαθέσιμο από την ιστοσελίδα: <http://www-unix.mcs.anl.gov/mpi/mpich2/>
- [9]. LAM-MPI, Διαθέσιμο από την ιστοσελίδα: <http://www.lam-mpi.org/>
- [10]. Open MPI: Goals, Concept, and Design of a Next Generation MPI Implementation. Edgar Gabriel, Graham E. Fagg, George Bosilca, Thara Angskun, Jack J. Dongarra, Jeffrey M. Squyres, Vishal Sahay, Prabhanjan Kambadur, Brian Barrett, Andrew Lumsdaine, Ralph H. Castain, David J. Daniel, Richard L. Graham, and Timothy S. Woodall. In Proceedings, 11th European PVM/MPI Users' Group Meeting, Budapest, Hungary, September 2004
- [11]. Parallel Virtual Machine (PVM), Διαθέσιμο από την ιστοσελίδα: http://www.csm.ornl.gov/pvm/pvm_home.html
- [12]. W. D. Gropp and E. Lusk. Why are PVM and MPI so different ? In M. Bubak, J. Dongarra, and J. Wasniewski, editors, Recent Advances in Parallel Virtual Machine and Message Passing Interface, volume 1332 of Lecture Notes in Computer Science, pages 3--10. Springer Verlag, 1997.
- [13]. G. M. Amdahl, Validity of the single-processor approach to achieving large scale computing capabilities. In AFIPS Conference Proceedings (1967), pp. 483-485
- [14]. OpenMP, Διαθέσιμο από την ιστοσελίδα: <http://www.openmp.org>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ BAYES

6.1. Παραλληλοποίηση της εξαγωγής συμπερασμάτων σε δίκτυα Bayes

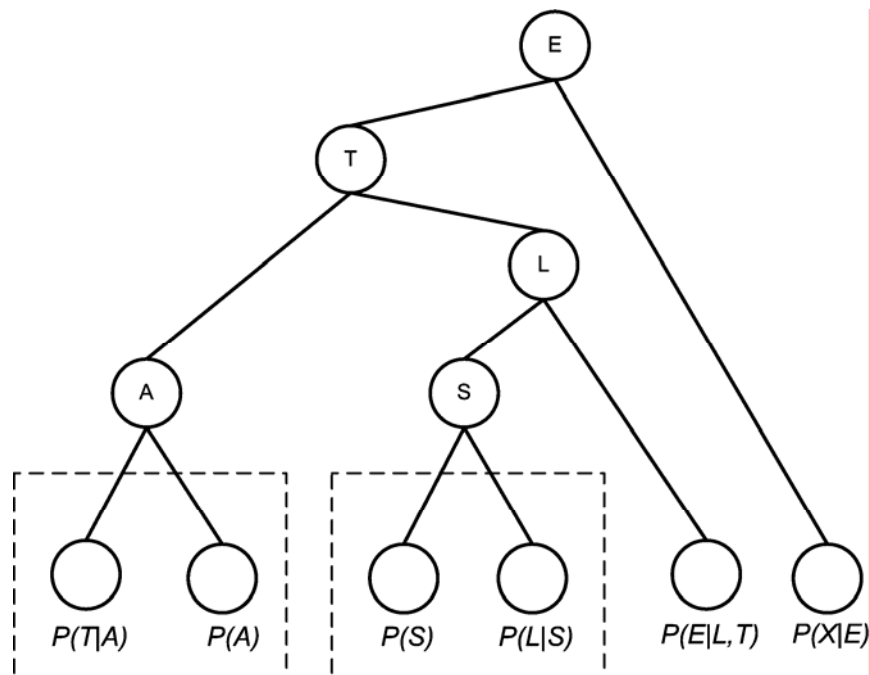
Η πολυπλοκότητα της εξαγωγής συμπερασμάτων από δίκτυα Bayes είναι NP-hard, είτε χρησιμοποιούμε ακριβείς αλγορίθμους, είτε ακολουθήσουμε την τακτική των προσεγγιστικών τεχνικών [1]. Καθώς η εξαγωγή γνώσης από δίκτυα Bayes είναι μια εργασία που απαιτεί υπολογισμούς μεγάλης έντασης (ανεξάρτητα με την προσέγγιση που χρησιμοποιείται), ένας τρόπος επιτάχυνσης της διαδικασίας είναι η χρήση παράλληλου υλικού [2]. Η βασική ιδέα πίσω από την παραλληλοποίηση είναι η διαίρεση μιας εργασίας σε υπό-εργασίες, έτσι ώστε οι υπό-εργασίες να εκτελούνται ταυτόχρονα και τα αποτελέσματά τους να συνθέτουν το αποτέλεσμα της αρχικής εργασίας. Σε όλες τις περιπτώσεις που μια εργασία διαιρείται σε υπό-εργασίες, εισάγεται επιπλέον φόρτος εργασίας λόγω συγχρονισμού, ο οποίος δεν θα πρέπει να επηρεάζει σημαντικά την απόδοση της παραλληλοποίησης. Η παραλληλοποίηση της εξαγωγής συμπερασμάτων σε δίκτυα Bayes μπορεί να πραγματοποιηθεί με τους εξής τρόπους:

1. Παραλληλοποίηση με βάση την τοπολογία του δικτύου
2. Παραλληλοποίηση των υπολογισμών στο εσωτερικό των κλικών
3. Παραλληλοποίηση με βάση τη δέσμευση ενός συνόλου μεταβλητών

6.1.1. Παραλληλοποίηση με βάση την τοπολογία του δικτύου

Η παραλληλοποίηση της εξαγωγής συμπερασμάτων μπορεί να βασιστεί στην τοπολογία του δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι η παραλληλοποίηση μπορεί να υλοποιηθεί αναθέτοντας κάθε κόμβο του αρχικού δικτύου Bayes σε έναν αυτόνομο επεξεργαστή, ο οποίος είναι ανενεργός μέχρι να του επιτραπεί να στείλει ένα μήνυμα στους γείτονές τους [3]. Αν το δέντρο ενός μοναδικά συνδεδεμένου δικτύου Bayes δεν είναι «θαμνώδες» και διαθέτουμε πολλούς επεξεργαστές, η πλειοψηφία τους θα είναι ανενεργή τον περισσότερο χρόνο. Επίσης, μια τέτοια προσέγγιση είναι ακατάλληλη για δίκτυα που αναπαριστούν κλινική γνώση, καθώς περιλαμβάνουν συνήθως πολύ μεγάλο αριθμό κόμβων.

Στην περίπτωση των αλγορίθμων που βασίζονται στην ακριβή εξαγωγή συμπερασμάτων (π.χ. Symbolic Probabilistic Inference [4], Lauritzen-Spiegelhalter [5]), η ακολουθία των υπολογισμών μπορεί να αναπαρασταθεί γραφικά ως ένα δέντρο αξιολόγησης: κάθε κόμβος-φύλλο αντιστοιχίζεται ένα-προς-ένα με κάποια κατανομή πιθανοτήτων του αρχικού δέντρου, ενώ κάθε μη-φύλλο αντιστοιχεί σε πράξεις ανάμεσα στις κατανομές πιθανοτήτων των κόμβων. Στο Σχήμα 6-1: *Δέντρο αξιολόγησης για τον υπολογισμό της πιθανότητας $P(X)$* βλέπουμε ένα δέντρο αξιολόγησης, όπου ο συνδυασμός των κατανομών πιθανοτήτων $P(T|A)$ και $P(A)$ μπορεί να πραγματοποιηθεί παράλληλα με το συνδυασμό των $P(S)$ και $P(L|S)$. Και σ' αυτή την περίπτωση ένα δέντρο με υψηλό παράγοντα διακλάδωσης εξασφαλίζει αυξημένες δυνατότητες παραλληλισμού.



Σχήμα 6-1: Δέντρο αξιολόγησης για τον υπολογισμό της πιθανότητας $P(X)$

Η παραλληλοποίηση των υπολογισμών σε ένα δέντρο ζεύξης (junction tree), το οποίο προκύπτει από ένα δίκτυο Bayes, είναι αντίστοιχη με αυτή του δέντρου αξιολόγησης: Οι λειτουργίες που πραγματοποιούνται κατά την ανταλλαγή μηνυμάτων ανάμεσα στις κλίκες είναι τοπικές και δεν απαιτείται η γνώση της συνολικής δομής του δέντρου, συνεπώς μπορούν να εκτελεστούν παράλληλα. Καθώς τα μηνύματα ρέουν από τις εξωτερικές κλίκες προς τη ρίζα, όλο και λιγότερες κλίκες επιτρέπεται να στείλουν μηνύματα, με αποτέλεσμα όλο και περισσότεροι επεξεργαστές να μένουν ανενεργοί, αν θεωρήσουμε ότι σε κάθε κλίκα αντιστοιχεί ένας επεξεργαστής.

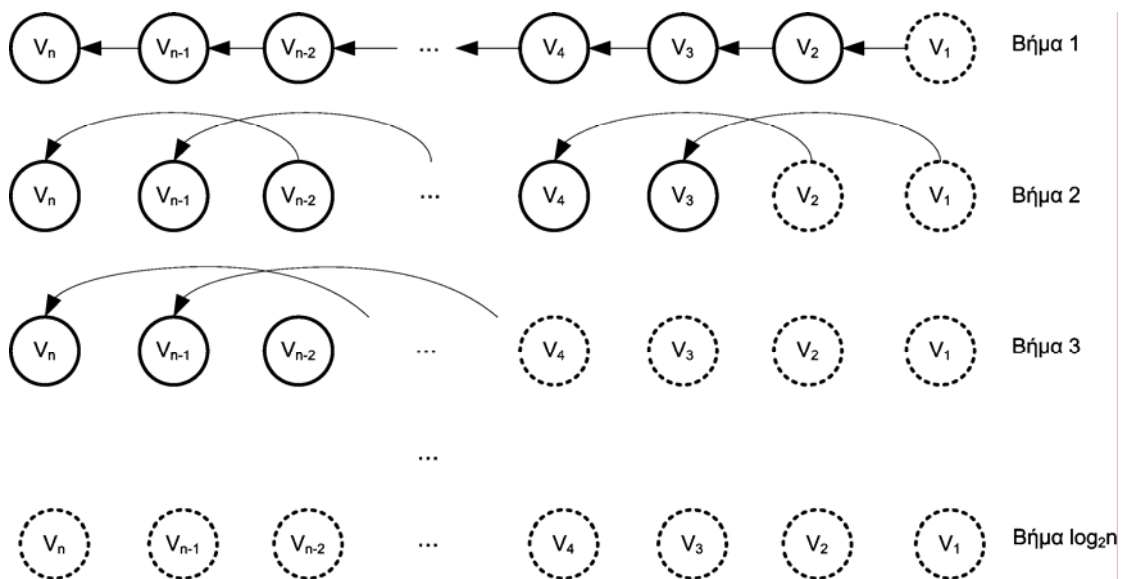
👉 Το σημαντικότερο μειονέκτημα της παραλληλοποίησης με βάση την τοπολογία είναι ότι η απόδοσή της ποικίλει ανάλογα με τη μορφή του δικτύου. Για παράδειγμα, η παραλληλοποίηση ενός δέντρου ζεύξης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον παράγοντα διακλάδωσής του: Σε ένα «θαμνώδες» δέντρο λιγότερες κλίκες συνδέονται με σχέση προγόνου-απογόνου και συνεπώς περισσότερες κλίκες μπορούν να ομαδοποιηθούν σε διακριτά υπό-δέντρα, ώστε να υποστούν παράλληλη επεξεργασία.

Ο αλγόριθμος McPHISHFOOD [6] είναι ο πιο πρόσφατος αλγόριθμος για πιθανοτικό συμπερασμό (probabilistic inference) σε δίκτυα Bayes. Η βασική ιδέα του αλγορίθμου είναι

ο επαναληπτικός επαναυπολογισμός της κατανομής των πιθανοτήτων υπό συνθήκη μιας τυχαίας μεταβλητής V σε σχέση με τον τρέχοντα πρόγονό της $gp(V)$:

$$P(V | gp(V)) = \sum_{pa(V)} P(V | pa(V))P(pa(V) | gp(V))$$

Ο αλγόριθμος McPHISHFOOD είναι ο μόνος αλγόριθμος που βελτιώνει την πολυπλοκότητα στη χειρότερη περίπτωση σε σχέση με τους ακολουθιακούς αλγορίθμους για συμπερασμό. Σε πολυδέντρα με n τυχαίες μεταβλητές, η χειρότερη πολυπλοκότητα είναι $O(\log n)$ σε παράλληλες αρχιτεκτονικές με n επεξεργαστές. Σε πολλαπλά συνδεδεμένα δέντρα, η πολυπλοκότητα είναι $O(r^{3w} \log n)$ για n επεξεργαστές, όπου r είναι το μέγιστο εύρος καταστάσεων κάθε μεταβλητής και w το μέγιστο μέγεθος κλίκας κατά τον τριγωνισμό του δικτύου. Όμως, η πολυπλοκότητα αυτή επιτυγχάνεται υποθέτοντας έναν επεξεργαστή για κάθε τυχαία μεταβλητή του δικτύου (βλ. Σχήμα 6-2: Διάδοση των πιθανοτήτων στο αλγόριθμο McFISHFOOD με n επεξεργαστές).



Σχήμα 6-2: Διάδοση των πιθανοτήτων στο αλγόριθμο McFISHFOOD με n επεξεργαστές

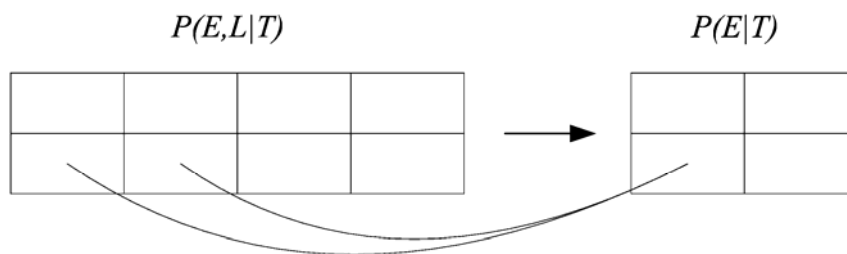
6.1.2. Παραλληλοποίηση των υπολογισμών στο εσωτερικό των κλικών

Η κατανομή πιθανοτήτων των κόμβων στο εσωτερικό μιας κλίκας ονομάζεται δυναμικό (potential) της κλίκας. Οι υπολογισμοί που λαμβάνουν χώρα κατά τον πιθανοτικό συμπερασμό αφορούν την άθροιση, τον πολλαπλασιασμό και τη διαίρεση των δυναμικών της κλίκας. Συνεπώς, ο υπολογισμός των δυναμικών μπορεί να παραλληλοποιηθεί διαιρώντας τον σε μικρότερες υπό-εργασίες, οι οποίες κατανέμονται στους διαθέσιμους


επεξεργαστές. Στο Σχήμα 6-3: Παράλληλοι υπολογισμοί στο εσωτερικό της κλίκας απεικονίζεται η παραλληλοποίηση του υπολογισμού της περιθώριας κατανομής $P(E|T)$ κατά την απαλοιφή της μεταβλητής L από το δυναμικό $P(E,L|T)$:

$$P(E|T) = \sum_L P(E,L|T)$$

Αν θεωρήσουμε δυαδικές μεταβλητές, ο πίνακας $P(E,L|T)$ έχει διαστάσεις 2×4 και ο $P(E|T)$ 2×2 . Κάθε τιμή του πίνακα $P(E|T)$ προκύπτει με πρόσθεση δύο τιμών του πίνακα $P(E,L|T)$. Συνεπώς, οι τέσσερις προσθέσεις μπορούν να γίνουν παράλληλα, ενώ ο πολλαπλασιασμός και η διαίρεση μπορούν να παραλληλοποιηθούν με ανάλογο τρόπο.



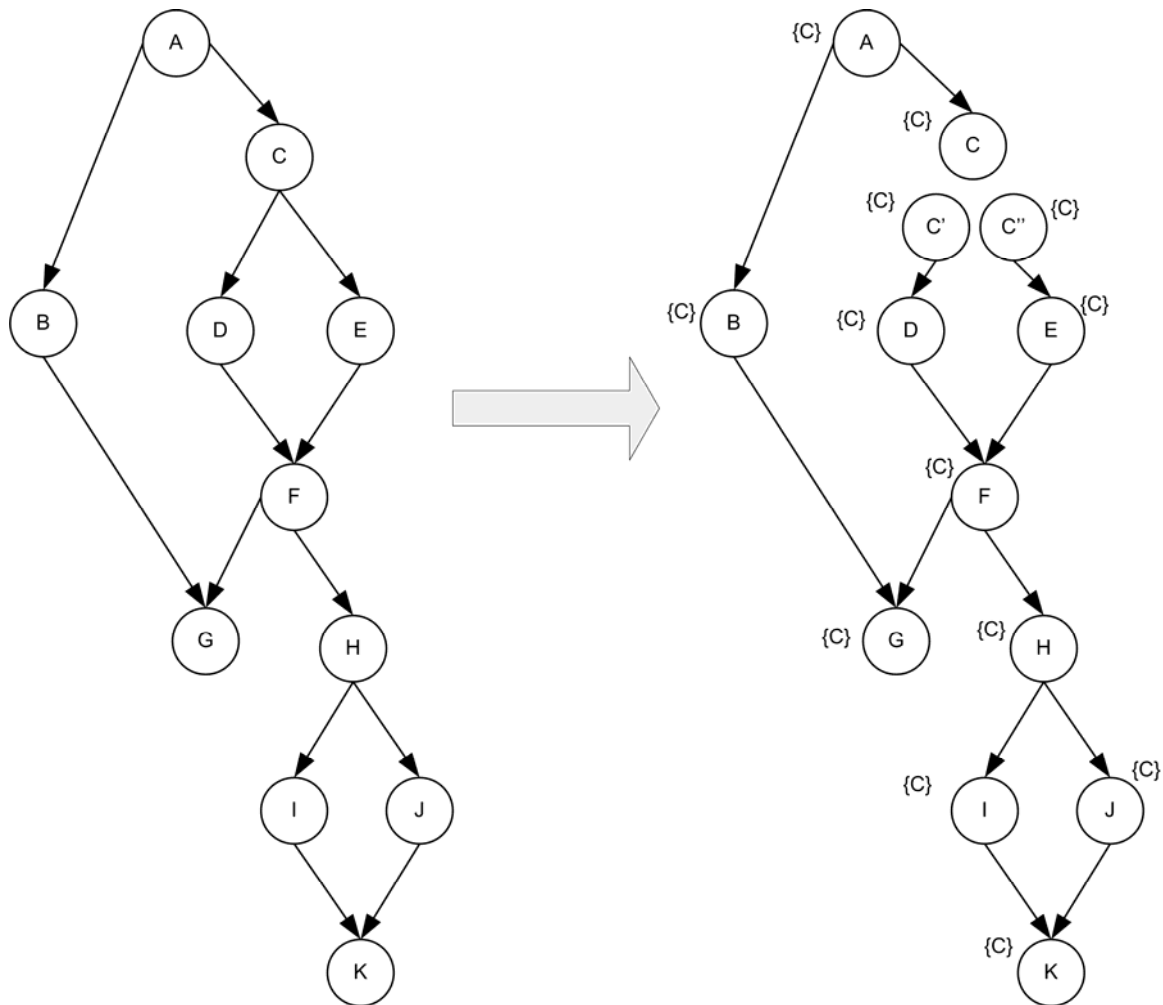
Σχήμα 6-3: Παράλληλοι υπολογισμοί στο εσωτερικό της κλίκας

 Το πλεονέκτημα της προσέγγισης αυτής είναι ότι η παραλληλοποίηση δεν εξαρτάται από την τοπολογία του δικτύου. Οι Kozlov και Singh αναφέρουν ότι η παραλληλοποίηση των υπολογισμών μέσα στις κλίκες είναι πιο αποδοτική στις περιπτώσεις που οι κλίκες είναι μεγάλες [7], δηλαδή σε δίκτυα με υψηλές υπολογιστικές απαιτήσεις, ενώ αποτελεί και τη μόνη αποδοτική προσέγγιση στην περίπτωση που τα δέντρα δεν έχουν υψηλό παράγοντα διακλάδωσης.

6.1.3. Παραλληλοποίηση με βάση τη δέσμευση ενός συνόλου μεταβλητών (conditioning)


Η δέσμευση ενός συνόλου μεταβλητών χρησιμοποιείται για την εφαρμογή του αλγορίθμου Polytrees σε πολλαπλά συνδεδεμένα δίκτυα. Η πρωτότυπη μέθοδος της δέσμευσης επιλέγει ένα σύνολο μεταβλητών (σύνολο δέσμευσης), διασπά τα πολλαπλά μονοπάτια στο δέντρο

και στη συνέχεια εξετάζει κάθε πιθανή διάταξη του συνόλου δέσμευσης ξεχωριστά (Σχήμα



Σχήμα 6-4: Δέσμευση ενός συνόλου μεταβλητών $\{C\}$

6-4). Αφού αρχικοποιηθούν οι μεταβλητές του συνόλου δέσμευσης, το δίκτυο μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μοναδικά συνδεδεμένο για το σκοπό του πιθανοτικού συμπερασμού. Η παραλληλοποίηση βασίζεται στην ταυτόχρονη επεξεργασία κάθε διακριτής διάταξης του συνόλου δέσμευσης.

 Η απόδοση των μεθόδων της κατηγορίας αυτής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τοπολογία του δικτύου, με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτό να χρησιμοποιηθούν στην πράξη

6.1.4. Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της έρευνας για την παραλληλοποίηση του πιθανοτικού συμπερασμού σε δίκτυα Bayes συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι η μεγαλύτερη βελτίωση της απόδοσης μπορεί να επιτευχθεί από την παραλληλοποίηση στο χαμηλότερο επίπεδο των πράξεων που πραγματοποιούνται μέσα στις κλίκες. Αυτό ισχύει ειδικότερα για σύνθετα δίκτυα με υψηλές υπολογιστικές απαιτήσεις, τα οποία τείνουν να έχουν και τις μεγαλύτερες κλίκες. Η επιτάχυνση που μπορεί να επιτευχθεί είναι σχεδόν γραμμική σε μηχανές πολυεπεξεργασίας με διαμοιραζόμενο χώρο διευθύνσεων, είτε διαθέτουν κεντρική κύρια μνήμη, είτε κατανεμημένη κύρια μνήμη [2]. Όμως, η τοπικότητα των δεδομένων παίζει καθοριστικό ρόλο στην απόδοση της παραλληλοποίησης του πιθανοτικού συμπερασμού. Συνεπώς, η επιτάχυνση που αναμένεται σε περιβάλλον συστοιχίας Beowulf μπορεί να χαρακτηριστεί εκ των προτέρων ανεπαρκής.

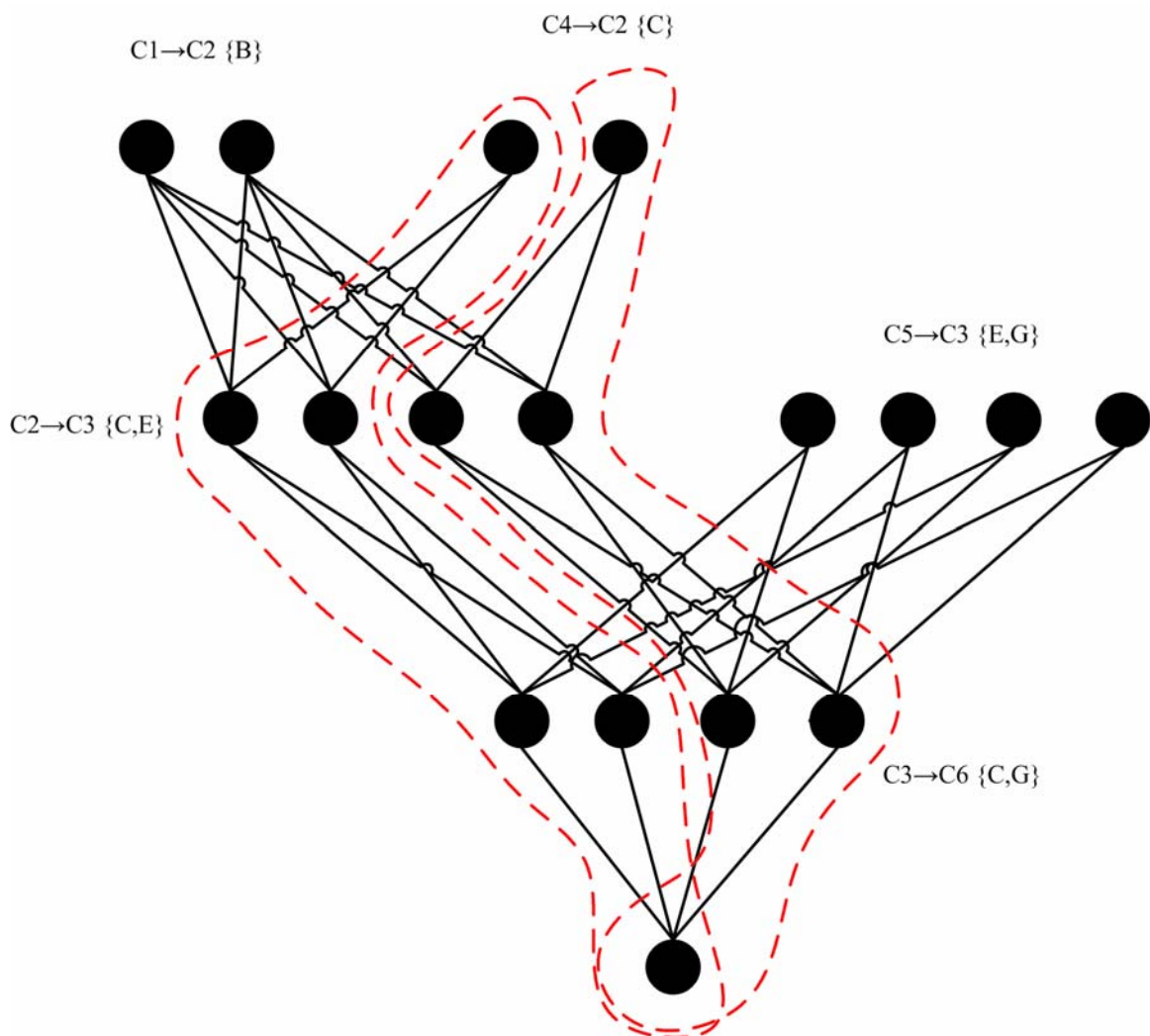
6.2. Αξιολόγηση των δυνατοτήτων παραλληλοποίησης του πιθανοτικού συμπερασμού για το δίκτυο του προτύπου ΣΥΑ

Η απαίτηση για αποδοτική λειτουργία σε συστοιχίες Beowulf, εκτός από αρχιτεκτονικές πολυεπεξεργαστών, προϋποθέτει την ελαχιστοποίηση της επικοινωνίας ανάμεσα στις διεργασίες που αναλαμβάνουν τον παράλληλο πιθανοτικό συμπερασμό. Ενώ η παραλληλοποίηση στο επίπεδο των αριθμητικών πράξεων που πραγματοποιούνται μέσα στις κλίκες αναφέρεται ως πιο αποδοτική από αυτή που εκμεταλλεύεται την τοπολογία του δικτύου, η επικοινωνία ανάμεσα στις διεργασίες που απαιτείται για την πραγματοποίησή της είναι σημαντικά μεγαλύτερη.

Στο Σχήμα 6-5: *Εξαρτήσεις ανάμεσα στα δεδομένα απεικονίζονται οι εξαρτήσεις ανάμεσα στα δεδομένα κατά τον υπολογισμό των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται ανάμεσα στις κλίκες του δέντρου ζεύξης για το απλό δίκτυο της «Ασίας» [8]. Το δίκτυο αυτό υπολογίζει την πιθανότητα να έχει ο ασθενής φυματίωση, καρκίνο του πνεύμονα ή βρογχίτιδα με βάση διάφορους παράγοντες, όπως αν ο ασθενής επισκέφτηκε την Ασία πρόσφατα. Οι κύκλοι στο γράφο εξαρτήσεων αντιπροσωπεύουν τον υπολογισμό μιας τιμής του μηνύματος που ανταλλάσσεται, είτε αυτός πραγματοποιείται αθροίζοντας στο «περιθώριο» τα δυναμικά μιας κλίκας-πηγής του μηνύματος, είτε πολλαπλασιάζοντας τα δυναμικά της κλίκας-προορισμού με τις τιμές του μηνύματος. Έτσι, μια ομάδα κύκλων στο Σχήμα 6-5:*

Εξαρτήσεις ανάμεσα στα δεδομένα αντιπροσωπεύει το μήνυμα που ανταλλάσσεται ανάμεσα σε δύο κλίκες, ενώ οι ακμές ανάμεσα στους κύκλους υποδεικνύουν την ανάγκη ανταλλαγής δεδομένων.

Οι διακεκομμένες γραμμές στο Σχήμα 6-5 δείχνουν ότι η επικοινωνία ανάμεσα σε διαφορετικές διεργασίες μπορεί να αποφευχθεί για το μονοπάτι $C4 \rightarrow C2 \rightarrow C3 \rightarrow C6$ με χρήση δύο επεξεργαστών, αναθέτοντας το πρώτο μισό του μηνύματος στον ένα επεξεργαστή και το δεύτερο μισό στον άλλο. Όμως η επικοινωνία ανάμεσα στις διεργασίες είναι αναπόφευκτη για περισσότερους επεξεργαστές ή για άλλα μηνύματα (π.χ. για το μονοπάτι $C5 \rightarrow C3 \rightarrow C6$). Από την ανάλυση του γράφου προκύπτει ότι η εγγενής ανάγκη για επικοινωνία ανάμεσα στις διεργασίες είναι υψηλή κατά την παραλληλοποίηση των πράξεων

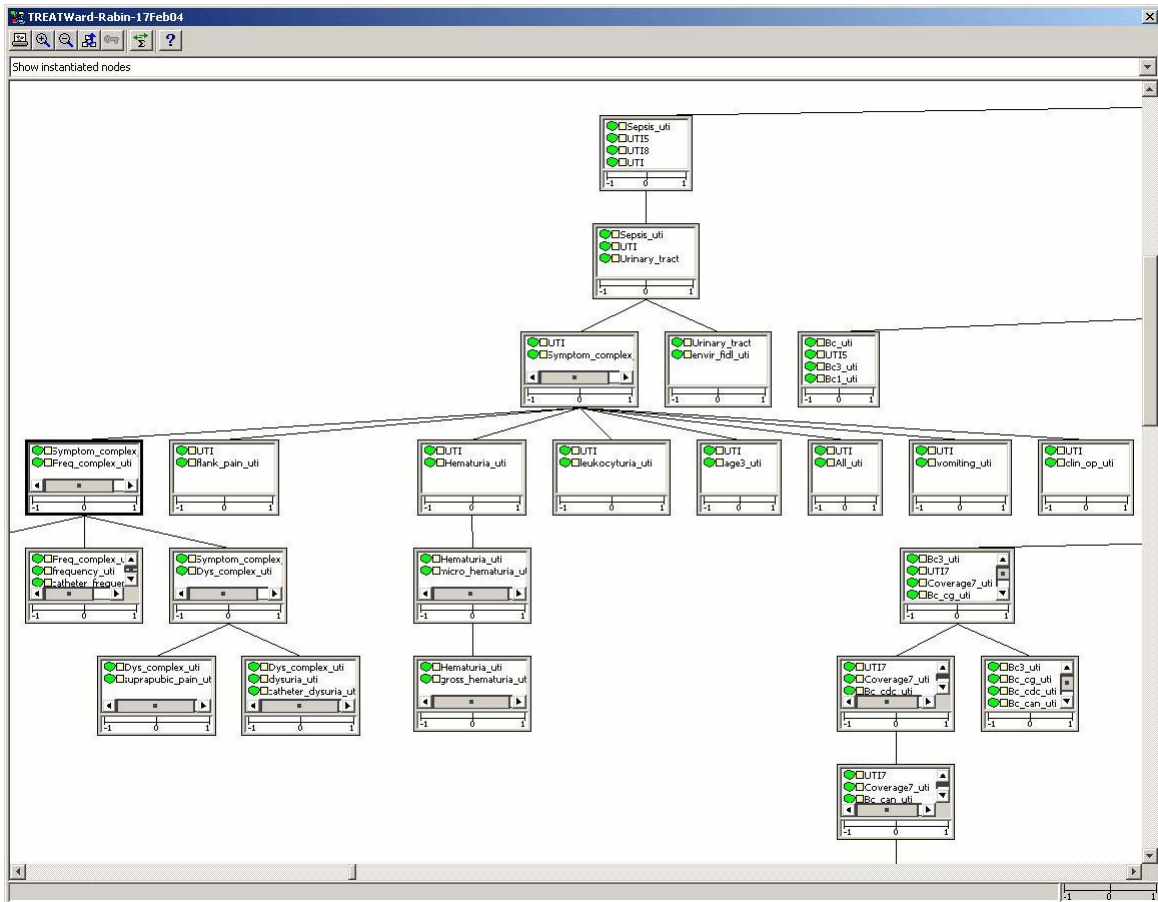


Σχήμα 6-5: Εξαρτήσεις ανάμεσα στα δεδομένα

μέσα στις κλίκες, λόγω της υψηλής πυκνότητας των αλληλοσυνδέσεων στον γράφο εξαρτήσεων.

6.2.1. Ανάλυση του δέντρου ζεύξης του πρότυπου συστήματος

Για την αξιολόγηση των δυνατοτήτων παραλληλοποίησης του πρότυπου δικτύου Bayes, χρησιμοποιούμε το λογισμικό Hugin Researcher GUI 6.5 για τη δημιουργία και ανάλυση του παραγόμενου δέντρου ζεύξης σε γραφικό περιβάλλον. Η παραγωγή του δέντρου ζεύξης από το λογισμικό Hugin Researcher απαιτήσε την εγκατάσταση επιπλέον μνήμης (συνολικά 1Gigabyte) σε έναν Π/Υ Pentium IV/2GHz και τη ρύθμιση της εικονικής μηχανής Java ώστε το αρχικό και το μέγιστο μέγεθος του σωρού (heap) να είναι σταθερό και ίσο με 900 Mbyte. Η ρύθμιση αυτή επιτρέπει στο λογισμικό Hugin Researcher να παράγει το δέντρο ζεύξης σε γραφική μορφή, καθώς η απαιτούμενη μνήμη για τα αντικείμενα Java του προγράμματος είναι διαθέσιμη και η συλλογή σκουπιδιών (garbage collection) γίνεται πιο αποδοτικά κατά τη διάρκεια εκτέλεσης. Η μέθοδος τριγωνισμού που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του δέντρου είναι η H_TM_FILL_IN_WEIGHT (βλ. Παράγραφο 2.5. Τριγωνισμός στον αλγόριθμο HUGIN), η οποία οδηγεί σε ταχύτερη διάδοση των



Σχήμα 6-6: Τμήμα του δέντρου ζεύξης του πρότυπου δικτύου Bayes

ευρημάτων στο πρότυπο δίκτυο Bayes (βλ. Παράγραφο 4.2. Βελτιστοποίηση του μηχανισμού εξαγωγής συμπερασμάτων). Στο Σχήμα 6-6: *Τμήμα του δέντρου ζεύξης του πρότυπου δικτύου Bayes* απεικονίζεται η οθόνη παρουσίασης του δέντρου ζεύξης με χρήση του λογισμικού Hugin Reseacher.

Η αλληλεπίδραση με τη γραφική αναπαράσταση του δέντρου ζεύξης οδήγησε στα εξής συμπεράσματα:

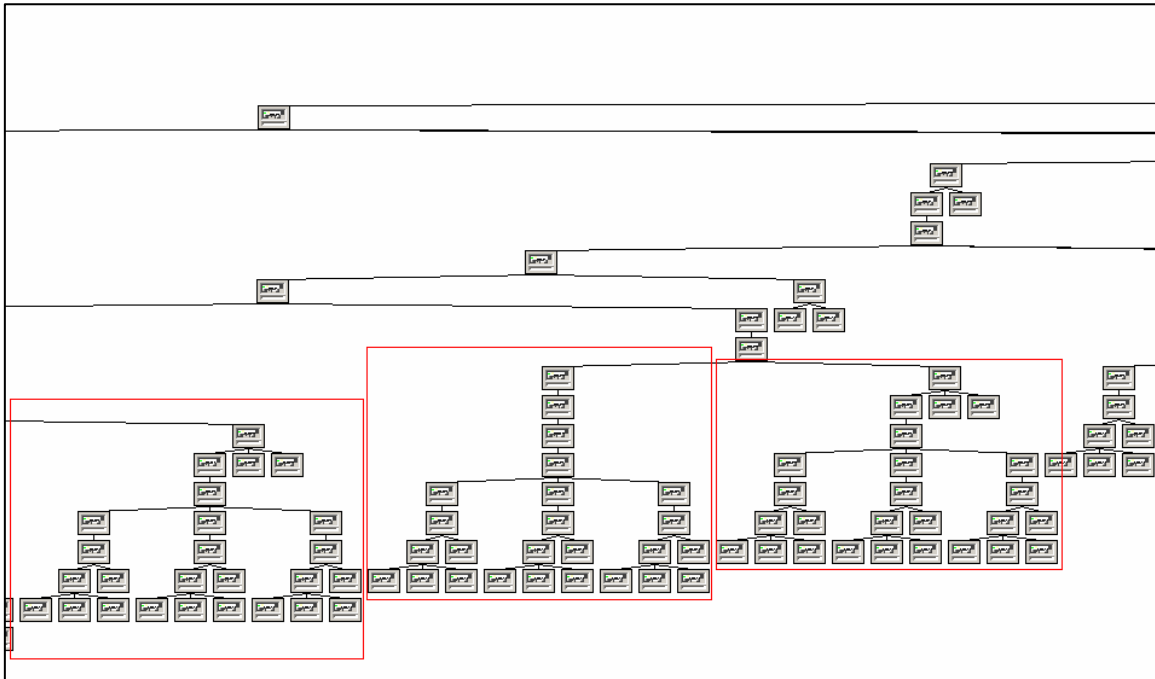
- Οι κλίκες του παραγόμενου δέντρου περιέχουν το πολύ 5 κόμβους, ενώ η συντριπτική πλειοψηφία τους δεν περιέχει περισσότερους από τρεις

Η παρατήρηση αυτή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η δυνατότητα παραλληλοποίησης στο επίπεδο των πράξεων μέσα στις κλίκες είναι χαμηλή, καθώς η απόδοση της προσέγγισης αυτής είναι καλή για μεγάλες κλίκες (πολυπληθείς ομάδες κύκλων στο γράφο εξαρτήσεων του Σχήμα 6-5).

- Το δέντρο είναι σε μεγάλο βαθμό «θαμνώδες», δηλαδή το μέγιστο βάθος του δέντρου είναι πολύ μικρό σε σχέση με τον συνολικό αριθμό των μονοπατιών

Η τοπολογία του δικτύου ζεύξης υπαγορεύει ότι η πιο αποδοτική προσέγγιση είναι η παράλληλη επεξεργασία ανεξάρτητων κλαδιών του δέντρου, οι κλίκες των οποίων δε συνδέονται με σχέσεις προγόνου-απογόνου.

Στο Σχήμα 6-7 απεικονίζεται τμήμα του δέντρου ζεύξης, στο οποίο έχουν ομαδοποιηθεί 3 ανεξάρτητα κλαδιά. Η διάδοση των ευρημάτων στα κλαδιά αυτά μπορεί να πραγματοποιηθεί παράλληλα, π.χ. χρησιμοποιώντας 3 επεξεργαστές.



Σχήμα 6-7: Παράλληλη επεξεργασία κλαδιών του δέντρου ζεύξης

6.3. Συμπεράσματα

Από την εξέταση της τοπολογίας του δικτύου του πρότυπου ΣΥΑ συμπεραίνουμε ότι το μικρό μέγεθος των κλικών δεν συνηγορεί στην εκμετάλλευση του παραλληλισμού των αριθμητικών πράξεων ανάμεσα στα δυναμικά τους, ενώ η «θαμνώδης» δομή του υποδεικνύει αυξημένες δυνατότητες παράλληλης επεξεργασίας ανεξάρτητων κλαδιών του δέντρου ζεύξης. Η αποδοτικότητα όμως των τεχνικών παραλληλοποίησης με βάση την τοπολογία προϋποθέτει, στη γενικότερη περίπτωση, την αντιστοίχιση ενός επεξεργαστή σε κάθε κλίκα ή ενός επεξεργαστή σε κάθε τυχαία μεταβλητή του αρχικού δικτύου, όπως στην περίπτωση του αλγόριθμου McPHISHFOOD, που αποδεδειγμένα βελτιώνει την πολυπλοκότητα στη χειρότερη περίπτωση. Η απαίτηση αυτή καθιστά ανέφικτη την παραλληλοποίηση για τα μεγάλα κλινικά δίκτυα που εξετάζουμε (με χιλιάδες κόμβους και παραγόμενες κλίκες), ενώ η απόδοση της παραλληλοποίησης με βάση την τοπολογία έχει

αναφερθεί υποδεέστερη σε σχέση με αυτή της παραλληλοποίησης των πράξεων μέσα στις κλίκες. Ένας πρόσθετος παράγοντας που δεν επιτρέπει την παραλληλοποίηση σε «χαμηλό» επίπεδο είναι η εξάρτηση από την τοπικότητα των δεδομένων και η αυξημένη ανάγκη για επικοινωνία ανάμεσα στις παράλληλες διεργασίες, η οποία την καθιστά ακατάλληλη για πιο «χαλαρά» συνδεδεμένες αρχιτεκτονικές, όπως μια συστοιχία Beowulf, ενώ μπορεί να είναι αποδοτική σε συστήματα πολυεπεξεργαστών με διαμοιραζόμενη μνήμη.

Συνεπώς, η χαμηλή απόδοση που αναμένουμε από την παραλληλοποίηση στο επίπεδο του πιθανοτικού συμπερασμού, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η μηχανή συμπερασματολογίας του λογισμικού HUGIN κάνει βέλτιστη χρήση των πόρων του επεξεργαστή (βλ. 4.1.3. Ερμηνεία και Συμπεράσματα), μας οδηγεί στη διερεύνηση της παραλληλοποίησης σε «υψηλότερο» επίπεδο: αυτό των αλγορίθμων που χρησιμοποιούν τις εξαγόμενες λειτουργίες της διεπαφής HUGIN για την αλληλεπίδραση με το δίκτυο Bayes που αφορά τη θεραπεία των βακτηριακών λοιμώξεων.

6.4. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1]. P. Dagum and M. Luby, "Approximating probabilistic inference in Bayesian belief networks is NP-hard," *Artificial Intelligence*, 60(1) (1993), pp.141-153
- [2]. Anders L. Madsen and Finn V. Jensen. Parallelization of inference in Bayesian Networks. Technical Report R-99-5002, Department of Computer Science, Aalborg University, Denmark, April 1999
- [3]. F. J. Díez and J. Mira. Distributed inference in Bayesian networks. *Cybernetics and Systems*, 25:39-61, 1994
- [4]. Z. Li and B. D'Ambrosio. Efficient inference in Bayes networks as a combinatorial optimization problem. *International Journal of Approximate Reasoning*, 11:55-81, 1994
- [5]. S. Lauritzen, D. Spiegelhalter, Local computations with probabilities on graphical structures and their applications to expert systems, *J. Royal Stat. Soc. B* 50 (1988) 157-224
- [6]. D.M. Pennock, Logarithmic Time Parallel Bayesian Inference, *Proceedings of the Fourteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, 1998, pp. 431-438.
- [7]. A. Kozlov and J. Singh, "A Parallel Lauritzen-Spiegelhalter Algorithm for Probabilistic Inference," in *Proc. Supercomputing '94*, IEEE CS Press, Los Alamitos, Calif., 1994, pp. 320-329.
- [8]. A. Kozlov and J. P. Singh. Parallel probabilistic inference on cache-coherent multiprocessors. *Special Issue of IEEE Computers on Applications for Shared-Memory Multiprocessors*, 1996

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΚΛΙΝΙΚΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ

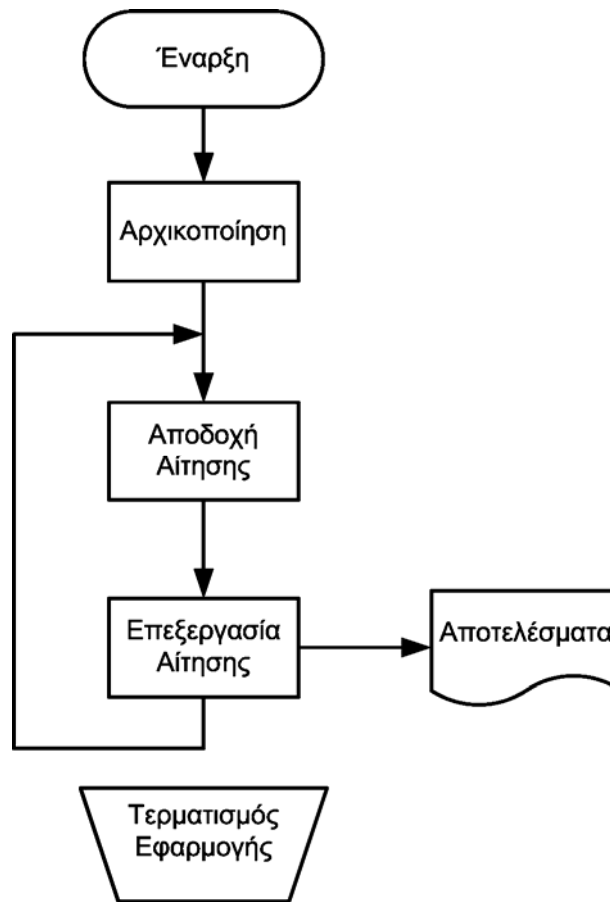
7.1. Προτεινόμενη μεθοδολογία για την παραλληλοποίηση συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων

Η πρώτη φάση ανάπτυξης ενός παράλληλου αλγορίθμου, όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα «5.2. Μεθοδολογία σχεδιασμού παράλληλων αλγορίθμων» αφορά την τμηματοποίηση του προβλήματος, δηλαδή τη διαίρεσή του σε υπό-εργασίες. Στο σημείο αυτό παρατηρούμε ότι η λειτουργικότητα ενός μεγάλου εύρους κλινικών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων παρουσιάζει κοινή συμπεριφορά: Αξιολογεί την απόδοση μιας πληθώρας εναλλακτικών ιατρικών παρεμβάσεων με βάση ιατρικά και οικονομικά κριτήρια, καθώς και το συνδυασμό τους, με στόχο να προτείνει την καλύτερη δυνατή λύση κατά τη λήψη μιας απόφασης. Στην περίπτωση του προτύπου συστήματος, η αξιολόγηση αυτή αφορά δεκάδες συνδυασμούς αντιβιοτικών θεραπειών για την αντιμετώπιση των βακτηριακών λοιμώξεων με βάση κριτήρια, όπως το προσδόκιμο ζωής και το συνολικό κόστος χορήγησης μιας θεραπείας. Αντίστοιχα, σε ένα υπολογιστικό σύστημα με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ασθενών με HIV, μπορεί να αφορά την αξιολόγηση των παρενεργειών και της αλληλεπίδρασης των φαρμάκων μιας πληθώρας αντιρετροϊκών αγωγών (HAART) για την επιλογή της βέλτιστης αγωγής HAART για ένα συγκεκριμένο

ασθενή. Συνεπώς, η τμηματοποίηση του προβλήματος μπορεί να βασιστεί στην ανεξάρτητη αξιολόγηση κάθε ιατρικής παρέμβασης με βάση το μοντέλο αναπαράστασης της κλινικής γνώσης.

Στην περίπτωση των συστημάτων που βασίζονται σε δίκτυο Bayes, για κάθε εναλλακτική ιατρική παρέμβαση υπό εξέταση, αρχικοποιείται ένα σύνολο κόμβων που αντιπροσωπεύει τη συγκεκριμένη ενέργεια. Στη συνέχεια, τα ευρήματα που εισήχθησαν στους κόμβους αυτούς πρέπει να διαδοθούν σε ολόκληρο το δίκτυο, ώστε να υπολογιστεί η εκ των υστέρων περιθώρια κατανομή πιθανοτήτων των τυχαίων μεταβλητών που μας ενδιαφέρουν. Η μεθοδολογία που προτείνεται συνίσταται στη διαίρεση του συνόλου των ιατρικών παρεμβάσεων προς αξιολόγηση σε τόσα υποσύνολα, όσα και ο αριθμός των διαθέσιμων επεξεργαστών και ο χειρισμός κάθε υποσυνόλου παρεμβάσεων από διαφορετικό επεξεργαστή. Σχετικά με την επικοινωνία που απαιτείται ανάμεσα στις διεργασίες, παρατηρούμε ότι η αρχικοποίηση των κατάλληλων κόμβων του δικτύου Bayes και η διάδοση των ευρημάτων για μια παρέμβαση A μπορεί να πραγματοποιηθεί τελείως ανεξάρτητα από την αρχικοποίηση και τη διάδοση των ευρημάτων για μια εναλλακτική παρέμβαση B, εφόσον οι διαθέσιμοι επεξεργαστές έχουν πρόσβαση στην αναπαράσταση του δικτύου Bayes στη μνήμη. Συνεπώς, το τμήμα του αλγορίθμου υποστήριξης αποφάσεων που αναλαμβάνει την αξιολόγηση των εναλλακτικών ενεργειών είναι πλήρως παραλληλοποιήσιμο και απαιτεί αμελητέα επικοινωνία ανάμεσα στις διεργασίες.

Για την αποδοτική λειτουργία του παράλληλου συστήματος θα πρέπει το κόστος αρχικοποίησης της εφαρμογής να μην επαναλαμβάνεται κάθε φορά που απαιτείται η αξιολόγηση των παρεμβάσεων με βάση νέα δεδομένα, αλλά να εκτελούνται μόνο τα απαραίτητα βήματα για τη λήψη μιας απόφασης. Συνεπώς, η εφαρμογή θα πρέπει να βρίσκεται διαρκώς σε «κατάσταση αναμονής» για την αποδοχή αιτήσεων υποστήριξης αποφάσεων, να διεκπεραιώνει κάθε αίτηση αξιοποιώντας το παράλληλο υλικό και να επιστρέφει άμεσα στην «κατάσταση αναμονής» για αποδοχή νέων αιτήσεων. Στο Σχήμα 7-1: *Διάγραμμα ροής συστήματος υψηλής επίδοσης* απεικονίζεται το βασικό διάγραμμα ροής για ένα αποδοτικό σύστημα υποστήριξης αποφάσεων. Για να αξιολογηθούν οι δυνατότητες επιτάχυνσης της προτεινόμενης μεθοδολογίας στην πράξη, στην επόμενη ενότητα αναλύουμε τον αλγόριθμο του προτύπου συστήματος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων.



Σχήμα 7-1: Διάγραμμα ροής συστήματος υψηλής επίδοσης

7.2. Ανάλυση του αλγορίθμου του πρότυπου συστήματος

Στην παρούσα ενότητα αναλύουμε τον αλγόριθμο του πρότυπου συστήματος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων προκειμένου να αναγνωρίσουμε τις δυνατότητες παραλληλοποίησής του. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τη λειτουργικότητα της διεπαφής HUGIN για την αλληλεπίδραση με το δίκτυο Bayes. Τα βήματα του αλγορίθμου καταγράφονται στο Σχήμα 7-2: *Αλγόριθμος του προτύπου συστήματος*:

Αλγόριθμος παροχής συμβουλών:

1. Ανάκτηση των στοιχείων του επεισοδίου από τη βάση δεδομένων Treat
2. Αρχικοποίηση του CPN
3. Εισαγωγή ευρημάτων για τη θέση της λοίμωξης
4. Εισαγωγή ευρημάτων από καλλιέργειες
5. Διάδοση των ευρημάτων για την εξαγωγή της διάγνωσης
6. Ανάκτηση διάγνωσης: θέση, παθογόνο και πιθανότητες διάγνωσης
7. ΓΙΑ ΚΑΘΕ διαθέσιμη θεραπεία (εφόσον ο ασθενής δεν είναι αλλεργικός σε αυτή):
 1. Αρχικοποίηση των κόμβων της συγκεκριμένης θεραπείας
 2. Διάδοση των ευρημάτων
 3. Ανάκτηση της κάλυψης ανά θέση και αποθήκευση στη βάση δεδομένων
 4. Υπολογισμός της θνησιμότητας και αποθήκευση στη βάση δεδομένων
 5. Υπολογισμός της σχέσης κόστους-οφέλους με βάση τη θνησιμότητα και το συνολικό κόστος χορήγησης της θεραπείας
 6. Αποθήκευση της σχέσης κόστους-οφέλους στη βάση δεδομένων
- ΕΠΟΜΕΝΗ θεραπεία
8. Εκκαθάριση στοιχείων επεισοδίου

Σχήμα 7-2: Αλγόριθμος του προτύπου συστήματος

Τα παραπάνω βήματα επαναλαμβάνονται κάθε φορά που διαθέτουμε νέες πληροφορίες και απαιτείται η λήψη αποφάσεων για ένα συγκεκριμένο επεισόδιο (έναρξη ή τροποποίηση της θεραπευτικής αγωγής). Τα Βήματα 1 έως 6 και το Βήμα 8 πρέπει να εκτελεστούν σειριακά, ενώ το Βήμα 7 μπορεί να παραλληλοποιηθεί, καθώς αποτελεί το βρόχο που υπολογίζει τη σχέση κόστους-οφέλους για όλες τις διαθέσιμες θεραπείες. Σε κάθε επεξεργαστή που έχει

πρόσβαση στην αναπαράσταση του δικτύου Bayes στη μνήμη, η διάδοση των ευρημάτων για μια θεραπεία μπορεί να γίνει ανεξάρτητα από τη διάδοση των ευρημάτων για όλες τις άλλες θεραπείες. Καθώς δεν απαιτείται επικοινωνία ανάμεσα στους επεξεργαστές που υπολογίζουν την κάλυψη, τη θνησιμότητα και τη σχέση κόστους-οφέλους για κάθε μια από τις διαθέσιμες θεραπείες, το Βήμα 7 μπορεί να θεωρηθεί εγγενώς παράλληλο.

Για να υπολογίσουμε το ποσοστό ξ του αλγορίθμου που δεν μπορεί να παραλληλοποιηθεί, εφαρμόζουμε μια επεμβατική τεχνική: Εισάγουμε κώδικα μέτρησης του χρόνου εκτέλεσης κάθε Βήματος στον αλγόριθμο παροχής συμβουλών σε milliseconds και ενεργοποιούμε το σύστημα κατά το 1^ο σημείο λήψης αποφάσεων (βλ. Ενότητα 3.1.1. Κόμβοι Λήψης Αποφάσεων). Η μαρτυρία που παρέχουμε ενεργοποιεί το δίκτυο Bayes για ένα επεισόδιο σήψης με τα παρακάτω συμπτώματα και χαρακτηριστικά:

- Ταχυπαλμία (>90 παλμοί/λεπτό)
- Υψηλός πυρετός (>38°C)
- Υψηλός αριθμός λευκών αιμοσφαιρίων (> 12 x 10⁹ κύτταρα/L)
- Παρουσία καθετήρα

Θεωρούμε ότι τα δείγματα για καλλιέργεια αίματος ή άλλες καλλιέργειες έχουν σταλεί στο μικροβιολογικό εργαστήριο, όμως τα αποτελέσματα δεν είναι ακόμα έτοιμα, οπότε παρακάμπτουμε το Βήμα 4. Η εισαγωγή μαρτυρίας σχετικά με θετικές καλλιέργειες (3^ο σημείο λήψης αποφάσεων) δεν μεταβάλλει σημαντικά το συνολικό σειριακό χρόνο.

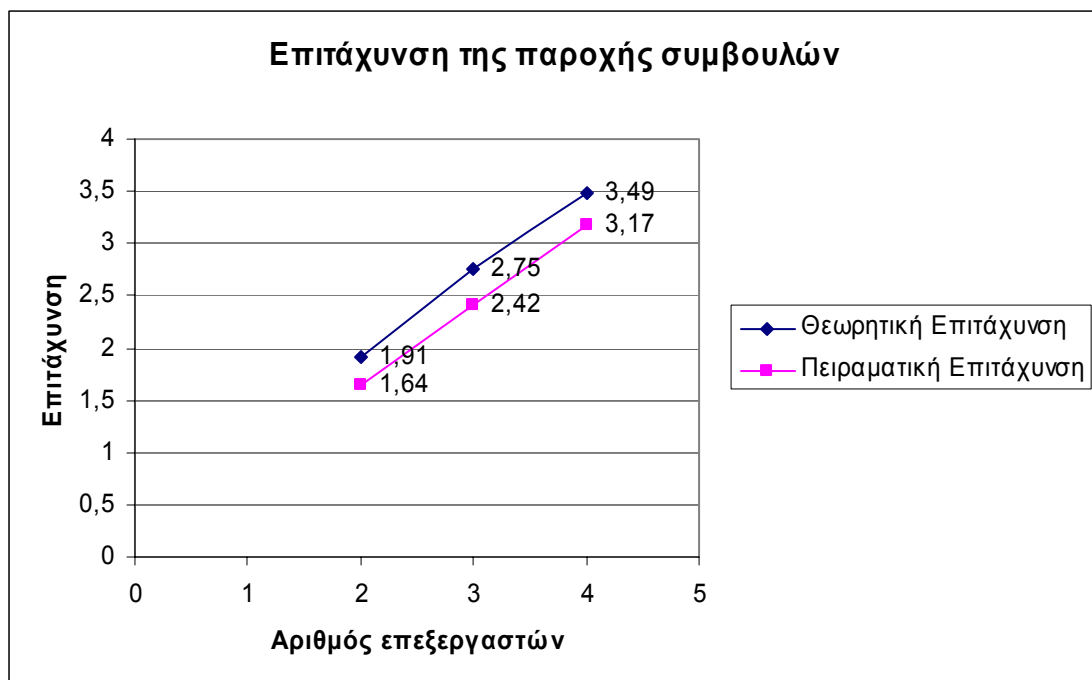
Οι δοκιμές πραγματοποιούνται σε έναν Π/Υ Pentium 4 στα 2.00 GHz με 768MB RAM και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 7-1: Χρόνος εκτέλεσης (ms) για τα βήματα του αλγορίθμου του προτύπου συστήματος.

Βήμα #	Χρόνος Εκτέλεσης(ms)
1	31
2	47
3	47

4	0
5	766
6	1609
7	86436
8	0
Σύνολο	88936

Πίνακας 7-1: Χρόνος εκτέλεσης (ms) για τα βήματα του αλγορίθμου του προτύπου συστήματος

Από τα αποτελέσματα του Πίνακας 7-1: Χρόνος εκτέλεσης (ms) για τα βήματα του αλγορίθμου του προτύπου συστήματος προκύπτει ότι για την αξιολόγηση 45 θεραπειών το ποσοστό ξ του αλγορίθμου που δεν μπορεί να παραλληλοποιηθεί είναι $\xi = 2,9\%$, ενώ το ποσοστό ξ μειώνεται αντιστρόφως ανάλογα με τον αριθμό των θεραπειών.



Σχήμα 7-3: Θεωρητική και πειραματική επιτάχυνση σε συστοιχία υπολογιστών

Χρησιμοποιώντας τον τύπο (2) της ενότητας «5.4. Μέτρηση της Απόδοσης της Παραλληλοποίησης για την αναμενόμενη επιτάχυνση ενός παράλληλου προγράμματος σε περιβάλλον συστοιχίας υπολογιστών, υπολογίζουμε τη θεωρητική επιτάχυνση από την παραλληλοποίηση του αλγορίθμου του προτύπου συστήματος. Η θεωρητική επιτάχυνση για

2 έως 4 διαθέσιμους επεξεργαστές απεικονίζεται στο Σχήμα 7-3: *Θεωρητική και πειραματική επιτάχυνση σε συστοιχία υπολογιστών.*

7.3. Διαδικασία ανάπτυξης παράλληλου συστήματος

7.3.1. Μεταφορά του πηγαίου κώδικα σε πρότυπη C++

Η επισκόπηση του πηγαίου κώδικα του Υποσυστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων κατέληξε στα εξής συμπεράσματα:

- Το Υποσυστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων έχει υλοποιηθεί σε περιβάλλον Microsoft Visual C++ και έχει γίνει εκτεταμένη χρήση του πλαισίου εφαρμογών Microsoft Foundation Classes (MFC) και συγκεκριμένα των κλάσεων CString, CTime, CTimeSpan, καθώς και κλάσεων MFC για το χειρισμό της σύνδεσης ODBC με τη βάση δεδομένων (CDatabase, CRecordset κ.α.).
- Η ανάκτηση και καταχώρηση των στοιχείων ενός κλινικού περιστατικού γίνεται από και προς το Σχεσιακό Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων Microsoft SQL Server μέσω σύνδεσης ODBC.

Για την ανάπτυξη ενός «ανοικτού» και μεταφέρεσιμου συστήματος, απαιτείται η αντικατάσταση όλης της λειτουργικότητας που παρέχουν οι κλάσεις MFC με ισοδύναμη λειτουργικότητα και η εξάλειψη της εξάρτησης από τις βιβλιοθήκες MFC. Καθώς ο αριθμός των διακριτών κλάσεων MFC που χρησιμοποιούνται είναι περιορισμένος - αντίθετα με το βαθμό χρήσης τους μέσα στον πηγαίο κώδικα – επιλέχθηκε η προσέγγιση της ανάπτυξης μιας βιβλιοθήκης σε πρότυπη C++ που να παρέχει την απαιτούμενη ισοδύναμη λειτουργικότητα. Η βιβλιοθήκη βασίστηκε σε μια υπάρχουσα υλοποίηση βασικών λειτουργιών της κλάσης CString με χρήση της πρότυπης κλάσης std::string [1].

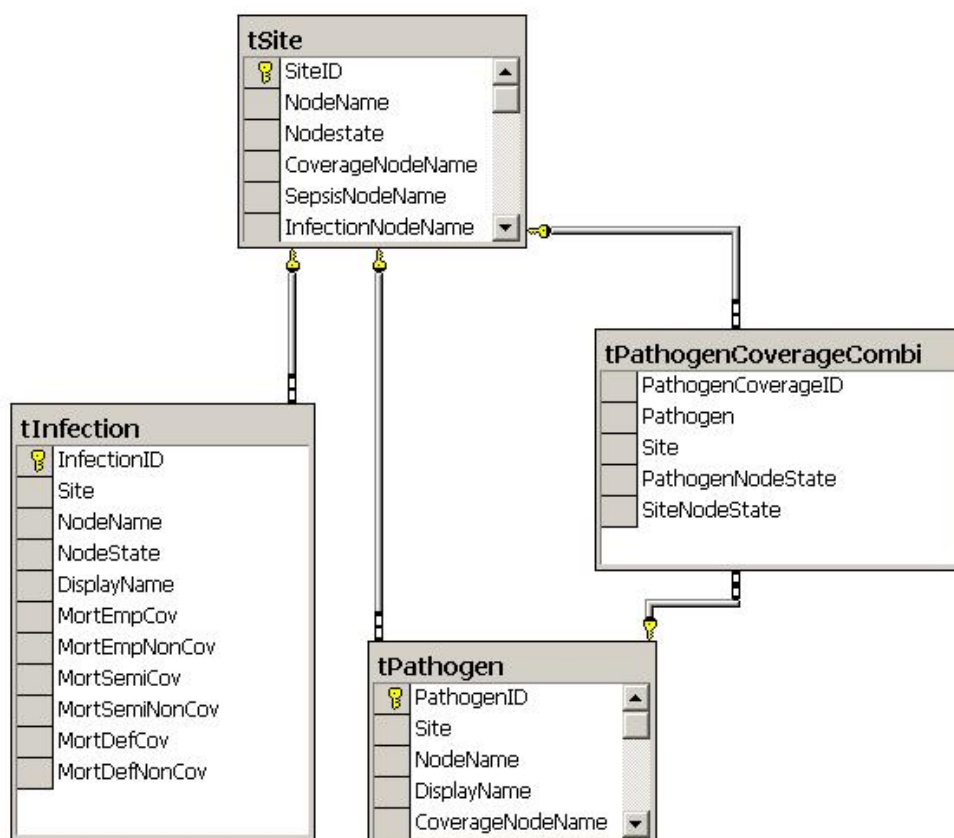
Για τη μεταγλώττιση του πηγαίου κώδικα χρησιμοποιήθηκε η οικογένεια μεταγλωττιστών GCC (GNU Compiler Collection) v. 3.4., που αποτελεί την πρώτη επιλογή για την ανάπτυξη λογισμικού που απευθύνεται σε ετερογενείς πλατφόρμες υλικού, και ειδικότερα η επέκταση για τη γλώσσα C++ (g++). Από την έκδοση 3.4, ο μεταγλωττιστής GCC

αναφέρεται ότι προσεγγίζει την πλήρη συμμόρφωση με το υπάρχον πρότυπο ISO/ANSI για τη γλώσσα C++ [2], το οποίο είναι το ISO/IEC 14882 [3]. Το πρότυπο αυτό αναπτύσσεται από την ομάδα εργασίας JTC1/SC22/WG21 και η πρώτη του έκδοση δημοσιεύθηκε το 1998, ενώ αναθεωρήθηκε το 2003.

7.3.2. Ανάπτυξη μεταφέρσιμης Βάσης Δεδομένων Προσαρμογής

Οι ευαισθησίες των μικροβίων στα διάφορα αντιβιοτικά διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή και από νοσοκομείο σε νοσοκομείο. Ακόμα και μέσα στο ίδιο νοσοκομείο, οι διάφορες μονάδες παρουσιάζουν διακριτά μοντέλα ευαισθησίας [4]. Για την επιτυχία του προτύπου συστήματος απαιτείται η προσαρμογή κάθε εγκατάστασης στις ιδιαιτερότητες του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο θα λειτουργήσει με τη χρήση δεδομένων που είναι συνήθως διαθέσιμα στα σύγχρονα νοσοκομεία. Η πληροφορία αυτή (Βάση Δεδομένων Προσαρμογής - ΒΔΠ) είναι αποθηκευμένη στο Σχεσιακό Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (RDBMS) Microsoft SQL Server και η ανάκτησή της πραγματοποιείται μέσω της ενότητας λογισμικού CalibrationDataSource, που χρησιμοποιεί μια σύνδεση ODBC.

Η ΒΔ Προσαρμογής περιλαμβάνει τη λίστα με όλες τις αντιβιοτικές θεραπείες που μπορούν να χορηγηθούν, είτε πρόκειται για μεμονωμένα αντιβιοτικά, είτε για συνδυασμούς φαρμάκων. Οι θεραπείες συνοδεύονται από το αντίστοιχο κόστος για την εμπειρική θεραπεία, που είναι η χορηγούμενη θεραπεία πριν αναγνωριστεί η ταυτότητα του παθογόνου αιτίου, την «ημι-εμπειρική» θεραπεία, που παρέχεται κατά την πρώτη ειδοποίηση σχετικά με τις καλλιέργειες (μορφολογία βακτηρίων) και τέλος το κόστος από την τελική προσαρμογή της θεραπείας - όταν είναι γνωστή η ευαισθησία του παθογόνου βακτηρίου και η αντοχή του στα διαθέσιμα αντιβιοτικά. Για την



Σχήμα 7-4: Τμήμα της αρχικής Βάσης Δεδομένων Προσαρμογής

κωδικοποίηση των διαθέσιμων θεραπειών χρησιμοποιούνται κωδικοί ATC [5]. Στο Σχήμα 7-4: *Τμήμα της αρχικής Βάσης Δεδομένων Προσαρμογής* απεικονίζεται ένα μέρος του Σχήματος της ΒΔ Προσαρμογής, με τους πίνακες για τη θέση της λοίμωξης (π.χ. Κεντρικό Νευρικό Σύστημα, Ουροφόροι Οδοί κ.λ.π.) (tSite), για τις λοιμώξεις (tInfection) με τις αντίστοιχες πιθανότητες θνησιμότητας και παθογόνα αίτια (tPathogen).

Κάθε έγγραφο της γλώσσας Extensible Markup Language (XML) [6] μπορεί να θεωρηθεί ως μια υποτυπώδης μορφή βάσης δεδομένων, εφόσον είναι μια συλλογή από δεδομένα, όπως και κάθε μορφής αρχείο άλλωστε. Η γλώσσα XML όμως διαθέτει κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, τα οποία την καθιστούν ιδιαίτερα θελκτική για αποθήκευση δεδομένων: τα έγγραφα XML είναι αυτό-περιγραφικά, αφού μέσω της "σήμανσης" (markup) περιγράφουν τη δομή και τους τύπους των δεδομένων, είναι μεταφέρσιμα σε οποιοδήποτε σύστημα ή

αρχιτεκτονική, υποστηρίζουν Unicode και μπορούν εύκολα να αναπαραστήσουν σύνθετες ιεραρχικές δομές δέντρων και γράφων. Έχουν όμως και μειονεκτήματα, όπως η πιο αργή ανάκτηση των δεδομένων λόγω της χρήσης αναλυτών εγγράφων (parsers) [7].

Η οικογένεια προτύπων XML μπορούν να συνθέσουν ένα Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (database management system - DBMS). Κάνοντας μια σύγκριση ανάμεσα στην XML και στα υπάρχοντα εμπορικά συστήματα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων, βλέπουμε ότι μοιράζονται πολλά κοινά χαρακτηριστικά, όπως η αποθήκευση δεδομένων (έγγραφα XML), το σχήμα (DTD, XML Schema), οι γλώσσες ερωτήσεων - Query languages - (XQuery, XPath, XQL κ.λ.π.) και προγραμματιστικές διεπαφές (SAX, DOM κ.λ.π.). Από την άλλη όμως, τα πρότυπα XML δεν παρέχουν χαρακτηριστικά, που είναι δομικά στα εμπορικά συστήματα βάσεων δεδομένων, όπως η αποδοτική αποθήκευση, η ασφάλεια, δοσοληψίες και ακεραιότητα των δεδομένων, ταυτόχρονη πρόσβαση πολλών χρηστών κ.λ.π.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η χρήση ενός ή περισσοτέρων εγγράφων XML ως βάση δεδομένων ενδείκνυται κατά κύριο λόγο σε περιβάλλον με σχετικά περιορισμένη ποσότητα δεδομένων, λίγους χρήστες και περιορισμένες απαιτήσεις απόδοσης, ενώ μάλλον θα αποτύχει σε περιβάλλον με πολλούς χρήστες, αυστηρές απαιτήσεις για ακεραιότητα δεδομένων και υψηλές απαιτήσεις για απόδοση.

Η ΒΔ Προσαρμογής περιέχει περιορισμένη ποσότητα δεδομένων, προσπελάζεται μόνο από το Υποσύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων και η απόδοσή της δεν επηρεάζει την ταχύτητα απόκρισης του προτύπου συστήματος, καθώς η προσπέλασή της γίνεται άπαξ κατά την αρχικοποίηση του συστήματος και δεν επαναλαμβάνεται κατά τη ροή της παροχής συμβουλών. Συνεπώς, για την ανάπτυξη ενός ανοικτού και μεταφέρσιμου Υποσυστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων, η πληροφορία της ΒΔ Προσαρμογής μπορεί να είναι διαθέσιμη ως ένα σύνολο από αρχεία XML, τα οποία μπορούμε εύκολα να ανανεώνουμε ή να προσαρμόζουμε στις εκάστοτε συνθήκες μέσω μιας εφαρμογής διαχείρισης ή ενός επεξεργαστή κειμένου. Το συστατικό CalibrationDataSource θα μπορεί να προσπελάσει την πληροφορία αυτή μέσω κατάλληλων προγραμματιστικών διεπαφών για το χειρισμό XML.

Η δημιουργία των αρχείων XML για την προσαρμογή στις τοπικές συνθήκες απαιτεί την εξαγωγή της πληροφορίας από τους πίνακες του συστήματος SQL Server και τη διάρθρωσή

της σε ιεραρχικές δομές της γλώσσας XML. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν ένα σύνολο από διαδικασίες (stored procedures) στη βάση δεδομένων, που εξάγουν δεδομένα από τους πίνακες και τα δομούν σε αρχεία XML.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε συνοψίζεται στα παρακάτω βήματα:

- 1) Ανάπτυξη γενικής αποθηκευμένης διαδικασίας (stored procedure) για την εξαγωγή του περιεχομένου των πινάκων της βάσης σε δομή XML. Η διαδικασία δέχεται σαν όρισμα το όνομα ενός πίνακα και εξάγει το περιεχόμενό του στη μορφή του Σχήμα 7-5: *Αντιστοίχιση Βασισμένη σε Πίνακες*.

```
<table>
  <row>
    <column1>...</column1>
    <column2>...</column2>
    ...
  </row>
  <row>
    ...
  </row>
  ...
</table>
```

Σχήμα 7-5: Αντιστοίχιση Βασισμένη σε Πίνακες

Η προσέγγιση αυτή (Αντιστοίχιση Βασισμένη σε Πίνακες ή **Table-based Mapping**) χρησιμοποιείται ευρύτατα από προϊόντα ενδιάμεσου λογισμικού για την αντιστοίχιση δεδομένων ανάμεσα σε σχεσιακούς πίνακες και έγγραφα XML, καθώς είναι απλή, εύκολη στην κατανόηση και επιταχύνει την ανάπτυξη εφαρμογών.

- 2) Ανάπτυξη εξειδικευμένων διαδικασιών για την εξαγωγή σε μορφή XML πολύπλοκων ιεραρχικών δομών, π.χ. στην περίπτωση που το παραγόμενο αρχείο XML πρέπει να αντικαταστήσει «φωλιασμένες» ερωτήσεις προς τη βάση δεδομένων, όπως στην περίπτωση της ιεραρχικής δομής των πινάκων του Σχήμα 7-4: *Τμήμα της αρχικής Βάσης Δεδομένων Προσαρμογής*. Στο Σχήμα 7-6: *Χρήση της XML για την αναπαράσταση ιεραρχικών δομών* απεικονίζεται η σύνθετη δομή του εγγράφου XML που προκύπτει από την εξαγωγή του περιεχομένου των πινάκων του Σχήματος 7-4.

- 3) Αντικατάσταση των ερωτήσεων (queries) προς τη σχεσιακή βάση δεδομένων με μεθόδους του Document Object Model (DOM) πάνω στα παραγόμενα αρχεία XML. Για την προσπέλαση των αρχείων χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής εγγράφων (parser) Xerces-C++ [8]. Η βιβλιοθήκη αυτή είναι γραμμένη σε ένα μεταφέρσιμο υποσύνολο της γλώσσας C++ και επιτρέπει τη συντακτική ανάλυση, τη δημιουργία, το χειρισμό και τον έλεγχο της εγκυρότητας εγγράφων XML, ενώ συμμορφώνεται πλήρως με τη σύσταση XML 1.0 του World Wide Web Consortium (W3C) [6].

7.3.3. Είσοδος/Εξόδος προτύπου συστήματος από/προς XML αρχεία

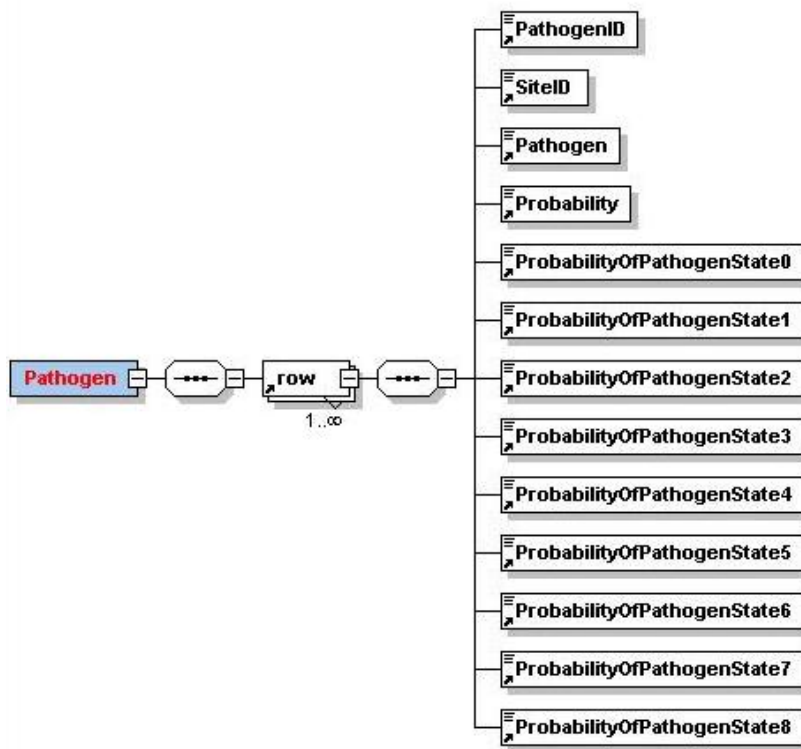
Η αποδέσμευση από εμπορικά συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων απαιτεί την τροφοδοσία του συστήματος με δεδομένα κωδικοποιημένα σε XML, καθώς και τη



Σχήμα 7-6: Χρήση της XML για την αναπαράσταση ιεραρχικών δομών

δημιουργία της εξόδου του συστήματος σε μορφή XML. Οι απαιτήσεις αυτές

υλοποιήθηκαν, όπως και στην περίπτωση της Βάσης Δεδομένων Προσαρμογής, με χρήση της Αντιστοίχισης με βάση Πίνακες (Table-based Mapping) και χρήση της διεπαφής προγραμματισμού Xerces-C++ για την ανάγνωση της εισόδου και τη σύνθεση των αποτελεσμάτων σε μορφή XML. Στο Σχήμα 7-7 απεικονίζεται η δομή σε XML Schema της εξόδου του συστήματος για μια βασική ενότητα πληροφορίας: Τις πιθανότητες να οφείλεται η λοίμωξη σε κάποιο παθογόνο αίτιο, καθώς και τις πιθανότητες που αντιστοιχούν στους δείκτες σοβαρότητας της λοίμωξης, καθώς μια λοίμωξη που σχετίζεται με το συγκεκριμένο παθογόνο μπορεί να παρουσιάζει διαφορετικά επίπεδα σοβαρότητας, π.χ. μια λοίμωξη που οφείλεται στο βάκιλλο *Escherichia coli* (E-coli) μπορεί να είναι ασυμπτωματική ή να προκαλέσει σηπτική καταπληξία.



Σχήμα 7-7: Τμήμα της εξόδου του παράλληλου συστήματος

7.4. Αποτελέσματα

Η παράλληλη έκδοση του προτύπου συστήματος υποστήριξης αποφάσεων, που παρουσιάστηκε παραπάνω, εγκαταστάθηκε σε συστοιχία υπολογιστών με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- 4 dual Intel Pentium III 1266MHz
- SuperMicro SUPER P3TDE6 motherboard
- Pentium III 1.26GHz, L1 I cache 16KB, L1 D cache 16KB, L2 cache 512KB, 1GB RAM
- Interconnects: Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, Myrinet and Scalable Coherent Interface (SCI)

Στο περιβάλλον αυτό αξιολογήθηκε η επιτάχυνση που επιτυγχάνεται από την αξιοποίηση του παράλληλου υλικού. Ο υπολογισμός της επιτάχυνσης έγινε με επεμβατικό τρόπο, δηλαδή εισάγοντας κώδικα μέτρησης του χρόνου εκτέλεσης στο εκτελέσιμο αρχείο. Ειδικότερα, ως επιτάχυνση ορίσαμε το λόγο του χρόνου εκτέλεσης της σειριακής υλοποίησης σε ένα μοναδικό επεξεργαστή προς το μέσο όρο εκτέλεσης της παράλληλης υλοποίησης, όπου ο μέσος όρος υπολογίζεται μέσω τριών διαδοχικών εκτελέσεων. Η πειραματική επιτάχυνση για 2 έως 4 διαθέσιμους επεξεργαστές απεικονίζεται στο Σχήμα 7-3: *Θεωρητική και πειραματική επιτάχυνση σε συστοιχία υπολογιστών*. Όπως γίνεται φανερό και από το σχήμα, η πειραματική επιτάχυνση προσεγγίζει τη θεωρητική σε μεγάλο βαθμό και επιβεβαιώνει την ορθότητα της προτεινόμενης μεθοδολογίας για την παραλληλοποίηση συστημάτων που βασίζονται σε δίκτυα Bayes. Επιπλέον, η προτεινόμενη μεθοδολογία δεν περιορίζεται στο πρότυπο σύστημα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων, αλλά μπορεί να βρει εφαρμογή σε ένα μεγάλο εύρος αντίστοιχων εφαρμογών.

7.5. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1]. Jerry Evans, Adding some MFC functionality to std::string, <http://www.codeproject.com/string/stringex.asp>
- [2]. GNU GCC, <http://gcc.gnu.org/gcc-3.4/>
- [3]. JTC1/SC22/WG21-The C++ Standards Committee, <http://www.open-std.org/jtc1/sc22/wg21/>
- [4]. Leonard Leibovici, Michal Fishman, Henrik C Schønheyder, Christian Riekehr, Brian Kristensen, Ilana Shraga, and Steen Andreassen , “A Causal Probabilistic Network for Optimal Treatment of Bacterial Infections,” IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering, 12(4) (2000), pp. 517-528
- [5]. WHO Collaborating Centre for Drug Statistics Methodology: Anatomical Therapeutic Chemical (ATC) classification index with Defined Daily Doses (DDDs). Oslo, Norway, WHO Collaborating Centre for Drug Statistics Methodology; 2002:1-88
- [6]. Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Third Edition), World Wide Web Consortium Recommendation (2004, February 4).
[Online]. Available: <http://www.w3.org/TR/2004/REC-xml-20040204/>
- [7]. XML and Databases, Ronald Bourret, <http://www.rpbouret.com/xml/XMLAndDatabases.htm>
- [8]. Xerces-C++ parser, <http://xml.apache.org/xerces-c/>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

8.1. Υποδομή Πλέγματος (Grid)

Ο όρος “Grid” (Πλέγμα) εισήχθη στις αρχές της δεκαετίας του 1990 για να περιγράψει μια προτεινόμενη κατανεμημένη υπολογιστική υποδομή για τις προηγμένες επιστήμες και την εφαρμοσμένη μηχανική [1]. Το ακριβές πρόβλημα το οποίο υποκινεί την ανάπτυξη του Πλέγματος ως έννοια είναι ο ελεγχόμενος και συντονισμένος διαμοιρασμός και χρήση πόρων για την επίλυση προβλημάτων στο πλαίσιο δυναμικών πολύ-ιδρυματικών εικονικών οργανισμών (multiinstitutional Virtual Organizations-VOs). Τέτοιες ομάδες μπορεί να είναι οι επιστήμονες που συμμετέχουν σε πειράματα Φυσικής Υψηλών Ενεργειών όπως τα πειράματα του CERN, ή οι ομάδες αστρονόμων που μελετούν κατανεμημένα τις εικόνες διαφόρων αστεροσκοπειών και τηλεσκοπίων ανά τον κόσμο, πειράματα Βιοπληροφορικής κλπ. Ο διαμοιρασμός αυτός αφορά όχι μόνο την ανταλλαγή αρχείων αλλά επίσης την άμεση πρόσβαση σε υπολογιστές, λογισμικό, δεδομένα ή άλλους πόρους, όπως αυτό απαιτείται από ένα μεγάλο εύρος συμπράξεων για επίλυση προβλημάτων και διαχείριση κοινών πόρων που προκύπτουν στην επιστήμη, τη βιομηχανία και τη δημόσια διοίκηση. Ο διαμοιρασμός αυτός είναι αυστηρά ελεγχόμενος, με τους παρόχους και τους χρήστες των πόρων να

ακολουθούν πρωτόκολλα τα οποία καθορίζουν με σαφήνεια τι θα πρέπει να μοιραστεί, ποιος επιτρέπεται να διαμοιράσει και ποιες είναι οι συνθήκες κάτω από τις οποίες πραγματοποιείται ο διαμοιρασμός αυτός. Ένα σύνολο από άτομα ή οργανισμούς που ορίζουν τέτοια πρωτόκολλα συνθέτουν έναν Εικονικό Οργανισμό (Virtual Organization – VO).

8.2. Βασικά Συστατικά μιας Υποδομής Πλέγματος

Με τον όρο Πλέγμα αναφερόμαστε σε ένα σύνολο δομικών στοιχείων, από τους υπολογιστικούς πόρους ως και τις εφαρμογές των χρηστών. Τα βασικά «στρώματα» μιας Υποδομής Πλέγματος είναι τα ακόλουθα ξεκινώντας από κάτω προς τα πάνω [2]:

A. Το Στρώμα Δικτύου (network layer), όπου περιλαμβάνονται οι φυσικές διασυνδέσεις και ο αντίστοιχος δικτυακός εξοπλισμός (δρομολογητές, διακόπτες, κλπ).

B. Το Στρώμα των Πόρων (resource layer), όπου οι πόροι μπορεί να είναι υπολογιστικοί, αποθηκευτικοί ή άλλοι (π.χ. αισθητήρες, τηλεσκοπία κλπ.) με έμφαση στους πρώτους και τις διάφορες υλοποιήσεις τους (υπέρ-υπολογιστές, συστοιχίες προσωπικών υπολογιστών ή εξυπηρετητών κλπ).

Γ. Το Στρώμα Ενδιάμεσου Λογισμικού (middleware layer), όπου περιλαμβάνονται όλες οι απαραίτητες υπηρεσίες ανακοίνωσης, διαμοιρασμού, χρονοπρογραμματισμού και πρόσβασης πόρων, ασφάλειας με έμφαση στην εξακρίβωση ταυτότητας (authentication) και εξουσιοδότηση (authorization), καθώς και μέτρησης χρήσης (accounting) και στατιστικών.

Δ. Το Στρώμα Εφαρμογών και Υπηρεσιών (Application & Serviceware Layer) όπου τελικά συνδέονται οι διάφορες εφαρμογές (υπολογισμοί, προσομοιώσεις κλπ) των διάφορων επιστημονικών περιοχών, καθώς και οι υπηρεσίες που θέλουμε να παρέχουμε.

8.3. Αρχιτεκτονική Ενδιάμεσου Λογισμικού LCG-2

Το ενδιάμεσο λογισμικό (middleware) LCG-2 προέρχεται από διάφορα έργα ανάπτυξης υποδομής Πλέγματος, όπως τα έργα DataGrid, DataTag, Globus, GriPhyN, iVDGL, EGEE (Enabling Grids for E-sciencE) και είναι εγκατεστημένο στους κόμβους που συμμετέχουν στο έργο EGEE. Το EGEE είναι ένα αναπτυξιακό έργο της Ευρωπαϊκής Ένωσης με σκοπό τη δημιουργία υποδομής Πλέγματος στην Ευρώπη, η οποία θα είναι διαθέσιμη στην επιστημονική κοινότητα επί εικοσιτετραώρου βάσεως [3].

Η ανάπτυξη του ενδιάμεσου λογισμικού LCG-2 γεννήθηκε μέσα από την προετοιμασία της υποδομής που θα επεξεργαστεί και θα αναλύσει τα δεδομένα του επιταχυντή σωματιδίων Large Hadron Collider (LHC). Ο LHC, που κατασκευάζεται από τον οργανισμό CERN, θα είναι ο μεγαλύτερος και ισχυρότερος επιταχυντής σωματιδίων στον κόσμο. Ο επιταχυντής θα ξεκινήσει τη λειτουργία του το 2007 και τα πειράματα που θα τον χρησιμοποιούν θα παράγουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων. Καθώς η επεξεργασία των δεδομένων αυτών θα έχει μεγάλες απαιτήσεις σε υπολογιστικούς και αποθηκευτικούς πόρους, η υποδομή LCG θα υλοποιηθεί ως ένα γεωγραφικά κατανεμημένο Πλέγμα. Δηλαδή η υπηρεσία θα χρησιμοποιεί υπολογιστικούς και αποθηκευτικούς πόρους, εγκατεστημένους σε ένα μεγάλο αριθμό από υπολογιστικά κέντρα σε πολλές διαφορετικές χώρες, που θα συνδέονται με γρήγορα δίκτυα. Το ενδιάμεσο λογισμικό LCG-2 κρύβει την πολυπλοκότητα του παραπάνω περιβάλλοντος, δίνοντας στο χρήστη την εντύπωση ότι όλοι οι πόροι είναι διαθέσιμοι στο ίδιο εικονικό υπολογιστικό κέντρο.

8.3.1. Ασφάλεια

Η αρχιτεκτονική LCG-2 οργανώνεται σε Εικονικούς Οργανισμούς [4]. Η υπηρεσία Grid Security Infrastructure (GSI) επιτρέπει την ασφαλή αυθεντικοποίηση και επικοινωνία πάνω από ανοικτά δίκτυα. Η υπηρεσία GSI βασίζεται σε κρυπτογράφηση δημοσίου κλειδιού, ψηφιακά πιστοποιητικά X.509 και το πρωτόκολλο επικοινωνίας Secure Sockets Layer (SSL). Τα πρότυπα αυτά έχουν επεκταθεί για να υλοποιηθεί ενιαία πρόσβαση των χρηστών (single sign-on) και η αντιπροσώπευση (delegation).

Προκειμένου να ταυτοποιηθεί ο χρήστης στους πόρους του Πλέγματος, θα πρέπει να διαθέτει ψηφιακό πιστοποιητικό X.509, το οποίο να έχει εκδοθεί από κάποια έμπιστη Αρχή Πιστοποίησης (Certification Authority – CA). Το πιστοποιητικό αυτό, που προστατεύεται με κάποιο κωδικό, χρησιμοποιείται για να δημιουργηθεί και να υπογραφεί ένα προσωρινό

πιστοποιητικό (proxy certificate), που δεν έχει κωδικό ασφαλείας. Η αυθεντικοποίηση του χρήστη σε κάποιο πόρο του Πλέγματος πραγματοποιείται με τοπικά αρχεία, τα οποία αντιστοιχίζουν τα ψηφιακά πιστοποιητικά σε τοπικούς λογαριασμούς.

8.3.2. User Interface

Το User Interface (UI) είναι το σημείο πρόσβασης στο Πλέγμα: ένα μηχανήμα όπου οι χρήστες έχουν προσωπικό λογαριασμό με εγκατεστημένο το πιστοποιητικό τους και αποτελεί την πύλη για τις υπηρεσίες του Πλέγματος. Κάθε Εικονικός Οργανισμός διαθέτει ένα ή περισσότερα μηχανήματα UI. Στο UI γίνεται η αυθεντικοποίηση του χρήστη, ενώ του προσφέρεται μια διεπαφή γραμμής εντολών (Command Line Interface –CLI) για να εκτελέσει ορισμένες βασικές λειτουργίες:

- Αποστολή εργασίας προς εκτέλεση
- Ανάκτηση της λίστας των πόρων που είναι κατάλληλοι για την εκτέλεση μιας ορισμένης εργασίας
- Ακύρωση της εκτέλεσης εργασιών
- Ανάκτηση των αποτελεσμάτων των εργασιών που έχουν τελειώσει
- Ερώτηση για την τρέχουσα κατάσταση των εργασιών που έχουν υποβληθεί
- Ανάκτηση της καταγραφής πληροφορίας σχετικά με υποβληθείσες εργασίες (logging)
- Μεταφορά, δημιουργία αντιγράφου και σβήσιμο αρχείων από το Πλέγμα

Επίσης, οι χρήστες μπορούν να αναπτύξουν εφαρμογές που να χρησιμοποιούν το Πλέγμα με χρήση των βιβλιοθηκών LCG API (Application Programming Interface).

8.3.3. Υπολογιστικά και Αποθηκευτικά Στοιχεία

Ένα Υπολογιστικό Στοιχείο (Computing Element - CE) ορίζεται ως μια ουρά για τη μαζική υποβολή εργασιών στο Πλέγμα και αναγνωρίζεται από ένα string της μορφής <hostname>:<port>/<batch_queue_name>. Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, πολλαπλές ουρές στον ίδιο εξυπηρετητή αποτελούν διαφορετικά Υπολογιστικά Στοιχεία.

Έτσι μπορούν να οριστούν διαφορετικές ουρές για εργασίες διαφορετικού μήκους ή που να απευθύνονται σε διαφορετικούς Εικονικούς Οργανισμούς, π.χ.:

```
adc0015.cern.ch:2119/jobmanager-lcgpbs-long
```

```
adc0015.cern.ch:2119/jobmanager-lcgpbs-short
```

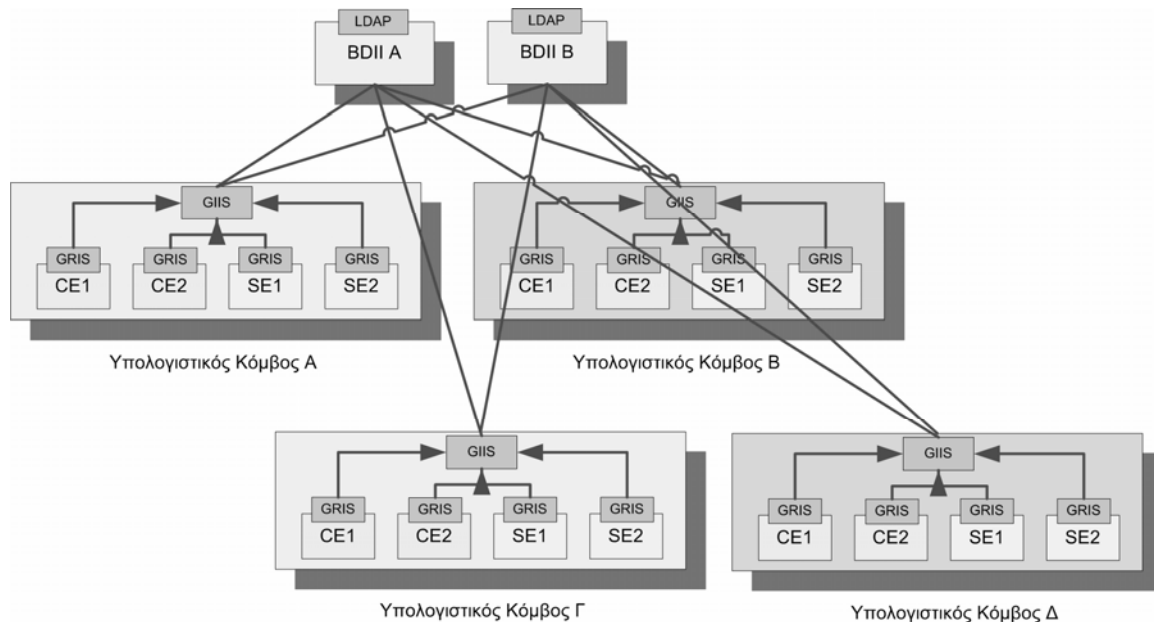
Κάθε Υπολογιστικό Στοιχείο αποτελείται από ένα σύνολο υπολογιστικών κόμβων, που ονομάζονται κόμβοι-«εργάτες» (Worker Nodes - WN), ένα τοπικό σύστημα διαχείρισης πόρων (Local Resource Management System – LRMS) και έναν κόμβο που λειτουργεί ως Πύλη του Πλέγματος (Grid Gate) ή Gatekeeper. Η Πύλη αποδέχεται τις εργασίες και τις διαμοιράζει στους κόμβους-«εργάτες» προς εκτέλεση, ενώ παρέχει μια ενιαία διεπαφή προς τους υπολογιστικούς πόρους που διαχειρίζεται.

Ένα Αποθηκευτικό Στοιχείο (Storage Element – SE) παρέχει ενιαία πρόσβαση σε αποθηκευτικούς πόρους και μπορεί να ελέγχει απλούς εξυπηρετητές δίσκων, μεγάλες συστοιχίες δίσκων ή Mass Storage Systems. Για τη μεταφορά των αρχείων χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο GSIFTP (FTP με υπηρεσίες ασφάλειας GSI), ενώ για την προσπέλαση των αρχείων χρησιμοποιούνται τα πρωτόκολλα RFIO και gsidcap.

8.3.4. Υπηρεσία Πληροφοριών

Η Υπηρεσία Πληροφοριών (Information Service) παρέχει πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση των πόρων του Πλέγματος. Η πληροφορία αυτή είναι απαραίτητη για την όλη λειτουργία του Πλέγματος: Μέσω της Υπηρεσίας Πληροφοριών εντοπίζονται τα κατάλληλα Υπολογιστικά Στοιχεία για την εκτέλεση εργασιών, τα Αποθηκευτικά Στοιχεία που διαθέτουν αντίγραφα αρχείων και οι κατάλογοι που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό των αρχείων αυτών (Κατάλογοι Αρχείων). Τα δεδομένα που δημοσιεύονται στην Υπηρεσία Πληροφοριών συμμορφώνονται με το σχήμα GLUE (Grid Laboratory for a Uniform Environment) [5], το οποίο στοχεύει στον ορισμό ενός κοινού μοντέλου πληροφορίας για την παρακολούθηση (monitoring) και τον εντοπισμό (discovery) πόρων στο Πλέγμα. Η υπηρεσία Monitoring and Discovery Service (MDS) του ενδιάμεσου λογισμικού Globus Toolkit [6] υιοθετήθηκε ως βασικός παροχέας της Υπηρεσίας Πληροφοριών, ενώ σταδιακά αντικαθίσταται από ένα νέο τύπο υπηρεσίας (Relational Monitoring Architecture ή R-

GMA). Η αρχιτεκτονική MDS υλοποιεί το σχήμα GLUE χρησιμοποιώντας το λογισμικό OpenLDAP, που αποτελεί μια υλοποίηση ανοικτού κώδικα του πρωτοκόλλου Lightweight Directory Access Protocol (LDAP).



Σχήμα 8-1: Αρχιτεκτονική MDS

Στο Σχήμα 8-1: *Αρχιτεκτονική MDS* βλέπουμε πως αποθηκεύεται και διαδίδεται η πληροφορία στην αρχιτεκτονική LCG-2. Οι υπολογιστικοί και αποθηκευτικοί πόροι υλοποιούν μια οντότητα που ονομάζεται Παροχέας Πληροφορίας, η οποία συγκεντρώνει στατική και δυναμική πληροφορία σχετικά με τον πόρο. Η πληροφορία αυτή δημοσιεύεται μέσω ενός εξυπηρετητή LDAP από τους εξυπηρετητές Grid Resource Information Servers (GRIS). Σε κάθε κόμβο του Πλέγματος ένα στοιχείο που ονομάζεται Grid Index Information Server (GIIS) συγκεντρώνει την πληροφορία από όλους τους εξυπηρετητές GRIS και τη δημοσιεύει. Τέλος, στο ανώτερο επίπεδο της ιεραρχίας χρησιμοποιείται ένα στοιχείο Berkley DB Information Index (BDII). Αυτό κάνει ερωτήσεις στα GIIS και αποθηκεύει πληροφορία σχετικά με το Πλέγμα στη βάση δεδομένων του. Όμως, μπορούμε πάντα να πάρουμε πιο ενημερωμένη πληροφορία σχετικά με συγκεκριμένους πόρους θέτοντας ερωτήσεις απ' ευθείας στους εξυπηρετητές GIIS κάθε κόμβου ή ακόμα και στους τοπικούς εξυπηρετητές GRIS.

8.3.5. Διαχείριση Εργασιών

Η αποδοχή των εργασιών που υποβάλλονται, καθώς και η αποστολή τους στα κατάλληλα Υπολογιστικά Στοιχεία (ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε εργασίας και τη διαθεσιμότητα των πόρων) πραγματοποιείται από τις υπηρεσίες του Συστήματος Διαχείρισης Φόρτου (ΣΔΦ) (Workload Management System – WMS). Για το σκοπό αυτό το Σύστημα Διαχείρισης Φόρτου ανακτά πληροφορία από τις Υπηρεσίες Πληροφοριών και τον Κατάλογο Αρχείων. Το μηχάνημα που «στεγάζει» τις υπηρεσίες του Συστήματος Διαχείρισης Φόρτου ονομάζεται Κατανεμητής Πόρων (Resource Broker). Η υποβολή μιας εργασίας απαιτεί αυθεντικοποίηση τύπου GSI ανάμεσα στο μηχάνημα User Interface και στον Κατανεμητή Πόρων, καθώς και ανάμεσα στον Κατανεμητή Πόρων και το Υπολογιστικό Στοιχείο που θα επιλεγεί. Επίσης, προϋποθέτει την επιτυχή αναζήτηση ενός Υπολογιστικού Στοιχείου με βάση τις απαιτήσεις της υποβληθείσας εργασίας.

8.3.6. Ροή Εργασιών

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται ο «κύκλος ζωής» μιας εργασίας που αποστέλλεται στο Πλέγμα. Κατ' αρχήν, για να έχει πρόσβαση στις υπηρεσίες του Πλέγματος, ο χρήστης πρέπει να αποκτήσει ένα ψηφιακό πιστοποιητικό από μια έμπιστη Αρχή Πιστοποίησης, να καταχωρηθεί σε έναν Εικονικό Οργανισμό και να «ανοίξει» λογαριασμό σε ένα μηχάνημα User Interface (UI). Αφού κάνει “login” στο λογαριασμό του, δημιουργεί ένα προσωρινό πιστοποιητικό (proxy certificate), που του επιτρέπει να εκτελεί εργασίες στο Πλέγμα. Στη συνέχεια, μπορούμε να διακρίνουμε τα ακόλουθα βήματα:

- 1) Ο χρήστης υποβάλλει μια εργασία από το UI στον κόμβο του Κατανεμητή Πόρων. Στο αρχείο περιγραφής της εργασίας μπορεί να έχουν οριστεί ένα ή περισσότερα αρχεία για αντιγραφή από το UI στον Κατανεμητή Πόρων. Το σύνολο των αρχείων αυτών ονομάζεται Input Sandbox. Το γεγονός καταγράφεται και η κατάσταση της εργασίας είναι SUBMITTED (Υποβληθείσα).
- 2) Το Σύστημα Διαχείρισης Φόρτου αναζητά το καλύτερο Υπολογιστικό Στοιχείο για την εκτέλεση της εργασίας. Για το σκοπό αυτό θέτει ερωτήσεις στην Υπηρεσία Πληροφοριών για την τρέχουσα κατάσταση των υπολογιστικών και

αποθηκευτικών πόρων και στον Κατάλογο Αρχείων για την τοποθεσία των απαιτούμενων δεδομένων. Το γεγονός καταγράφεται και η κατάσταση της εργασίας είναι WAITING (Σε αναμονή).

- 3) Ο Κατανεμητής Πόρων ετοιμάζει το αρχείο για υποβολή δημιουργώντας ένα περίβλημα (wrapper script) που θα περάσει, μαζί με άλλες παραμέτρους, στο Υπολογιστικό Στοιχείο που θα επιλεγεί. Το γεγονός καταγράφεται και η κατάσταση της εργασίας είναι READY ('Ετοιμη).
- 4) Το Υπολογιστικό Στοιχείο δέχεται την αίτηση και αποστέλλει την εργασία για εκτέλεση στο τοπικό σύστημα διαχείρισης πόρων (LRMS). Το γεγονός καταγράφεται και η κατάσταση της εργασίας είναι SCHEDULED (Προγραμματισμένη).
- 5) Το τοπικό σύστημα διαχείρισης πόρων κατευθύνει την εργασία προς εκτέλεση στους διαθέσιμους κόμβους-«εργάτες». Αρχεία του χρήστη μεταφέρονται από τον Κατανεμητή Πόρων στους κόμβους-«εργάτες» όπου εκτελείται η εργασία. Το γεγονός καταγράφεται και η κατάσταση της εργασίας είναι RUNNING (Εκτελείται).
- 6) Καθώς η εργασία εκτελείται, αρχεία του Πλέγματος μπορούν να προσπελαστούν από «κοντινά» Αποθηκευτικά Στοιχεία με χρήση των πρωτοκόλλων RFIO ή gsidcar ή από απομακρυσμένα Αποθηκευτικά Στοιχεία με την αντιγραφή τους στο τοπικό σύστημα αρχείων των κόμβων-«εργατών».
- 7) Η εργασία μπορεί να παράγει νέα έξοδο, η οποία πρέπει να γίνει διαθέσιμη στους χρήστες του Πλέγματος. Αυτό γίνεται αντιγράφοντας τα καινούργια αρχεία σε ένα Αποθηκευτικό Στοιχείο και καταχωρώντας τα στους Καταλόγους Αρχείων.
- 8) Αν η εργασία τερματιστεί χωρίς λάθη, η έξοδος (μικρά αρχεία που έχουν οριστεί από το χρήστη στο Output Sandbox) μεταφέρεται πίσω στον Κατανεμητή Πόρων. Το γεγονός καταγράφεται και η κατάσταση της εργασίας είναι DONE (Τερματισμένη).

Στο σημείο αυτό ο χρήστης μπορεί να ανακτήσει το αποτέλεσμα της εργασίας του από το User Interface χρησιμοποιώντας το Command Line Interface ή το Application Programmer Interface. Το γεγονός καταγράφεται και η κατάσταση της εργασίας είναι CLEARED (Έχει εκκαθαριστεί).

8.4. Γλώσσες περιγραφής εργασιών

Για την περιγραφή των εργασιών που υποβάλλονται στο Πλέγμα, η αρχιτεκτονική LCG-2 χρησιμοποιεί τη γλώσσα Job Description Language (JDL). Η γλώσσα JDL προέρχεται από τη γλώσσα Classified Advertisements [7] του λογισμικού Condor [8], το βασικό στοιχείο της οποίας είναι η δομή ClassAd, που περιλαμβάνει έναν πεπερασμένο αριθμό ιδιοτήτων, από τις οποίες οικοδομούνται πιο σύνθετες εκφράσεις. Η γλώσσα ClassAd αποτελεί ένα ευέλικτο και επεκτάσιμο μοντέλο δεδομένων που αναπαριστά υπηρεσίες, καθώς και περιορισμούς σχετικά με την εκχώρησή τους. Η γλώσσα JDL χρησιμοποιείται για να εκφράσει επιθυμητά χαρακτηριστικά και περιορισμούς που αφορούν τις εργασίες που αποστέλλονται στο Πλέγμα, τα οποία καθοδηγούν την αναζήτηση των πόρων που θα αξιοποιηθούν για την εκτέλεση των εργασιών. Η σύνταξη της JDL αποτελείται από προτάσεις που τερματίζονται με ερωτηματικό, σύμφωνα με τη δομή `attribute = value;`. Ορισμένες ιδιότητες (attributes) είναι υποχρεωτικές, όπως το όνομα του εκτελέσιμου αρχείου που αποστέλλεται στο Πλέγμα, το αρχείο που θα γραφτεί η πρότυπη έξοδος και τα τυχόν λάθη, ενώ άλλες ιδιότητες είναι προαιρετικές. Για παράδειγμα, μέσω της ιδιότητας Requirements μπορούμε να εκφράσουμε περιορισμούς σχετικά με τους υπολογιστικούς πόρους που θα επιλέξει ο Κατανεμητής Πόρων για την εκτέλεση μιας εργασίας:

```
Requirements = other.GlueCEInfoLRMSType == "PBS" &&  
other.GlueCEInfoTotalCPUs > 1;
```

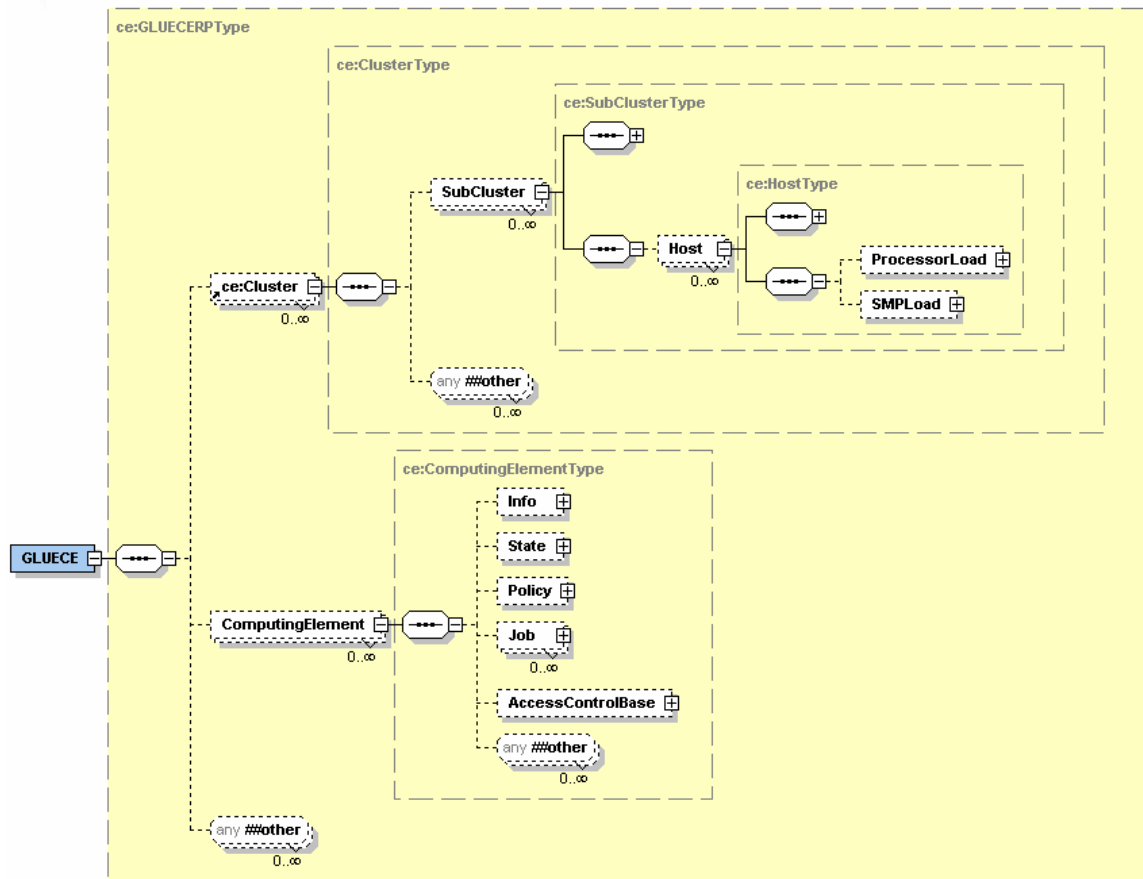
Με την παραπάνω πρόταση JDL διατυπώνεται η απαίτηση να εκτελεστεί η εργασία μόνο σε Υπολογιστικά Στοιχεία που χρησιμοποιούν το τοπικό σύστημα διαχείρισης πόρων Portable Batch System (PBS) και στα οποία οι κόμβοι-«εργάτες» έχουν τουλάχιστον δύο επεξεργαστές. Το πρόθεμα `other.` υποδεικνύει ότι η ιδιότητα `GlueCEInfoLRMSType` αναφέρεται σε χαρακτηριστικά των Υπολογιστικών Στοιχείων και όχι της υποβληθείσας εργασίας. Αν δεν χρησιμοποιηθεί πρόθεμα, υπονοείται το πρόθεμα `self.`, που υποδεικνύει ότι περιγράφουμε τα χαρακτηριστικά της εργασίας.

Εκτός από τη γλώσσα JDL, η οποία χρησιμοποιείται στο ευρέως διαδομένο ενδιάμεσο λογισμικό LCG-2, το Global Grid Forum έχει προτείνει την προδιαγραφή Job Submission Description Language [9], η οποία χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις απαιτήσεις των εργασιών που αποστέλλονται σε υπολογιστικούς πόρους, και κατά κύριο λόγο στο Πλέγμα. Η προδιαγραφή περιλαμβάνει και ένα XML Schema για την έκφραση των απαιτήσεων ως

ένα σύνολο στοιχείων XML. Ο στόχος της ομάδας εργασίας που αναπτύσσει την προδιαγραφή JSDL είναι να παρέχει μια πρότυπη γλώσσα περιγραφής εργασιών, που θα προάγει τη διαλειτουργικότητα ανάμεσα στα υφιστάμενα συστήματα διαχείρισης πόρων, καθώς το καθένα χρησιμοποιεί τη δική του γλώσσα περιγραφής των απαιτήσεων.

8.5. Grid Laboratory Uniform Environment (GLUE)

Το έργο Grid Laboratory Uniform Environment (GLUE) [5] ορίζει ένα μοντέλο πληροφορίας για την περιγραφή των πόρων του Πλέγματος, με στόχο να χρησιμοποιηθεί από τις βασικές υπηρεσίες του Πλέγματος, όπως ο εντοπισμός και η παρακολούθηση πόρων. Για τον εντοπισμό των πόρων προδιαγράφει ένα εκτεταμένο σύνολο από χαρακτηριστικά πόρων, ενώ για την παρακολούθηση ορίζει ένα σύνολο πληροφοριών σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση του πόρου, όπως ο φόρτος εργασίας και η διαθεσιμότητα. Το μοντέλο GLUE (version 1.2) περιγράφει Υπολογιστικά Στοιχεία, Αποθηκευτικά Στοιχεία και τις μεταξύ τους σχέσεις. Ο στόχος του GLUE είναι να παρέχει ένα μοντέλο αξιοποιήσιμο από διαφορετικές τεχνολογίες, ενώ οι τρέχουσες υλοποιήσεις περιλαμβάνουν ένα σχήμα Lightweight Directory Access Protocol (LDAP) για το ενδιάμεσο λογισμικό Globus Toolkit και ένα XML Schema για το Globus Toolkit 4 (Σχήμα 8-2: *GLUE XML Schema*).



Σχήμα 8-2: GLUE XML Schema

8.6. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1]. Ian Foster, Carl Kesselman (Editors), The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure, Eds. Morgan Kaufmann, 1998
- [2]. HellasGrid Task Force, Κείμενο Στρατηγικής, Νοέμβριος 2003
- [3]. Enabling Grids for E-science (EGEE), <http://public.eu-egee.org/>
- [4]. A. Delgado Peris, et al. LCG-2 User Guide. Technical Report CERN-LCG-GEDIS-454439, CERN, Geneva, Switzerland, September 2004.
- [5]. S. Andreati, S. Burke, L. Field, S. Fisher, B. K'onya, M. Mambelli, J. M. Schopf, M. Viljoen, and A. Wilson. Glue schema specification version 1.2, Final Specification,
http://infnforge.cnaf.infn.it/glueinfomodel/uploads/Spec/GLUEInfoModel_1_2_final.pdf, 2005
- [6]. Globus Toolkit. [Online]. Available: <http://www.globus.org/toolkit/>
- [7]. Classified Advertisements, <http://www.cs.wisc.edu/condor/classad/>
- [8]. Condor High Throughput Computing [Online]. Available: <http://www.cs.wisc.edu/condor/>
- [9]. A. Anjomshoaa, F. Brisard, M. Drescher, D. Fellows, A. Ly, A. S. McGough, D. Pulsipher, and A. Savva. Job Submission Description Language (JSDL) specification version 1.0 Internet, 2005 <https://forge.gridforum.org/projects/jsdlwg/document/draft-ggf-jsdl-spec/en/21>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

9.1. Εισαγωγή

Η ανάγκη για πολλαπλή θωράκιση απέναντι στο ιατρικό λάθος, όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 1, προϋποθέτει την ανάπτυξη πολλαπλών υπολογιστικών συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων, τα οποία πρέπει να ολοκληρωθούν επιτυχώς, ώστε να παρέχουν υποστήριξη στο σημείο παροχής ιατρικής περίθαλψης μέσα σε αποδεκτά χρονικά πλαίσια. Οι υπολογιστικές απαιτήσεις ενός τέτοιου εγχειρήματος, ειδικότερα αν καλούμαστε να ολοκληρώσουμε συστήματα που βασίζονται σε πολύπλοκα δίκτυα Bayes, σπάνια μπορούν να καλυφθούν από τις υπάρχουσες υποδομές υλικού του συστήματος παροχής υπηρεσιών υγείας, με αποτέλεσμα να οδηγούμαστε στην αναζήτηση κατάλληλων μεθόδων και τεχνικών αύξησης της διαθέσιμης υπολογιστικής ισχύος. Στο πλαίσιο της αναζήτησης αυτής, επιθεωρούμε και αξιολογούμε τις τρέχουσες τεχνολογίες κατανεμημένης επεξεργασίας υπό το πρίσμα των αναγκών ενός ολοκληρωμένου περιβάλλοντος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων, με βάση τα κριτήρια επιτυχίας που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 1, αλλά και τα χαρακτηριστικά των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων υψηλής επίδοσης, όπως παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 7.

9.2. Αξιοποίηση έργων σταθμών εργασίας

Έχει παρατηρηθεί ότι οι περισσότεροι σταθμοί εργασίας είναι άεργοι κατά 70% έως 90% του συνολικού χρόνου λειτουργίας τους [1]. Στο πλαίσιο της αναζήτησης υπολογιστικών πόρων για την ολοκλήρωση πολλαπλών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, διερευνήθηκε η δυνατότητα εκμετάλλευσης των έργων σταθμών εργασίας εντός του νοσοκομείου. Η έρευνα των σχετικών τεχνολογιών απέδειξε όμως ότι τα συστήματα που αναζητούν και αξιοποιούν άεργους επεξεργαστές, όπως το λογισμικό Condor [2], είναι κυρίως κατάλληλα για εργασίες που διαρκούν πολύ χρόνο και δεν απαιτούν την παρέμβαση του χρήστη. Το λογισμικό Condor τοποθετεί τις υποβληθείσες εργασίες σε μια ουρά και παρακολουθεί το τοπικό δίκτυο, ανιχνεύοντας περιόδους αδράνειας του ηλεκτρολογίου ή του ποντικιού, καθώς και χαμηλή αξιοποίηση των διαθέσιμων επεξεργαστών, προσπαθώντας να βρει κατάλληλους υπολογιστές για την αποστολή των εργασιών. Αν κάποια εργασία έχει σταλεί ήδη σε κάποιον άεργο σταθμό εργασίας και ο χρήστης του – που πιθανόν να είχε κάνει διάλειμμα για φαγητό – επιστρέψει και αρχίσει να ηλεκτρολογεί, η εκτέλεση της εργασίας πρέπει να διακοπεί, η εργασία να μεταφερθεί σε κάποιο άλλο μηχάνημα (αν είναι διαθέσιμο) και η εκτέλεσή της να συνεχιστεί από το σημείο που σταμάτησε.

9.2.1. Συμπεράσματα

Το συγκεκριμένο είδος καταναμημένης επεξεργασίας είναι ιδανικό για εργασίες δέσμης (batch jobs), οι οποίες μπορούν να εκτελούνται κατά τη διάρκεια της νύχτας και τα αποτελέσματά τους να είναι διαθέσιμα το επόμενο πρωί, χωρίς να απαιτούνται δαπάνες για την αγορά υλικού υψηλών επιδόσεων. Όμως, το συγκεκριμένο μοντέλο επεξεργασίας δεν είναι κατάλληλο όταν απαιτείται απόκριση των εφαρμογών σε πραγματικό χρόνο, όπως στην περίπτωση που θέλουμε υποστήριξη αποφάσεων κατά τη χρονική στιγμή της λήψης των αποφάσεων. Ένα πρόσθετο εμπόδιο για την υιοθέτηση της συγκεκριμένης πρακτικής είναι οι μεγάλες απαιτήσεις των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων σε διαθέσιμη μνήμη, ειδικότερα δε των συστημάτων που χρησιμοποιούν δίκτυα Bayes, λόγω του μεγέθους του παραγόμενου δέντρου ζεύξης. Οι σταθμοί εργασίας μέσου κόστους που είναι εγκατεστημένοι στους φορείς παροχής υπηρεσιών υγείας δεν διαθέτουν την απαιτούμενη μνήμη για εξαγωγή συμπερασμάτων σε δίκτυα Bayes, αλλά ακόμα και στην περίπτωση

ακριβότερων σταθμών εργασίας, η χρήση τους για υποστήριξη αποφάσεων καθιστά την ταυτόχρονη κανονική λειτουργία τους αδύνατη, λόγω εξάντλησης των υπολογιστικών πόρων. Τέλος, πρέπει να επισημάνουμε ότι η υλοποίηση ενός συστήματος αξιοποίησης των έργων κύκλων στα πλαίσια ενός φορέα παροχής ιατρικών υπηρεσιών εγείρει σοβαρά ζητήματα ασφάλειας, καθώς τα συστήματα αυτά έχουν σχεδιαστεί για να επιτρέπουν στους χρήστες την αυθαίρετη εκτέλεση κώδικα και είναι πιο ευάλωτα σε επιθέσεις τύπου «άρνησης παροχής υπηρεσίας» (Denial Of Service - DoS).

9.3. Αξιολόγηση του Υπολογιστικού Πλέγματος

9.3.1. Πρόσβαση στο Πλέγμα

Η αξιολόγηση της υποδομής Υπολογιστικού Πλέγματος υπό το πρίσμα της κατακεκομμένης λειτουργίας συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων υψηλής επίδοσης, απαιτεί την εξουσιοδοτημένη πρόσβαση σε ένα μηχανήμα User Interface (βλ. 8.3.2. User Interface), καθώς και την ένταξη σε έναν Ιδεατό Οργανισμό (Virtual Organization). Ειδικότερα, επιλέξαμε να ενταχθούμε στον οργανισμό SEE-VO (South East Europe) της υποδομής EGEE (Enabling Grids For E-science), ο οποίος απευθύνεται στους χρήστες της Νοτιοανατολικής Ευρώπης που δεν μπορούν να εντάξουν την εφαρμογή τους σε κάποιον από τους υπόλοιπους οργανισμούς της υποδομής.

Για τους χρήστες του ιδεατού οργανισμού SEE-VO, η πρόσβαση στο Υπολογιστικό Πλέγμα παραχωρείται μέσω του κόμβου HG-01-GRNET (γνωστού και ως «Isabella»), που αποτελείται από 32 επεξεργαστές Dual Intel Xeon, 10TB Fibre Channel μονάδες μαζικής αποθήκευσης και 10 TB βιβλιοθηκών ταινιών. Ο κόμβος HG-01-GRNET είναι συνδεδεμένος με την πανευρωπαϊκή υποδομή υπολογιστικού πλέγματος του EGEE και έχει εγκατεστημένη την τελευταία έκδοση ενδιάμεσου λογισμικού LCG-2 προσφέροντας τις παρακάτω υπηρεσίες υπολογιστικού πλέγματος:

- Υπολογιστικό Στοιχείο (CE), για την προσφορά υπολογιστικής ισχύος
- Αποθηκευτικό Στοιχείο (SE), για την προσφορά αποθηκευτικού χώρου.
- Στοιχείο Παρακολούθησης (MON), για την παρακολούθηση των παραπάνω υπηρεσιών και την παροχή στατιστικών.

Για την πρόσβαση στο Πλέγμα πραγματοποιήθηκαν τα ακόλουθα βήματα:

1. Δημιουργία λογαριασμού στο μηχάνημα User Interface (UI)
2. Έκδοση ψηφιακού πιστοποιητικού

Για την έκδοση του ψηφιακού πιστοποιητικού ακολουθήσαμε την εξής διαδικασία:

- Δημιουργία της αίτησης στο μηχάνημα User Interface μέσω της εντολής grid-cert-request
- Αποστολή της αίτησης στην αρμόδια Αρχή Πιστοποίησης μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου
- Υπογραφή του ψηφιακού πιστοποιητικού από την Αρχή Πιστοποίησης μετά από αποστολή fax υπογεγραμμένου από τον ερευνητικό υπεύθυνο του Εργαστηρίου Βιοϊατρικής Τεχνολογίας
- Παραλαβή του ψηφιακού πιστοποιητικού μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου
- Αποστολή e-mail υπογεγραμμένου με το πιστοποιητικό προς την Αρχή Πιστοποίησης που να επιβεβαιώνει την αποδοχή των όρων της πολιτικής πιστοποίησης.

3. Αίτηση εγγραφής στον εικονικό οργανισμό SEE-VO

Η αίτηση εγγραφής απαιτεί το φόρτωμα του ψηφιακού πιστοποιητικού στο λογισμικό πλοήγησης (browser) και την καταχώρηση της αίτησης μέσω της ιστοσελίδας της υπηρεσίας εγγραφής χρήστη (LCG Registrar) στον εικονικό οργανισμό.

4. Επιβεβαίωση της αίτησης εγγραφής από το χρήστη μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.
5. Ολοκλήρωση της εγγραφής από τους υπεύθυνους του ιδεατού οργανισμού και ενημέρωση του χρήστη.

9.3.2. Προσομοίωση λειτουργίας συστήματος υψηλής επίδοσης στο Πλέγμα

Για τον καθορισμό της καταλληλότητας της υποδομής Πλέγματος για την εγκατάσταση και χρήση συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων υψηλής επίδοσης, διενεργήθηκε προσομοίωση αποστολής στο Πλέγμα μιας απλής εργασίας που να βασίζεται στο πρωτόκολλο επικοινωνίας διεργασιών MPI, όπως απαιτείται για ένα σύστημα υψηλής επίδοσης, που έχει αναπτυχθεί με βάση τη μεθοδολογία που προτάθηκε στην ενότητα «7.1. Προτεινόμενη μεθοδολογία για την παραλληλοποίηση συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων». Ειδικότερα, αναπτύχθηκε στο περιβάλλον του μηχανήματος User Interface μια εφαρμογή δοκιμής σε γλώσσα C++, που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο επικοινωνίας διεργασιών MPI και τυπώνει στην πρότυπη έξοδο τον αναγνωριστικό αριθμό της τρέχουσας διεργασίας. Για την αποστολή της εργασίας στο Υπολογιστικό Πλέγμα δημιουργήθηκε το παρακάτω αρχείο σε γλώσσα Job Description Language (JDL):

```
Executable = "test";
JobType="MPICH";
NodeNumber=20;
StdOutput = "std.out";
StdError = "std.err";
InputSandBox = "test";
OutputSandBox = {"std.out","std.err"};
```

Σχήμα 9-1: Αρχείο Job Description Language για αποστολή εργασίας MPI

Με το αρχείο JDL του Σχήμα 9-1: *Αρχείο Job Description Language για αποστολή εργασίας MPI* δίνουμε εντολή στον Κατανεμητή Πόρων να αναζητήσει Υπολογιστικά Στοιχεία που να υποστηρίζουν το πρωτόκολλο MPI και ειδικότερα την υλοποίηση MPICH [3] (JobType="MPICH"), καθώς και να διαθέτουν τουλάχιστον 20 επεξεργαστές (NodeNumber=20). Στην περίπτωση που υπάρχουν δύο ή περισσότερα Υπολογιστικά Στοιχεία που ικανοποιούν τις παραπάνω απαιτήσεις, επιλέγεται το Στοιχείο με τους περισσότερους ελεύθερους επεξεργαστές. Η αλληλεπίδραση με το Πλέγμα μέσω της διεπαφής της γραμμής εντολών, η αποστολή εργασιών στο Πλέγμα, η καταγραφή των χρόνων εκτέλεσης, αλλά και οι διεξοδικές συζητήσεις με διαχειριστές και χρήστες του

Πλέγματος, μας οδήγησε σε ένα σύνολο από συμπεράσματα, τα οποία παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.

9.3.3. Συμπεράσματα

Η τρέχουσα αρχιτεκτονική των Υπηρεσιών Πλέγματος Υπολογιστικών Συστημάτων (Grid) και ιδιαίτερα του ενδιάμεσου λογισμικού LCG-2, που αποτελεί το ενδιάμεσο λογισμικό των ευρωπαϊκών και ελληνικών πλεγματικών υποδομών, την καθιστά ακατάλληλη για την εγκατάσταση και χρήση συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων υψηλής επίδοσης. Στη συνέχεια συνοψίζονται οι κυριότεροι λόγοι που συνηγορούν στην ακαταλληλότητά της:

- Μη κανονικοποιημένος χρόνος έναρξης της εκτέλεσης μιας εργασίας

Ανάλογα με το φόρτο εργασίας στους διαθέσιμους κόμβους που προσφέρουν υπολογιστική ισχύ, μια εργασία που κατευθύνεται από τον Κατανεμητή Πόρων προς ένα συγκεκριμένο Υπολογιστικό Στοιχείο μπορεί να παραμείνει στην ουρά του τοπικού συστήματος διαχείρισης πόρων (LRMS) για δυνητικά μεγάλο και μη προβλέψιμο χρονικό διάστημα. Αυτό καθιστά την υπάρχουσα αρχιτεκτονική του Πλέγματος ακατάλληλη για επεξεργασία αιτήσεων σε πραγματικό χρόνο, κάτι που απαιτείται για την υποστήριξη αποφάσεων άμεσα και κατά τη χρονική στιγμή λήψης μιας κλινικής απόφασης.

- Αδυναμία λειτουργίας των εφαρμογών ως «δαίμονες» στο Πλέγμα

Για την αποδοτική λειτουργία των συστημάτων υψηλής επίδοσης απαιτείται η εκτέλεσή τους ως «δαίμονες» στους κόμβους μιας συστοιχίας υπολογιστών. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται το υπολογιστικό κόστος που σχετίζεται με την αρχικοποίηση των εφαρμογών και εξασφαλίζεται η συνεχής λειτουργία τους σε «κατάσταση αναμονής» για την εξυπηρέτηση αιτήσεων. Η προσθήκη του χρόνου αρχικοποίησης στο συνολικό χρόνο εκτέλεσης της εξυπηρέτησης μιας αίτησης για υποστήριξη αποφάσεων έχει σαν αποτέλεσμα την ακύρωση του οφέλους της παραλληλοποίησης, εφόσον το σειριακό τμήμα του αλγορίθμου αυξάνεται υπέρμετρα σε σχέση με το παραλληλοποιήσιμο. Η εγκατάσταση όμως διεργασιών, που να λειτουργούν συνέχεια ως «δαίμονες» στους κόμβους-«εργάτες» των υπολογιστικών κόμβων του Πλέγματος, δεν επιτρέπεται για λόγους ασφάλειας του

περιβάλλοντος, καθώς επίσης και για λόγους δίκαιης κατανομής των πόρων στα πλαίσια ενός Ιδεατού Οργανισμού.

- Οι πλατφόρμες ενδιάμεσου λογισμικού απαιτούν υπερβολικό κόστος διαχείρισης

Οι υπάρχουσες πλατφόρμες ενδιάμεσου λογισμικού αποτελούν μονολιθικά συστήματα που προσπαθούν να ενσωματώσουν ένα πολύ μεγάλο εύρος λειτουργικότητας (εξακρίβωση ταυτότητας χρήστη, κρυπτογράφηση, εντοπισμός πόρων, διαχείριση ουράς εργασιών κ.α.) σε μια ενιαία μονάδα λογισμικού, κάτι που τις καθιστά ιδιαίτερα δύσχρηστες [4]. Ενδεικτικά, στην τεκμηρίωση του Globus Toolkit 4 (GT4) αναφέρεται : «Ο πολύ μεγάλος αριθμός συστατικών στο Globus Toolkit μπορεί να πτοήσει όποιον αρχίζει να εργάζεται με το GT4»(!). Ακόμα και για εφαρμογές με μικρές απαιτήσεις, το κόστος διαχείρισης της πλατφόρμας είναι μεγάλο, καθώς αποτελεί μια γενική λύση που επιδιώκει να καλύψει τις ανάγκες πολύ πιο σύνθετων εφαρμογών και σεναρίων χρήσης από αυτά που συνήθως θέλουμε να υλοποιήσουμε στο Πλέγμα. Για παράδειγμα, η εξακρίβωση της ταυτότητας των χρηστών στις εκδόσεις 2 και 3 του Globus Toolkit βασίζεται σε στατικά αρχεία αντιστοίχισης των ψηφιακών πιστοποιητικών σε τοπικούς λογαριασμούς χρηστών κάθε υπολογιστικού πόρου. Η ενημέρωση των αρχείων αυτών (π.χ. κατά την εγγραφή ενός νέου χρήστη στον Εικονικό Οργανισμό) πρέπει να γίνει σε όλα τα μηχανήματα που συμμετέχουν και συχνά χειροκίνητα, λόγω έλλειψης κάποιου πιο εύχρηστου μηχανισμού για το σκοπό αυτό.

- Έλλειψη μηχανισμού advanced reservation

Η μεταφορά στο Πλέγμα εφαρμογών που απαιτούν απόκριση σε πραγματικό χρόνο προϋποθέτει την ύπαρξη μηχανισμών προκαταβολικής κράτησης (advanced reservation) πόρων. Ο μηχανισμός αυτός εξασφαλίζει την ύπαρξη ενός διαθέσιμου μηχανήματος κατά τη χρονική στιγμή της αποστολής μιας εργασίας το Πλέγμα και κατά συνέπεια την άμεση εκτέλεσή της με βάση τους χρονικούς περιορισμούς που έχουν τεθεί. Η πλατφόρμα ενδιάμεσου λογισμικού LCG-2 δεν υποστηρίζει μηχανισμούς κράτησης πόρων, συνεπώς δεν είναι κατάλληλη για την εκτέλεση εφαρμογών σε πραγματικό χρόνο. Η ομάδα ανάπτυξης της επόμενης γενιάς ενδιάμεσου λογισμικού gLite στοχεύει να ενσωματώσει ένα μηχανισμό κρατήσεων στις μελλοντικές εκδόσεις των υπηρεσιών του Κατανεμητή Πόρων, στην τρέχουσα έκδοση όμως (gLite v1.5) η συγκεκριμένη υπηρεσία δεν είναι διαθέσιμη.

- Η απευθείας αλληλεπίδραση με τους κόμβους-«εργάτες» είναι δύσκολη

Λόγω της αρχιτεκτονικής των υπαρχόντων περιβαλλόντων ενδιάμεσου λογισμικού, που αποτελείται από ιεραρχίες συστοιχιών με κεντρικοποιημένους Κατανεμητές Πόρων, ενώ οι κόμβοι-«εργάτες» όπου επιτελείται τελικά η εργασία βρίσκονται πίσω από firewalls ή χρησιμοποιείται μετάφραση δικτυακών διευθύνσεων (NAT), δεν είναι δυνατή η απευθείας αλληλεπίδραση με τις εφαρμογές που τρέχουν στο Πλέγμα, δυσχεραίνοντας έτσι την αλληλεπιδραστική εκτέλεση εφαρμογών.

9.4. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1]. M. J. Litzkow, M. Livny, and M. W. Mutka, "Condor: A hunter of idle workstations", in 8th Int. Conf. on Distributed Computing Systems, Washington, D.C., USA, IEEE Computer Society Press, 1998, pp. 104-111.
- [2]. Condor High Throughput Computing [Online]. Available: <http://www.cs.wisc.edu/condor/>
- [3]. MPICH, <http://www-unix.mcs.anl.gov/mpi/mpich/>
- [4]. J. Chin and P. V. Coveney, "Towards tractable toolkits for the Grid: a plea for lightweight, usable middleware." UK e-Science Technical Report, number UKeS-2004-01

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΚΛΙΝΙΚΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

10.1. Στόχοι του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος υποστήριξης αποφάσεων

Ο βασικότερος στόχος της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής είναι η ολοκλήρωση πολλαπλών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων υψηλής επίδοσης σε ένα ενιαίο περιβάλλον κατανεμημένης επεξεργασίας με τρόπο διάφανο για τον τελικό χρήστη. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης μπορεί να επωφελείται από συστάσεις που παράγονται αυτόματα από πολλαπλά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων μέσα σε λογικά χρονικά πλαίσια και ως μέρος της υπάρχουσας ροής εργασιών. Στη συνέχεια συνοψίζονται τα βασικότερα λειτουργικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος:

- Αποδοτική χρήση τοπικών ή απομακρυσμένων υπολογιστικών πόρων

Η παροχή υποστήριξης αποφάσεων από πολλαπλά συστήματα μέσα σε αποδεκτά χρονικά πλαίσια, ώστε να εξασφαλίζεται η επιτυχημένη ενσωμάτωσή τους στην κλινική πράξη, προϋποθέτει τη χρήση υλικού υψηλών επιδόσεων, όπως συστοιχίες πολυεπεξεργαστών ή σταθμών εργασίας με δικτυακή διασύνδεση υψηλών ταχυτήτων. Το υλικό αυτό σπάνια είναι διαθέσιμο στα πλαίσια ενός νοσοκομείου, με αποτέλεσμα η ολοκλήρωση συστημάτων υψηλής επίδοσης να απαιτεί τη χρήση απομακρυσμένων υπολογιστικών πόρων. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική έχει σα στόχο να παρέχει ένα ενιαίο υπολογιστικό περιβάλλον δημιουργίας και επεξεργασίας αιτήσεων για υποστήριξη αποφάσεων αξιοποιώντας αποδοτικά υπολογιστικούς πόρους κατανεμημένους εντός και εκτός των τειχών ενός νοσοκομείου.

- Αυτόματη ενεργοποίηση των συστημάτων με βάση απλούς συνεπαγωγικούς κανόνες

Στο Κεφάλαιο 1 επισημάνθηκε ότι η αυτόματη παροχή υποστήριξης αποφάσεων ως μέρος της υπάρχουσας ροής εργασιών αποτελεί κομβικό παράγοντα επιτυχίας για ένα σύστημα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων. Η διαθεσιμότητα δε πολλών συστημάτων, πολλαπλασιάζει την προσπάθεια που πρέπει να καταβάλλει ο χρήστης-ιατρός, προκειμένου να αναζητήσει ο ίδιος την αρωγή των συστημάτων κατά τη λήψη μιας σημαντικής απόφασης. Η προσπάθεια αυτή ελαχιστοποιείται μέσω της ανάπτυξης ενός απλού «έμπειρου» συστήματος που αποφασίζει την ενεργοποίηση των διαθέσιμων συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων με βάση ένα σύνολο συνεπαγωγικών κανόνων. Για παράδειγμα, η παρουσία συμπτωμάτων σήψης κατά την κλινική εξέταση ενεργοποιεί αυτόματα το πρότυπο σύστημα για τη θεραπεία των βακτηριακών λοιμώξεων, χωρίς να απαιτείται η ανάπτυξη πρωτοβουλίας από το χρήστη.

- Σύνθεση «εικονικού» ιατρικού φακέλου

Τα ιατρικά δεδομένα που απαιτούνται για την ενεργοποίηση των ΣΥΑ που συμμετέχουν στο περιβάλλον πρέπει να είναι διαθέσιμα κατά τη χρονική στιγμή λήψης των αποφάσεων. Συνεπώς, προαπαιτείται η σύνθεση ενός «εικονικού» ιατρικού φακέλου από ιατρικά δεδομένα που είναι κατακερματισμένα σε διάφορα ετερογενή συστήματα, όπως Πληροφοριακά Συστήματα Νοσοκομείων (HIS) ή Πληροφοριακά Συστήματα Εργαστηρίων (LIS), καθώς και από τη χειροκίνητη εισαγωγή ευρημάτων της κλινικής εξέτασης. Ο εικονικός φάκελος αποτελεί το υπερσύνολο της πληροφορίας με την οποία πρέπει να τροφοδοτηθεί κάποιο σύστημα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Για την αποδοτική λειτουργία του περιβάλλοντος θα αναπτυχθεί ένας μηχανισμός αντιστοίχισης της πληροφορίας του φακέλου σε υποσύνολα που θα είναι άμεσα αξιοποιήσιμα από κάθε διακριτό σύστημα.

- Ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου απόκρισης για αιτήσεις υποστήριξης αποφάσεων

Καθώς η ταχύτητα απόκρισης ενός ΣΥΚΑ προβάλλεται ως ο σημαντικότερος παράγοντας επιτυχίας από την πλευρά του χρήστη (βλ. Κεφάλαιο 1), ένας από τους βασικότερους στόχους του περιβάλλοντος είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου απόκρισης για αιτήσεις υποστήριξης αποφάσεων από πολλαπλά ΣΥΑ. Η επίτευξη του στόχου αυτού προϋποθέτει την «ενορχήστρωση» των διαθέσιμων υπολογιστικών πόρων με βάση ένα δυναμικό μηχανισμό χρονοδρομολόγησης που θα αξιοποιεί πληροφορίες σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση του κατανεμημένου περιβάλλοντος. Ο μηχανισμός αυτός επιμερίζει κάθε αίτηση σε διακριτές υπό-εργασίες και θα αναθέτει κάθε υπό-εργασία στον πλέον κατάλληλο απομακρυσμένο ή τοπικό υπολογιστικό πόρο με γνώμονα την τελική ικανοποίηση του χρήστη αναφορικά με την ταχύτητα απόκρισης του συστήματος.

- Υποστήριξη αποφάσεων στο χώρο και κατά το χρόνο λήψης των αποφάσεων

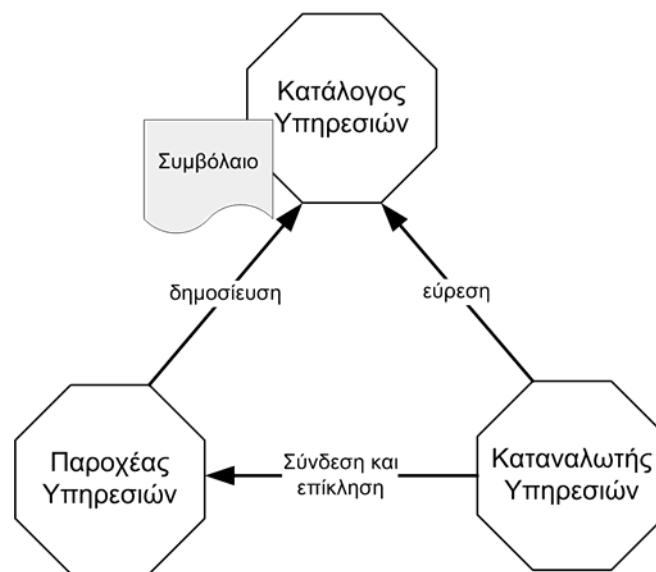
Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική επιτρέπει τη χρήση απλών εφαρμογών γραφείου, λογισμικού πλοήγησης (web browser) και εφαρμογών Pocket PC για την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον υποστήριξης αποφάσεων, χωρίς να απαιτείται η εγκατάσταση ιδιαίτερου υλικού ή λογισμικού στο χώρο λήψης των αποφάσεων, δηλαδή το χώρο αντιμετώπισης του κλινικού περιστατικού (π.χ. τμήμα επειγόντων περιστατικών, ΜΕΘ κ.λ.π.). Συνεπώς, διευκολύνεται η πρόσβαση των ιατρών στην παρεχόμενη λειτουργικότητα μέσω ενός απλού σταθμού εργασίας ή Pocket PC, κάτι που συμβάλλει αποφασιστικά στην ικανοποίηση της απαίτησης για υποστήριξη αποφάσεων στο χώρο και κατά το χρόνο λήψης των αποφάσεων, όπως παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 1.

- Προστασία των ευαίσθητων ιατρικών δεδομένων

Η κατανεμημένη επεξεργασία αιτήσεων για υποστήριξη αποφάσεων δεν θα πρέπει να θέτει σε κίνδυνο την ασφάλεια και την εμπιστευτικότητα ευαίσθητων ιατρικών δεδομένων του ασθενή. Για το σκοπό αυτό θα υποστηριχτούν τεχνολογίες αιχμής ως προς την ασφάλεια των δεδομένων σε κατανεμημένα περιβάλλοντα, όπως η κρυπτογράφηση των αιτήσεων και η εξάλειψη πληροφορίας που μπορεί να οδηγήσει στην ταυτοποίηση του ασθενή.

10.2. Χαρακτηριστικά της υπηρεσιο-στρεφούς αρχιτεκτονικής

Το ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων δομείται με βάση τις αρχές της υπηρεσιο-στρεφούς αρχιτεκτονικής (Service Oriented Architecture – SOA). Η υπηρεσιο-στρεφής αρχιτεκτονική (SOA) αποτελεί ένα υπόδειγμα για την οργάνωση και την υλοποίηση καταναμημένων ικανοτήτων, οι οποίες ενδέχεται να υπόκεινται στον έλεγχο διαφορετικών τομέων ιδιοκτησίας [1]. Η αρχιτεκτονική SOA παρέχει έναν ενιαίο τρόπο προσφοράς, εντοπισμού και αλληλεπίδρασης με τις καταναμημένες ικανότητες, ώστε να παραχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα σύμφωνα με μετρήσιμες προσυνθήκες και προσδοκίες.



Σχήμα 10-1: Υπηρεσιο-στρεφής αρχιτεκτονική (SOA)

Η κεντρική έννοια του μοντέλου SOA είναι η υπηρεσία (service), που αποτελεί το μηχανισμό που επιτρέπει στις ανάγκες ενός καταναλωτή (consumer) να προσεγγίσουν τις ικανότητες που προσφέρει ένας παροχέας (provider). Η αλληλεπίδραση ανάμεσα στις υπηρεσίες πραγματοποιείται με τη χρήση καλά ορισμένων διεπαφών και συμβολαίων. Οι διεπαφές των υπηρεσιών (service interfaces) παρέχουν έναν «ουδέτερο» τρόπο αλληλεπίδρασης με τις υπηρεσίες, ανεξάρτητα από την πλατφόρμα υλικού, το λειτουργικό σύστημα και τη γλώσσα προγραμματισμού που έχουν χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση της υπηρεσίας, ενώ τα συμβόλαια (service contracts) εκφράζουν τη συμφωνία ανάμεσα σε δύο ή περισσότερους συμμετέχοντες. Ο παροχέας καταχωρεί την περιγραφή των υπηρεσιών που προσφέρει σε έναν κατάλογο υπηρεσιών (service registry), μέσω του οποίου ο καταναλωτής μπορεί να εντοπίζει τις υπηρεσίες που τον ενδιαφέρουν (Σχήμα 10-1: Υπηρεσιο-στρεφής αρχιτεκτονική (SOA)). Το βασικό πλεονέκτημα της υπηρεσιο-στρεφούς

αρχιτεκτονικής είναι η «χαλαρή» σύζευξη ανάμεσα στις υπηρεσίες, η οποία καθιστά ένα σύστημα ευμετάβλητο και προσαρμοστικό στις αλλαγές της δομής και της υλοποίησης στο «εσωτερικό» κάθε υπηρεσίας. Επιπλέον, η αρχιτεκτονική SOA παρέχει αυξημένες δυνατότητες κλιμάκωσης, καθώς κάνει τις λιγότερες δυνατές υποθέσεις σχετικά με το δίκτυο των συστημάτων που ολοκληρώνει.

Συνοπτικά, μπορούμε να αναφέρουμε ότι η υπηρεσιο-στρεφής αρχιτεκτονική υιοθετήθηκε για το ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων, καθώς επιτρέπει τη σύνθεση ολοκληρωμένων συστημάτων από αυτόνομες υπηρεσίες. Επίσης, εγγυάται την επεκτασιμότητα και την προσαρμοστικότητα των συστημάτων σε μεταβαλλόμενες ανάγκες, κάτι που είναι ιδιαίτερα αναγκαίο σε εφαρμογές που στοχεύουν το χώρο της υγείας, καθώς οι έννοιες και οι διαδικασίες του μεταβάλλονται με ραγδαίο ρυθμό. Η υπηρεσιο-στρεφής αρχιτεκτονική επιτρέπει την αυτόνομη ανάπτυξη και επέκταση των υπηρεσιών που συνθέτουν το ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα την απρόσκοπτη λειτουργία του, καθώς αυτή βασίζεται στην περιγραφή των υπηρεσιών και στην αμοιβαία συμμόρφωση προς τα συμβόλαια. Επιπλέον, επιτρέπει τη διαλειτουργικότητα υπηρεσιών που υπόκεινται στον έλεγχο διαφορετικών τομέων, καθιστώντας έτσι δυνατή την επίλυση προβλημάτων αρμοδιότητας ή ιδιοκτησίας των δεδομένων.

10.3. Οι τέσσερις αρχές της υπηρεσιο-στρεφούς αρχιτεκτονικής

Καθώς η υπηρεσιο-στρεφής αρχιτεκτονική αποτελεί ένα υπόδειγμα σχεδίασης υπολογιστικών συστημάτων, η επιτυχής εφαρμογή της μπορεί να διασφαλιστεί μέσω της συμμόρφωσης σε ένα σύνολο αρχών και κανόνων σχεδίασης. Ο Don Box συνοψίζει τις εξής τέσσερις βασικές αρχές της υπηρεσιο-στρεφούς ανάπτυξης συστημάτων [2]:

- Οι υπηρεσίες έχουν σαφή όρια

Οι υπηρεσίες αλληλεπιδρούν μέσω της ανταλλαγής μηνυμάτων μεταξύ των ορίων της δικαιοδοσίας τους και καμία υπόθεση δεν μπορεί να γίνει για το τι συμβαίνει πίσω από το σύνορο μιας υπηρεσίας. Το σύνορο αντιπροσωπεύει τη διαχωριστική γραμμή ανάμεσα στη δημόσια διεπαφή της υπηρεσίας και στην εσωτερική, ιδιωτική υλοποίησή της. Καθώς οι

υπηρεσίες μπορεί να εξαπλώνονται κατά μήκος μεγάλων γεωγραφικών αποστάσεων, πολλαπλών αρχών εμπιστοσύνης και διαφορετικών περιβάλλοντων εκτέλεσης, η διάσχιση των συνόρων τους έχει μεγάλο κόστος. Συνεπώς, η υπηρεσιο-στρεφής αρχιτεκτονική βασίζεται στην ανταλλαγή μηνυμάτων ανάμεσα στα όρια των υπηρεσιών, κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα την αλληλεπίδραση ανεξάρτητα από την πλατφόρμα υλικού, το λειτουργικό σύστημα και τη γλώσσα προγραμματισμού που έχουν χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση των άλλων υπηρεσιών.

- Αυτονομία των υπηρεσιών

Οι υπηρεσίες είναι αυτόνομες οντότητες, που αναπτύσσονται, παραλλάσσονται και υπόκεινται σε διαχείριση ανεξάρτητα η μία από την άλλη και χωρίς το συντονισμό κάποιας κεντρικής αρχής. Η τοπολογία μέσα στην οποία εκτελούνται οι υπηρεσίες εξελίσσεται χρονικά, συνεπώς η υλοποίηση δεν μπορεί να βασίζεται σε υποθέσεις σχετικά με το τι συμβαίνει στο χώρο ανάμεσα στις υπηρεσίες που αλληλεπιδρούν. Ειδικότερα, θα πρέπει να ενσωματώνει μια «απαισιόδοξη» αντιμετώπιση των πραγμάτων: η δικτυακή σύνδεση ανάμεσα στις υπηρεσίες μπορεί να παρουσιάσει προβλήματα, η εκτέλεση μιας υπηρεσίας να αποτύχει ή να αποστέλλονται κακόβουλα μηνύματα μέσα στο περιβάλλον. Η σχεδίαση πρέπει να προβλέπει αυτές τις περιπτώσεις και να παρέχει τους κατάλληλους μηχανισμούς αντιμετώπισης.

- Οι υπηρεσίες μοιράζονται το σχήμα και το συμβόλαιο και όχι κλάσεις

Οι υπηρεσίες δημοσιεύουν το συμβόλαιο που περιγράφει τη δομή των μηνυμάτων που μπορούν να στείλουν ή να δεχτούν, καθώς και περιορισμούς πάνω στη δομή του μηνύματος και αλληλεπιδρούν με βάση τα συμβόλαια αυτά. Η τυπικότητα της περιγραφής του συμβολαίου επιτρέπει τον έλεγχο της εγκυρότητας των εισερχόμενων μηνυμάτων, με αποτέλεσμα την προστασία της ακεραιότητας της υπηρεσίας. Τα συμβόλαια και το σχήμα πρέπει να παραμένουν αναλλοίωτα, καθώς η διάδοση τυχόν αλλαγών σε όλους όσους χρησιμοποιούν μια υπηρεσία είναι σχεδόν αδύνατη. Αυτό επιβάλλει αυξημένη ευελιξία στον ορισμό του σχήματος και του συμβολαίου, π.χ. με χρήση στοιχείων `xsd:any` στο σχήμα.

- Η συμβατότητα των υπηρεσιών καθορίζεται μέσω πολιτικών

Τόσο οι παροχείς, όσο και οι καταναλωτές των υπηρεσιών ορίζουν πολιτικές για την αλληλεπίδραση ανάμεσά τους. Για παράδειγμα, ο παροχέας μπορεί να απαιτεί ο καταναλωτής να έχει έναν έγκυρο λογαριασμό για να χρησιμοποιεί την υπηρεσία ή ο καταναλωτής να επιτρέπεται να ενεργοποιήσει μόνο υπηρεσίες που χρησιμοποιούν κρυπτογράφηση. Οι πολιτικές στοχεύουν στο διαχωρισμό της συμβατότητας σε επίπεδο δομών (τι πληροφορία ανταλλάσσεται) από τη σημασιολογική συμβατότητα (με ποιόν τρόπο ανταλλάσσονται οι πληροφορίες, σε ποιόν απευθύνεται ένα μήνυμα κ.λ.π.).

10.4. Χαρακτηριστικά του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος

Το ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων συντίθεται από ένα σύνολο αυτόνομων υπηρεσιών, οι οποίες συνεργάζονται για την παροχή υποστήριξης αποφάσεων στο χώρο και κατά το χρόνο λήψης των αποφάσεων. Κάθε υπηρεσία παρέχει μια καλά ορισμένη διεπαφή υπηρεσίας ιστού (web service) για την αλληλεπίδραση με τις λειτουργίες της.

Στη συνέχεια συνοψίζονται τα βασικότερα χαρακτηριστικά της σχεδίασης του περιβάλλοντος:

- Επεκτασιμότητα

Η σχεδίαση του περιβάλλοντος παρέχει την απαιτούμενη ευελιξία, ώστε οι υπηρεσίες να μπορούν να επεκτείνονται και να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες του συστήματος παροχής ιατρικών υπηρεσιών. Οι δυνατότητες επέκτασης του περιβάλλοντος καλύπτουν ποικιλόμορφες ανάγκες, όπως :

- ✓ Προσθήκη νέων συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων
- ✓ Προσθήκη νέων υπολογιστικών πόρων
- ✓ Επέκταση των κανόνων αυτόματης ενεργοποίησης των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων
- ✓ Ενσωμάτωση νέων πηγών πληροφορίας στον «εικονικό» ιατρικό φάκελο

- Ευελιξία

Η σχεδίαση επιτρέπει την παραμετροποίηση του συστήματος και την τροποποίηση της εσωτερικής λειτουργίας των υπηρεσιών. Κάθε υπηρεσία παρέχει τις λειτουργίες της μέσω καλά ορισμένων διεπαφών, οι οποίες δεν αλλάζουν και επιτρέπουν την τροποποίηση ή την επέκταση της εσωτερικής υλοποίησης των υπηρεσιών, διατηρώντας ταυτόχρονα την απρόσκοπτη λειτουργία του περιβάλλοντος.

- Διαλειτουργικότητα

Η ανεξαρτησία από πλατφόρμες υλικού και λογισμικού είναι δομικό στοιχείο της σχεδίασης του περιβάλλοντος. Κάθε υπηρεσία μπορεί να «στεγάζεται» σε διαφορετικό περιβάλλον, π.χ. η Υπηρεσία Επεξεργασίας Αιτήσεων είναι πιθανόν να περιλαμβάνει μια συστοιχία υπολογιστών που χρησιμοποιεί το λειτουργικό σύστημα Linux, ενώ η Υπηρεσία Δρομολόγησης Αιτήσεων να είναι εγκατεστημένη σε ένα δικτυακό εξυπηρετητή με λειτουργικό σύστημα Windows. Η διαλειτουργικότητα εξασφαλίζεται μέσω της χρήσης τεχνολογίας υπηρεσιών ιστού (web services) και του ελέγχου της συμμόρφωσης προς το Βασικό Προφίλ (Basic Profile) του οργανισμού Web Service Interoperability (WS-I).

- Ευρεία υιοθέτηση προτύπων

Το ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων αξιοποιεί ένα ευρύτατο σύνολο από διεθνείς προδιαγραφές και πρότυπα, όπως οι προδιαγραφές των οργανισμών World Wide Web Consortium (W3C), Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS) και Web Service Interoperability (WS-I) για τις υπηρεσίες ιστού, το πρότυπο ASTM E2369-05 για τον ηλεκτρονικό ιατρικό φάκελο και διεθνείς ιατρικές κωδικοποιήσεις (SNOMED-CT, ICD-9).

- Ασφάλεια

Στο πλαίσιο του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων, υλοποιούνται οι τρέχουσες προδιαγραφές ασφάλειας για τις υπηρεσίες ιστού, όπως οι προδιαγραφή WS-Security του οργανισμού OASIS, ενώ επιβάλλεται συμμόρφωση προς το Βασικό Προφίλ Ασφάλειας του οργανισμού WS-I. Οι παρεχόμενες τεχνολογίες ασφάλειας

επιτρέπουν την ευέλικτη υλοποίηση των μηχανισμών ασφάλειας, ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε υλοποίησης του περιβάλλοντος.

10.5. Αρχιτεκτονική του περιβάλλοντος

Το ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης αποφάσεων συντίθεται από το παρακάτω σύνολο αυτόνομων υπηρεσιών και υποσυστημάτων:

1. Υπηρεσία Εικονικού Ιατρικού Φακέλου
2. Υπηρεσία Ενεργοποίησης Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων
3. Υπηρεσία Δρομολόγησης Αιτήσεων
4. Υπηρεσίες Επεξεργασίας Αιτήσεων
5. Υπηρεσία Αποδεικτικής Ιατρικής
6. Υποσύστημα Διεπαφής Χρήστη

10.5.1. Υπηρεσία Εικονικού Ιατρικού Φακέλου

Η τροφοδότηση των διαθέσιμων συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων με την κατάλληλη κλινική πληροφορία προϋποθέτει τη συλλογή πληροφοριών από ετερογενείς, κατανεμημένες πηγές εντός του νοσοκομείου και τη σύνθεσή της σε μια κοινή κωδικοποίηση. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει τη σημασιολογική διαλειτουργικότητα ανάμεσα στις υπηρεσίες του περιβάλλοντος, καθώς χρησιμοποιείται μια ενιαία και καλά ορισμένη κωδικοποίηση των στοιχείων του κλινικού περιστατικού, ενώ καθιστά δυνατή την αυτοματοποιημένη επεξεργασία των πληροφοριών. Η Υπηρεσία Εικονικού Ιατρικού Φακέλου (ΕΙΦ) αποτελεί το σημείο συγκέντρωσης και διαχείρισης της κλινικής πληροφορίας, η οποία παρέχεται σε άλλες υπηρεσίες με στόχο την επεξεργασία της. Για το σκοπό αυτό εισάγεται η έννοια του Εικονικού Φακέλου, ο οποίος αποτελεί το «χώρο» αποθήκευσης όλης της διαθέσιμης πληροφορίας σχετικά με τον ασθενή, η οποία διατηρείται κωδικοποιημένη σε μια μεταφέρσιμη και αυτό-περιγραφική μορφή, σύμφωνα με διεθνή πρότυπα για τον ηλεκτρονικό ιατρικό φάκελο. Η Υπηρεσία δέχεται αιτήσεις για τη δημιουργία ή ενημέρωση των φακέλων, μετασχηματίζει τις αιτήσεις στην κοινή κωδικοποίηση, ενημερώνει τα αρχεία των φακέλων και δημοσιεύει τις αλλαγές στους

φακέλους προς άλλες υπηρεσίες, που καταχωρούνται ως συνδρομητές της. Οι πηγές ενημέρωσης των φακέλων μπορούν να περιλαμβάνουν εφαρμογές διασύνδεσης πρωτοκόλλου HL7 για την ενημέρωση των φακέλων από Εργαστηριακά ή Νοσοκομειακά Πληροφοριακά Συστήματα, το Υποσύστημα Διεπαφής χρήστη για τη δημιουργία ή ενημέρωση φακέλου με βάση τα στοιχεία της κλινικής εξέτασης κ.α.

10.5.2. Υπηρεσία Ενεργοποίησης Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων

Καθώς η αυτόματη παροχή υποστήριξης αποφάσεων ως μέρος της υπάρχουσας ροής εργασιών αποτελεί έναν από τους βασικότερους παράγοντες επιτυχίας των κλινικών ΣΥΑ, ο ρόλος της Υπηρεσίας Ενεργοποίησης ΣΥΑ είναι η αυτόματη ενεργοποίηση ενός ή περισσότερων συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων με βάση την κλινική πληροφορία που περιέχεται στους Εικονικούς Ιατρικούς Φακέλους και κανόνες που διατυπώνονται από τους κλινικούς ιατρούς. Η Υπηρεσία Ενεργοποίησης καταχωρείται ως συνδρομητής της Υπηρεσίας Εικονικού Ιατρικού Φακέλου, ενημερώνεται αυτόματα για αλλαγές στους φακέλους και αποφασίζει για την ενεργοποίηση των συστημάτων με βάση ένα «έμπειρο» σύστημα που χρησιμοποιεί ορθή (προς τα εμπρός) αλυσίδα συλλογισμών.

10.5.3. Υπηρεσία Δρομολόγησης Αιτήσεων

Η Υπηρεσία Δρομολόγησης Αιτήσεων αποτελεί το «συντονιστή» του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος υποστήριξης αποφάσεων, καθώς δέχεται αιτήσεις για υποστήριξη αποφάσεων από άλλες υπηρεσίες, τις προωθεί για επεξεργασία σε τοπικούς ή απομακρυσμένους υπολογιστικούς πόρους και επιστρέφει τη σύνθεση των αποτελεσμάτων στις υπηρεσίες ενεργοποίησης. Η σημαντικότερη συμβολή της αφορά στην επίτευξη του στόχου της ελαχιστοποίησης του συνολικού χρόνου απόκρισης των συστημάτων, καθώς αναλαμβάνει το μετασχηματισμό των αιτήσεων για υποστήριξη αποφάσεων από πολλαπλά συστήματα σε ανεξάρτητες υπό-εργασίες και τη βέλτιστη ανάθεση των υπό-εργασιών σε υπολογιστικούς πόρους με βάση έναν αλγόριθμο χρονοδρομολόγησης. Η λειτουργικότητα της Υπηρεσίας περιλαμβάνει μεταξύ άλλων το μετασχηματισμό της κοινής κωδικοποίησης του εικονικού φακέλου στις εξειδικευμένες κωδικοποιήσεις κάθε επιμέρους συστήματος υποστήριξης αποφάσεων, την παρακολούθηση των πόρων του περιβάλλοντος με στόχο την

επιτυχή χρονοδρομολόγηση των εργασιών, την ασύγχρονη ενεργοποίηση των υπηρεσιών επεξεργασίας αιτήσεων και τη σύνθεση των αποτελεσμάτων σε μια ενιαία κωδικοποίηση. Εκτός από το στόχο της απόδοσης των συστημάτων, η Υπηρεσία διασφαλίζει και την επεκτασιμότητα του περιβάλλοντος, καθώς παρέχει μια ενιαία διεπαφή προς τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων, διευκολύνοντας την ενσωμάτωση νέων υπολογιστικών πόρων και μελλοντικών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων. Η ολοκλήρωση νέων υπολογιστικών πόρων απαιτεί την ανάπτυξη μιας μόνο διεπαφής προς την Υπηρεσία Δρομολόγησης και όχι πολλαπλών διεπαφών προς τις άλλες υπηρεσίες ή υποσυστήματα.

10.5.4. Υπηρεσίες Επεξεργασίας Αιτήσεων

Η Υπηρεσία Επεξεργασίας Αιτήσεων αποτελεί τη δημόσια διεπαφή κάθε υπολογιστικού πόρου που συμμετέχει στο περιβάλλον. Η υπηρεσία «κρύβει» τις λεπτομέρειες της υλοποίησης των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων και παρέχει μια ενιαία διεπαφή για την αλληλεπίδραση των άλλων υπηρεσιών με τα συστήματα. Ειδικότερα, παρέχει τη Διεπαφή Εργασιών για την αποστολή κατάλληλα κωδικοποιημένων αιτήσεων προς τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων που εξυπηρετούνται από τη Υπηρεσία, και τη Διεπαφή Παρακολούθησης, η οποία παρέχει στην Υπηρεσία Δρομολόγησης τις απαραίτητες πληροφορίες για τη δομή και την τρέχουσα κατάσταση των υπολογιστικών πόρων, οι οποίες αξιοποιούνται με στόχο τη βέλτιστη χρονοδρομολόγηση των αιτήσεων προς τους πόρους του περιβάλλοντος.

10.5.5. Υπηρεσία Αποδεικτικής Ιατρικής

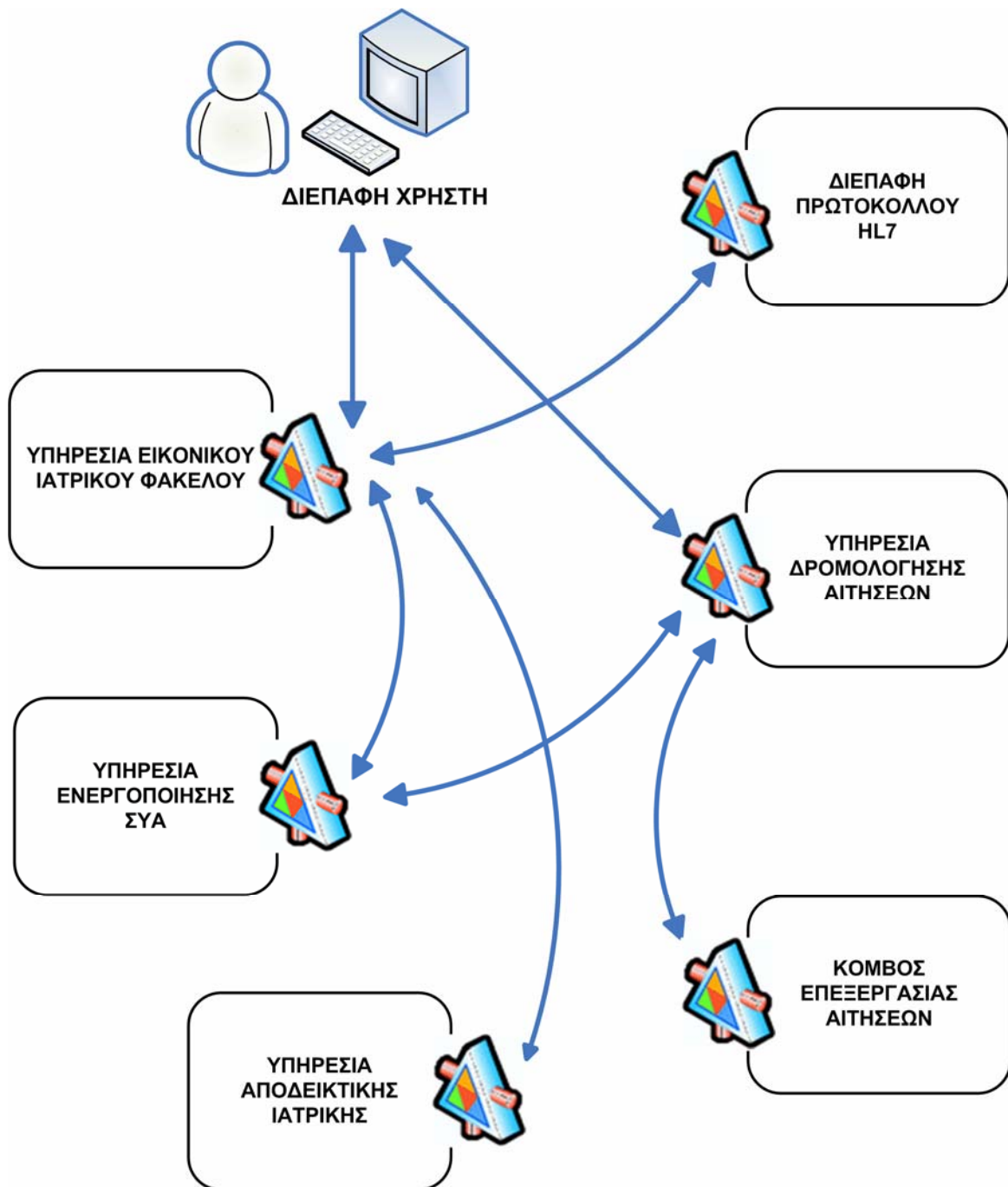
Η Υπηρεσία Αποδεικτικής Ιατρικής αναλαμβάνει την αυτόματη ανάκτηση τεκμηρίωσης από τη βάση δεδομένων PubMed, με βάση τα περιεχόμενα του Εικονικού Ιατρικού Φακέλου. Ο κλινικός ιατρός μπορεί να επιθεωρήσει τα αποτελέσματα της αυτόματης αναζήτησης και να τροποποιήσει την αρχική ερώτηση, η οποία ενδέχεται να είναι ασαφής, ώστε να προχωρήσει σε πιο εστιασμένες ερωτήσεις. Ο στόχος της Υπηρεσίας είναι να παρέχει ένα εργαλείο για την ενσωμάτωση των πρακτικών της Αποδεικτικής Ιατρικής στην κλινική πράξη, καθώς ο υπερβολικός χρόνος που απαιτείται για την αναζήτηση και η δυσκολία τροποποίησης της αρχικής ερώτησης αποτελούν τα σημαντικότερα εμπόδια για μια ιατρική βασισμένη σε τεκμαρτά στοιχεία. Η Υπηρεσία Αποδεικτικής Ιατρικής

καταχωρείται ως συνδρομητής της Υπηρεσίας Εικονικού Ιατρικού Φακέλου, ενημερώνεται αυτόματα για αλλαγές στους φακέλους και εκτελεί αναζητήσεις στα περίπου 13 εκατομμύρια - το 2006 - αναφορές της ηλεκτρονικής βιβλιοθήκης PubMed με βάση τις διαγνώσεις που περιέχονται στον Εικονικό Ιατρικό Φάκελο.

10.5.6. Υποσύστημα Διεπαφής Χρήστη

Το Υποσύστημα Διεπαφής Χρήστη επιτρέπει την αλληλεπίδραση του χρήστη με το ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων. Το Υποσύστημα στοχεύει στην ενσωμάτωση της διεπαφής χρήστη σε εφαρμογές γραφείου, λογισμικό πλοήγησης και εφαρμογές Pocket PC, με στόχο την αλληλεπίδραση με το σύστημα χωρίς να απαιτείται η εγκατάσταση υλικού ή λογισμικού ιδιαίτερων απαιτήσεων στο χώρο λήψης των αποφάσεων.

Στο Σχήμα 10-2: *Υπηρεσιο-στρεφής αρχιτεκτονική του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος* απεικονίζεται η υπηρεσιο-στρεφής αρχιτεκτονική του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος, καθώς και οι επικρατέστεροι διάλογοι επικοινωνίας ανάμεσα στις υπηρεσίες.



Σχήμα 10-2: Υπηρεσιο-στρεφής αρχιτεκτονική του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος

10.6. Τεχνολογίες για την ολοκλήρωση των υπηρεσιών

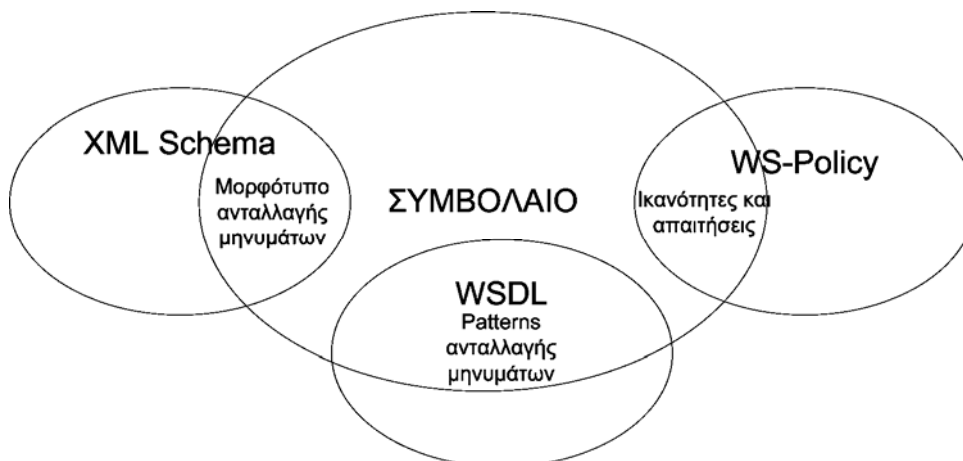
Η υπηρεσιο-στρεφής σχεδίαση της αρχιτεκτονικής υλοποιείται με χρήση τεχνολογιών αιχμής και με βάση τους ακόλουθους άξονες:

- Ορισμός της δημόσιας διεπαφής των υπηρεσιών

Η περιγραφή της δημόσιας διεπαφής των υπηρεσιών γίνεται με χρήση της Γλώσσας Περιγραφής Υπηρεσιών Ιστού (Web Service Description Language - WSDL) [3]. Η γλώσσα WSDL βασίζεται στην XML και περιγράφει τις λειτουργίες που υλοποιεί μια υπηρεσία ιστού (port types), τα μηνύματα που χρησιμοποιεί για την ανταλλαγή δεδομένων (messages), τους τύπους δεδομένων που χρησιμοποιεί (types), καθώς και τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία (bindings). Οι υπηρεσίες και τα μηνύματα περιγράφονται με έναν αφαιρετικό τρόπο, ανεξάρτητα από το πρωτόκολλο επικοινωνίας που υλοποιείται κάθε φορά, έτσι ώστε οι ορισμοί τους να είναι επαναχρησιμοποιήσιμοι. Ο σαφής ορισμός των δημοσίων διεπαφών των υπηρεσιών με χρήση της γλώσσας WSDL και των τύπων της γλώσσας XML Schema συνθέτει το συμβόλαιο των λειτουργικών απαιτήσεων των υπηρεσιών του κατανεμημένου περιβάλλοντος υποστήριξης αποφάσεων, το οποίο διασφαλίζει την μεταξύ τους επικοινωνία, ανεξάρτητα από περιβάλλον υλοποίησής τους.

- Ορισμός των πολιτικών των υπηρεσιών

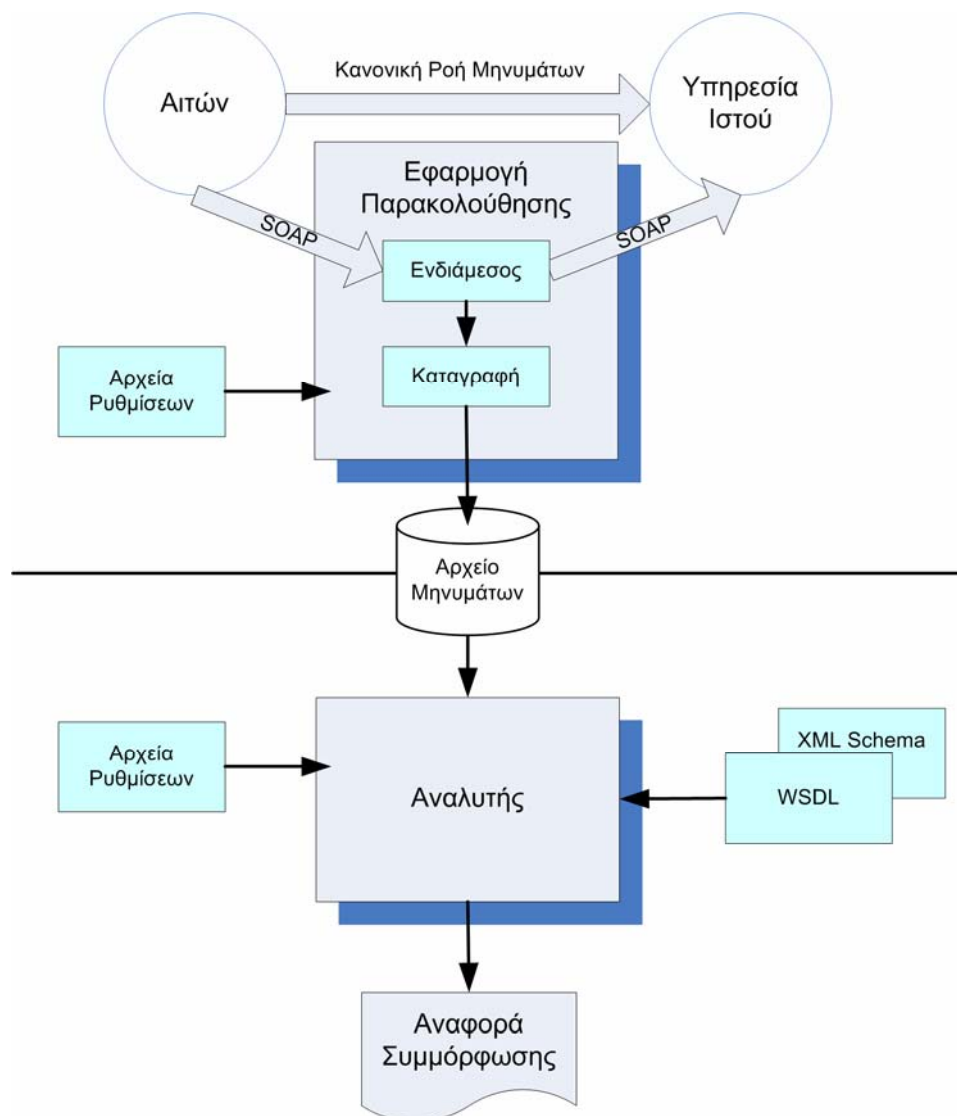
Για τον ορισμό των μη λειτουργικών απαιτήσεων των υπηρεσιών, όπως οι απαιτήσεις ασφαλείας, υιοθετήθηκε η προδιαγραφή WS-Policy [4], η οποία παρέχει μια επεκτάσιμη γραμματική για τον ορισμό ικανοτήτων, απαιτήσεων και άλλων χαρακτηριστικών μιας υπηρεσίας ιστού. Ο ορισμός της πολιτικής κάθε υπηρεσίας συμπληρώνει τον ορισμό του συμβολαίου, όπως αυτό νοείται στα πλαίσια μιας υπηρεσιο-στρεφούς αρχιτεκτονικής. Οι τεχνολογίες που συμπληρώνουν το συμβόλαιο απεικονίζονται στο διάγραμμα Venn του Σχήμα 10-3: *Σύνθεση του συμβολαίου των υπηρεσιών*.



Σχήμα 10-3: Σύνθεση του συμβολαίου των υπηρεσιών

- Συμμόρφωση προς το Βασικό Προφίλ του οργανισμού WS-I

Ο οργανισμός Web Services Interoperability (WS-I) στοχεύει στην προώθηση της διαλειτουργικότητας των υπηρεσιών ιστού ανάμεσα σε διαφορετικές πλατφόρμες, λειτουργικά συστήματα και γλώσσες προγραμματισμού. Στο πλαίσιο της αναζήτησης κανόνων που να διασφαλίζουν τη διαλειτουργικότητα, ο οργανισμός WS-I έχει εκδώσει το Βασικό Προφίλ (Basic Profile) [5], το οποίο περιλαμβάνει ένα σύνολο προδιαγραφών για τις υπηρεσίες ιστού, καθώς και οδηγίες και διευκρινήσεις που συνεπικουρούν τη σαφή



Σχήμα 10-4: Έλεγχος της συμμόρφωσης προς το Βασικό Προφίλ WS-I

ερμηνεία των προδιαγραφών αυτών. Επίσης, παρέχει ένα σύνολο εργαλείων για τον έλεγχο της συμμόρφωσης μιας υπηρεσίας ιστού προς το Βασικό Προφίλ. Τα εργαλεία αυτά ακολουθούν μια μη-επεμβατική προσέγγιση και εστιάζουν στην αλληλεπίδραση ανάμεσα

στις υπηρεσίες ιστού και στις εφαρμογές που τις χρησιμοποιούν. Στο Σχήμα 10-4: *Έλεγχος της συμμόρφωσης προς το Βασικό Προφίλ WS-I* απεικονίζεται η χρήση των δύο βασικών εργαλείων για τον έλεγχο της συμμόρφωσης προς το Βασικό Προφίλ WS-I [6].

Η Εφαρμογή Παρακολούθησης «συλλαμβάνει» τα μηνύματα SOAP που διακινούνται ανάμεσα στις αιτούσες εφαρμογές και στην Υπηρεσία Ιστού, την οποία επιθυμούμε να ελέγξουμε ως προς την συμμόρφωση με το Βασικό Προφίλ, τα μετασχηματίζει κατάλληλα και τα καταχωρεί σε ένα Αρχείο Μηνυμάτων για περαιτέρω ανάλυση. Ο Αναλυτής επεξεργάζεται το Αρχείο Μηνυμάτων και παράγει την αναφορά συμμόρφωσης με το Βασικό Προφίλ. Τα εργαλεία που παρέχει ο οργανισμός WS-I χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της συμμόρφωσης του συμβολαίου των υπηρεσιών του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος υποστήριξης αποφάσεων με το Βασικό Προφίλ, ώστε να διασφαλιστεί η μέγιστη δυνατή διαλειτουργικότητα ανάμεσα σε υπηρεσίες που συμμετέχουν στο περιβάλλον.

- Ασφάλεια υπηρεσιών ιστού

Η ασφαλής πρόσβαση στις υπηρεσίες του κατανεμημένου περιβάλλοντος υλοποιείται μέσω της κωδικοποίησης της επικεφαλίδας των διακινούμενων μηνυμάτων σύμφωνα με την προδιαγραφή Ασφάλειας Υπηρεσιών του Παγκοσμίου Ιστού (Web Services Security ή WS-Security) [7]. Η προδιαγραφή WS-Security του οργανισμού OASIS αντικατέστησε τις προδιαγραφές Web Services Security που είχαν αρχικά δημοσιεύσει η IBM σε συνεργασία με τη Microsoft. Οι στόχοι της παραμένουν οι ίδιοι, δηλαδή ο ορισμός ενός αφηρημένου μοντέλου ασφάλειας το οποίο, χρησιμοποιώντας security tokens, ψηφιακές υπογραφές και κρυπτογράφηση προσφέρει ασφάλεια σε όλα τα επίπεδα μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη.

Η προδιαγραφή WS-Security δεν αντιμετωπίζει θέματα, όπως:

- Ο τρόπος με τον οποίο δημιουργούνται τα κλειδιά για την κρυπτογράφηση
- Πως δημιουργούνται οι σχέσεις εμπιστοσύνης με τρίτους
- Δημοσίευση και ανταλλαγή πολιτικών ασφάλειας

Ο πυρήνας της προδιαγραφής Web Services Security είναι το SOAP Message Security, τα βασικά συστατικά μέρη του οποίου είναι:

- **Security Header:** Ένα element στο SOAP header, μέσα στο οποίο μπορούν να βρεθούν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με την ασφάλεια του μηνύματος, όπως είναι τα απαραίτητα πιστοποιητικά ταυτοποίησης, πληροφορίες σχετικά με το ποια τμήματα του μηνύματος είναι κρυπτογραφημένα ή ψηφιακά υπογεγραμμένα, τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται και τα απαραίτητα κλειδιά.
- **Security Tokens:** Μπορεί να είναι ένα όνομα χρήστη μαζί με το αντίστοιχο συνθηματικό σύμφωνα με το OASIS Username Token Profile ή ένα Binary security token (π.χ. ένα ψηφιακό πιστοποιητικό X.509 όπως περιγράφεται στο OASIS X509 Token Profile). Επίσης, είναι δυνατές και αναφορές (SecurityTokenReference) προς tokens σε άλλα σημεία ή και εξωτερικά του μηνύματος
- **Signatures:** Χρήση του XML Digital Signature σε συνδυασμό με κανονικοποίηση του κειμένου όπως αυτή ορίζεται από το Exclusive XML Canonicalization του W3C [8]. Επιτρέπει επίσης τη χρήση μετασχηματισμών στο υπογραφόμενο κείμενο σύμφωνα με το SOAP Message Normalization.
- **Encryption:** Χρήση του XML Encryption [9] για κρυπτογράφηση τμημάτων του SOAP Message
- **Timestamps:** Εισαγωγή χρονοσφραγίδων στο security header.

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, ο στόχος της προδιαγραφής WS-Security είναι να προδιαγράψει ένα μοντέλο ασφάλειας, επιτρέποντας στην εκάστοτε υλοποίηση να επιλέξει το επιθυμητό επίπεδο ασφάλειας. Επιπλέον, για την προώθηση της διαλειτουργικότητας στο επίπεδο της ασφαλούς επικοινωνίας των υπηρεσιών ιστού, ο οργανισμός WS-I έχει δημοσιεύσει την προδιαγραφή “Βασικό Προφίλ Ασφάλειας” (Basic Security Profile). Το Βασικό Προφίλ Ασφάλειας βασίζεται στην προδιαγραφή OASIS WS Security, θέτοντας όμως επιπλέον περιορισμούς στους αλγορίθμους που χρησιμοποιούνται και στην ύπαρξη ή μη ορισμένων στοιχείων XML, με στόχο την πρακτική υλοποίηση της Ασφάλειας Υπηρεσιών του Παγκοσμίου Ιστού. Ειδικότερα, το Βασικό Προφίλ Ασφάλειας προδιαγράφει τα ακόλουθα:

- **HTTPS:** Επιτρέπει τη χρήση μόνο των πρωτοκόλλων TLS 1.1 ή SSL Version 3.0 και επιβάλλει τη χρήση της ακολουθίας κρυπτοθέτησης (ciphersuite) RSA_WITH_AES_128_CBC_SHA
- **Security Tokens:** Χρήση passwords digest ή X.509 ψηφιακών πιστοποιητικών.
- **Digital Signatures:** Επιβάλλει τη χρήση των αλγορίθμων HMAC-SHA1 και RSA-SHA1.
- **Encryption:** Επιβάλλει τη χρήση ενός αλγορίθμου κρυπτογράφησης εκ των 3DES-CBC, AES128-CBC και AES256-CBC.
- **Timestamps:** Η χρήση χρονοσφραγίδων γίνεται υποχρεωτική, με την ακρίβειά τους να φτάνει σε επίπεδο χιλιοστού του δευτερολέπτου.

10.7. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1]. OASIS Reference Model for Service Oriented Architecture 1.0 Public Review Draft 1.0, 10 February 2006 Δικτυακός τόπος: http://www.oasis-open.org/committees/tc_home.php?wg_abbrev=soa-rm
- [2]. D. Box. Code name Indigo: A guide to developing and running connected systems with Indigo. MSDN magazine, 2003. URL: <http://msdn.microsoft.com/msdnmag/>
- [3]. Web Services Description Language (WSDL) 1.1, <http://www.w3.org/TR/wsdl>
- [4]. WS-Policy, <http://msdn.microsoft.com/webservices/default.aspx?pull=/library/en-us/dnglobspec/html/ws-policy.asp>
- [5]. WS-I Basic Profile Version 1.1, <http://www.ws-i.org/Profiles/BasicProfile-1.1-2004-08-24.html>
- [6]. WS-I Testing Tools version 1.1 User Guide, www.ws-i.org
- [7]. Web Services Security: SOAP Message Security 1.0 (WS-Security 2004), OASIS Standard 2004, March 2004. [Online]. Available: <http://docs.oasis-open.org/wss/2004/01/oasis-200401-wss-soap-message-security-1.0.pdf>
- [8]. Exclusive XML Canonicalization Version 1.0, W3C Recommendation 18 July 2002, Διαθέσιμο από την ιστοσελίδα: <http://www.w3.org/TR/2002/REC-xml-exc-c14n-20020718/>
- [9]. XML Encryption Syntax and Processing, W3C Recommendation 10 December 2002, Διαθέσιμο από την ιστοσελίδα: <http://www.w3.org/TR/xmlenc-core/>
- [10]. WS-I Basic Security Profile Version 1.0, Working Group Draft, 2006-01-20, Διαθέσιμο από την ιστοσελίδα: <http://www.ws-i.org/Profiles/BasicSecurityProfile-1.0.html>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11. ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥ ΙΑΤΡΙΚΟΥ ΦΑΚΕΛΟΥ

11.1. Στόχοι της Υπηρεσίας Εικονικού Ιατρικού Φακέλου

Ο βασικός στόχος της Υπηρεσίας Εικονικού Ιατρικού Φακέλου είναι η συλλογή και ολοκλήρωση ιατρικής πληροφορίας σχετικά με ένα κλινικό περιστατικό, η οποία είναι κατακερματισμένη μεταξύ ετερογενών συστημάτων εντός του νοσοκομείου. Η πληροφορία αυτή διατηρείται κωδικοποιημένη με τη μορφή μιας συλλογής εγγράφων XML και είναι διαθέσιμη για την κατάλληλη τροφοδότηση των συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων.

Ο Εικονικός Ιατρικός Φάκελος (ΕΙΦ) σε καμία περίπτωση δεν φιλοδοξεί να αποτελέσει έναν πλήρη ηλεκτρονικό ιατρικό φάκελο (ΗΙΦ) , ο οποίος θα ολοκληρώνει πληροφορία για την κατάσταση της υγείας του ασθενή κατά τη διάρκεια της ζωής του. Το θέμα του ηλεκτρονικού ιατρικού φακέλου αποτελεί διεπιστημονικό αντικείμενο μελέτης και εξαρτάται από διάφορους ετερογενείς παράγοντες, ενώ δεν υπάρχει ευρύτερη συναίνεση για το πως ορίζεται η έννοια και το περιεχόμενο ενός ιατρικού φακέλου [1]. Η χρήση του ΕΙΦ στα πλαίσια του κατανεμημένου περιβάλλοντος στοχεύει περισσότερο στο να αποτελέσει τον αποθηκευτικό χώρο όλων των διαθέσιμων πληροφοριών που αφορούν το τρέχον κλινικό περιστατικό και να τροφοδοτήσει τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων με την απαραίτητη γι' αυτά πληροφορία. Ο προσδιορισμός «εικονικός» υποδηλώνει ότι ο φάκελος αυτός δεν υπάρχει αποθηκευμένος σε κάποιο φυσικό μέσο κατά την έναρξη διαχείρισης ενός κλινικού περιστατικού, αλλά συντίθεται δυναμικά στη συνέχεια από διάφορες κατανεμημένες πηγές εντός του νοσοκομείου.

Ο ΕΙΦ ενός ασθενή μπορεί να ανακτάται από άλλες υπηρεσίες του περιβάλλοντος, οι οποίες μπορούν να καταχωρηθούν ως συνδρομητές στην Υπηρεσία ΕΙΦ και να ενημερώνονται για τυχόν αλλαγές στο περιεχόμενο των φακέλων. Καθώς ο ΕΙΦ προορίζεται για την ανταλλαγή πληροφορίας ανάμεσα στις υπηρεσίες του περιβάλλοντος θα πρέπει να είναι κωδικοποιημένος σε μια μεταφέρσιμη και αυτό-περιγραφική μορφή, δηλαδή σε κάποια κατάλληλη κωδικοποίηση XML. Για την επιλογή της πιο κατάλληλης κωδικοποίησης XML για τη σύνθεση του φακέλου, επιθεωρούμε στη συνέχεια τις βασικές προσπάθειες προτυποποίησης του ηλεκτρονικού ιατρικού φακέλου.

11.2. Πρότυπα Ηλεκτρονικού Ιατρικού Φακέλου

11.2.1. CEN/TC 251

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (European Standards Committee – CEN) έχει δημοσιεύσει ένα PreStandard για την αρχιτεκτονική ηλεκτρονικού ιατρικού φακέλου (Electronic HealthCare Record) με την ονομασία ENV 13606. Αυτό ορίζει γενικές δομές πληροφορίας και χαρακτηριστικά κοινά σε κάθε ηλεκτρονικό ιατρικό φάκελο, δηλαδή ένα λογικό μοντέλο, χωρίς να καθορίζει ακριβώς τι ιατρική πληροφορία θα περιέχει ή πως θα υλοποιηθεί. Το ENV 13606 είναι το μόνο πρότυπο ειδικά για ηλεκτρονικό ιατρικό φάκελο στον κόσμο και παρότι δεν έχει υλοποιηθεί σε κάποιο πληροφοριακό σύστημα, αποτελεί σημείο αναφοράς, ενώ υπάρχουν προσπάθειες συνεργασίας και εναρμονισμού των προδιαγραφών της επιτροπής CEN/TC 251 και άλλων προτύπων, όπως το HL7.

11.2.2. ISO/TC 215

Ο οργανισμός τυποποίησης ISO έχει ιδρύσει την Τεχνική Επιτροπή 215 (TC 215) [2] με στόχο την προτυποποίηση στον τομέα της ιατρικής πληροφορικής (Health Informatics). Ειδικότερα, η ομάδα εργασίας WG1 στοχεύει στην ανάπτυξη προτύπων για τη διαχείριση της ιατρικής πληροφορίας και των ιατρικών διαδικασιών. Η επιδίωξη είναι ένα πρότυπο

ιατρικού φακέλου, όπου η κατάλληλη πληροφορία θα είναι διαθέσιμη όταν και όπου απαιτείται η υποστήριξη κλινικών αποφάσεων. Στις δραστηριότητες της Επιτροπής περιλαμβάνεται η προδιαγραφή ISO 18308 που θέτει τις τεχνικές και κλινικές απαιτήσεις για μια αρχιτεκτονική ηλεκτρονικού ιατρικού φακέλου που να υποστηρίζει τη χρήση, το μοίρασμα και την ανταλλαγή ηλεκτρονικών ιατρικών φακέλων ανάμεσα σε διαφορετικούς τομείς, χώρες, καθώς και διαφορετικά μοντέλα παροχής ιατρικής περίθαλψης. Η προδιαγραφή ISO 18308 δεν καθορίζει την αρχιτεκτονική του φακέλου, αλλά τις απαιτήσεις για την ανάπτυξη μιας τέτοιας αρχιτεκτονικής. Επίσης, έχει εκδοθεί η Τεχνική Αναφορά ISO 20514 που ταξινομεί τους ηλεκτρονικούς ιατρικούς φακέλους σε βασικές κατηγορίες και περιγράφει τα χαρακτηριστικά τους.

11.2.3. HL7

Το Health Level Seven (HL7) είναι ένα σύνολο από ανοιχτά πρότυπα, που επιτρέπει σε ετερογενή ιατρικά πληροφοριακά συστήματα να επικοινωνούν μεταξύ τους. Το HL7 προτυποποιεί τα πρωτόκολλα και τις δομές για την ανταλλαγή μηνυμάτων ιατρικού ενδιαφέροντος στο επίπεδο της εφαρμογής, το 7^ο Επίπεδο του μοντέλου ISO, δηλαδή ανεξάρτητα από συγκεκριμένες πλατφόρμες και τεχνολογίες. Ο οργανισμός HL7 ιδρύθηκε το 1987, ενώ από το 1994 ο οργανισμός ANSI ενέκρινε τον HL7 ως Standards Developing Organization (SDO) και όλες οι εγκεκριμένες εκδόσεις του HL7 από το 1994 και μετά θεωρούνται «αμερικανικά εθνικά πρότυπα». Το πρότυπο έχει μεγάλη διάδοση, κυρίως στις ΗΠΑ, αλλά και σε άλλες χώρες και η έκδοση 2.3 (1997) έχει υλοποιηθεί ευρύτατα.

Οι εκδόσεις HL7 2.x, παρά την ευρύτερη αποδοχή και τις πολλές υλοποιήσεις, παρουσιάζουν αρκετά μειονεκτήματα :

- Δεν υπάρχει ένα λογικό μοντέλο αναφοράς της πληροφορίας, που ανταλλάσσεται στα μηνύματα, ούτε τρόπος αναπαράστασης της σχέσης μεταξύ των δεδομένων.
- Χρησιμοποιεί πολύ ειδική σύνταξη στα μηνύματα, καθιστώντας δύσκολη την εκμάθηση και την υλοποίηση του προτύπου.
- Έχει πολλά προαιρετικά χαρακτηριστικά, κάτι που του παρέχει ευελιξία και συνεισέφερε αποφασιστικά στη διάδοσή του, αλλά που καθιστά σχεδόν αδύνατο τον έλεγχο της συμμόρφωσης των υλοποιήσεων προς το πρότυπο. Έτσι, απαιτείται

μεγάλη προσπάθεια για να εξασφαλιστεί ότι δυο εφαρμογές, που θα «μιλήσουν» μεταξύ τους, χρησιμοποιούν τα ίδια χαρακτηριστικά.

Η έκδοση HL7 Version 3, που βρίσκεται σε εξέλιξη, αντιμετωπίζει τα παραπάνω θέματα, και ειδικότερα :

- Θα είναι το πιο οριστικό πρότυπο HL7, αφήνοντας λίγα περιθώρια για προαιρετικά χαρακτηριστικά.
- Χρησιμοποιεί αντικειμενοστραφή μεθοδολογία.
- Ορίζει ένα κατανοητό και κοινό για όλους μοντέλο πληροφορίας (*Reference Information Model - RIM*), που εκφράζεται σε UML και αποτελεί τη σαφή αναπαράσταση των σχέσεων ανάμεσα στα δεδομένα που ανταλλάσσουν τα μηνύματα.
- Παρέχει μεθόδους για τη χρήση μέσα σε μηνύματα κωδικών και ιατρικών λεξικών από διάφορες εξωτερικές πηγές.
- Παρέχει ένα αξιόπιστο τρόπο αξιολόγησης της συμμόρφωσης μιας συγκεκριμένης υλοποίησης με το πρότυπο HL7.
- Χρησιμοποιεί XML για τη σύνταξη των μηνυμάτων. Η κωδικοποίηση XML δε, έχει ήδη προταθεί για τη σύνταξη των μηνυμάτων HL7 από την έκδοση 2.4.

11.2.4. HL7 Clinical Document Architecture (CDA)

Η προδιαγραφή Clinical Document Architecture (CDA), γνωστή μέχρι πρόσφατα ως Patient Record Architecture (PRA), αποτελεί ένα πρότυπο για τη «σήμανση» (markup) εγγράφων και ορίζει τη δομή και τη σημασιολογία «κλινικών εγγράφων» με στόχο την ανταλλαγή τους [3]. Από το Νοέμβριο του 2000, η προδιαγραφή CDA έχει εγκριθεί ως πρότυπο του οργανισμού ANSI. Τα βασικά χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής CDA είναι:

- Τα κλινικά έγγραφα κωδικοποιούνται σε XML.
- Τα στοιχεία των εγγράφων «αντλούν» το νόημά τους από το μοντέλο πληροφορίας RIM και χρησιμοποιούν τους τύπους δεδομένων του HL7 Version 3, Release 1.
- Η ολοκληρωμένη μορφή θα περιλαμβάνει ένα ιεραρχικό σύνολο από προδιαγραφές εγγράφων: Το 1^ο επίπεδο (Level One) αποτελείται από μια προδιαγραφή Document

Type Definition (DTD) που εφαρμόζεται για όλα τα κλινικά έγγραφα ανεξαρτήτως περιεχομένου, ενώ όλα τα ανώτερα επίπεδα θα ορίζουν ένα διαφορετικό DTD για κάθε τύπο εγγράφου

Η χρήση της κωδικοποίησης XML και του μοντέλου πληροφορίας HL7 RIM από την αρχιτεκτονική CDA καθιστά τα ιατρικά έγγραφα κατανοητά από το ιατρικό προσωπικό, αλλά και άμεσα επεξεργάσιμα από υπολογιστές. Βασική επιδίωξη είναι η ανταλλαγή πιστοποιημένων ιατρικών εγγράφων και η παρουσίασή τους σε λογισμικό πλοήγησης με δυνατότητες επεξεργασίας εγγράφων XML (XML-aware browsers), συσκευές PDA, κινητά τηλέφωνα και άλλες συσκευές.

11.2.5. ASTM Continuity of Care Record (CCR)

Η προδιαγραφή Continuity of Care Record (CCR) [4] αποτελεί από τον Ιανουάριο του 2006 το πρότυπο E2369 του οργανισμού ASTM (American Society for Testing and Materials) International. Το πρότυπο CCR καθορίζει τον πυρήνα της πιο συναφούς πληροφορίας σχετικά με διοικητικά, δημογραφικά και κλινικά δεδομένα του ασθενή και αποτελεί ένα εργαλείο σύνθεσης όλης της διαθέσιμης πληροφορίας αναφορικά με τον ασθενή με στόχο την ανταλλαγή της ανάμεσα σε ιατρούς ή συστήματα. Δεν αποτελεί έναν πλήρη ιατρικό φάκελο που παρακολουθεί την εξέλιξη της υγείας του ασθενή κατά τη διάρκεια της ζωής του, αλλά περισσότερο ένα χρονικό στιγμιότυπο, που αντικατοπτρίζει όσο το δυνατόν καλύτερα την τρέχουσα κατάσταση της υγείας του ασθενή. Τα στοιχεία του φακέλου CCR περιλαμβάνουν μια περίληψη της κατάστασης της υγείας του ασθενή (π.χ. προβλήματα υγείας, φαρμακευτική αγωγή, αλλεργίες) και πληροφορίες σχετικά με ασφαλιστικές καλύψεις, το θεραπευτικό πλάνο κ.α. Τέλος, καθορίζεται μια κωδικοποίηση XML για την ηλεκτρονική μορφοποίηση του φακέλου. Ο κωδικοποιημένος φάκελος μπορεί να προετοιμαστεί, να μεταδοθεί ή να επισκοπηθεί με διάφορους τρόπους, όπως η χρήση λογισμικού πλοήγησης, ως στοιχείο ενός μηνύματος HL7 ή ως ένα έγγραφο συμβατό με την αρχιτεκτονική CDA, σε ένα ασφαλές μήνυμα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, ως αρχείο PDF, HTML ή με χρήση ενός επεξεργαστή κειμένου.

11.3. Στρατηγικές ενημέρωσης εγγράφων XML

Καθώς η Υπηρεσία Εικονικών Ιατρικών Φακέλων διατηρεί μια συλλογή από έγγραφα XML, τα οποία ενημερώνονται με βάση το περιεχόμενο των μηνυμάτων που καλούν την υπηρεσία, θεωρούμε σκόπιμο να συνοψίσουμε τις πρότυπες στρατηγικές για την ενημέρωση εγγράφων XML. Η γλώσσα XQuery [5], που αποτελεί τη σύσταση του World Wide Web Consortium (W3C) για τη διατύπωση ερωτήσεων σε σχέση με το περιεχόμενο εγγράφων XML δεν περιλαμβάνει κάποιο μηχανισμό ενημέρωσης των εγγράφων. Το κενό αυτό προσπαθεί να καλύψει η επέκταση XQuery Update Facility [6], η οποία βρίσκεται στο στάδιο του W3C Working Draft (Ιανουάριος 2006) και θα ενσωματωθεί σε μελλοντικές εκδόσεις της προδιαγραφής XQuery.

Η πρωτοβουλία XML:DB (www.xmldb.org) έχει αναπτύξει τη γλώσσα XUpdate (XML Update Language) [7] για την ενημέρωση εγγράφων XML, η οποία προσφέρει έναν πολύ ευέλικτο τρόπο για εισαγωγή νέων κόμβων σε ένα έγγραφο XML, τροποποίηση της δομής ή του περιεχομένου, καθώς και διαγραφή. Κάθε ενημέρωση στην XUpdate διατυπώνεται σε ένα καλώς σχηματισμένο έγγραφο XML, ενώ χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό οι εκφράσεις της γλώσσας Xpath για την επιλογή στοιχείων του εγγράφου προς ενημέρωση ή επεξεργασία. Ακολουθεί ένα παράδειγμα ενημέρωσης του εγγράφου XML στην XUpdate :

Αρχικό τμήμα του εγγράφου :

```
<addresses>
  <address>
    <town>Los Angeles</town>
  </address>
  <address>
    <town>San Francisco</town>
  </address>
</addresses>
```

Έκφραση της XUpdate :

```
<xupdate:update select="/addresses/address[2]/town">
  New York
</xupdate:update>
```

Τελικό αποτέλεσμα :


```
<addresses>
  <address>
    <town>Los Angeles</town>
  </address>
  <address>
    <town>New York</town>
  </address>
</addresses>
```

Η γλώσσα XUpdate υποστηρίζεται από πληθώρα συστημάτων βάσεων δεδομένων με εγγενή υποστήριξη XML (native XML databases), όπως οι eXist [8], Apache Xindice [9] και το εμπορικό σύστημα X-Hive/DB [10]. Η ομάδα Infozone [11] έχει αναπτύξει το Lexus, μια υλοποίηση της γλώσσας XUpdate γραμμένη εξ' ολοκλήρου σε Java, ενώ στο δικτυακό τόπο <http://www.openvue.net/> διατίθεται ελεύθερα μια υλοποίηση της γλώσσας XUpdate για την πλατφόρμα Microsoft.NET. Η υλοποίηση αυτή προσαρμόστηκε κατάλληλα και χρησιμοποιείται από την Υπηρεσία ΕΙΦ για την ενημέρωση των φακέλων.

11.4. Κωδικοποίηση Εικονικού Ιατρικού Φακέλου

Για την κωδικοποίηση του Εικονικού Ιατρικού Φακέλου επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε ένα έγκυρο υποσύνολο του προτύπου ASTM E2369-05 "Standard Specification for Continuity of Care Record (CCR)" (ASTM CCR). Η επιλογή αυτή μας παρέχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Προτυποποίηση του κλινικού περιεχομένου και όχι μόνο της δομής ή της αρχιτεκτονικής του φακέλου

Το πρότυπο ASTM CCR προδιαγράφει το κλινικό περιεχόμενο και όχι μόνο τη δομή μηνυμάτων ή την αρχιτεκτονική του φακέλου, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα πρότυπα που παρουσιάστηκαν. Επίσης, δε λειτουργεί ανταγωνιστικά με υφιστάμενα πρότυπα που καθορίζουν την αρχιτεκτονική του φακέλου, αλλά αντίθετα μπορεί να χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά με αυτά, π.χ. ένα έγγραφο ASTM CCR μπορεί να περιέχεται σε ένα πιο σύνθετο έγγραφο αρχιτεκτονικής HL7 CDA.

- Αποτελεί ένα πλήρες «στιγμιότυπο» της τρέχουσας κατάστασης υγείας του ασθενή

Το πρότυπο ASTM CCR επιτρέπει τη σύνθεση ιατρικής πληροφορίας από διαφορετικές πηγές σε ένα ενιαίο «στιγμιότυπο» της τρέχουσας κατάστασης υγείας του ασθενή, όπως απαιτείται για την τροφοδότηση των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων. Καθώς δε φιλοδοξούμε να συνθέσουμε έναν «πλήρη» ηλεκτρονικό ιατρικό φάκελο στο πλαίσιο της κατανεμημένης αρχιτεκτονικής, αλλά κυρίως ένα υπερσύνολο των στοιχείων που θα ενεργοποιήσουν τα συστήματα, η δομή και το περιεχόμενο του φακέλου ASTM CCR υπερκαλύπτει τις απαιτήσεις μας με ικανοποιητικό τρόπο.

- Βελτιστοποιημένη απόδοση της επεξεργασίας του παραγόμενου εγγράφου XML

Σε αντίθεση με την αρχιτεκτονική HL7 CDA, το ASTM CCR απαγορεύει στις ιδιότητες των εγγράφων XML (attributes) να περιέχουν πληροφορία – όλα τα δεδομένα πρέπει να περικλείονται σε ετικέτες, με στόχο τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των συντακτικών αναλυτών (parsers) [12]. Έτσι, η δομή του φακέλου CCR επιτρέπει την αποδοτική εξαγωγή πληροφορίας με χρήση μετασχηματισμών XSL-T, κάτι που απαιτείται κατά το μετασχηματισμό του Εικονικού Φακέλου σε ανεξάρτητες υπό-εργασίες στην Πύλη ΣΥΑ.

- Ολοκλήρωση με εφαρμογές γραφείου Microsoft Office ή εφαρμογές Pocket PC

Το πρότυπο ASTM CCR είναι διαθέσιμο με τη μορφή ενός αρχείου XML Schema (.xsd) [13], το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύνθεση εγγράφων σύμφωνα με το πρότυπο, καθώς και για τον έλεγχο της συμμόρφωσης εγγράφων προς αυτό. Η διαθεσιμότητα του προτύπου σε μορφή XSD επιτρέπει την ολοκλήρωση με το οικείο και φιλικό για το χρήστη περιβάλλον εφαρμογών γραφείου, όπως οι εφαρμογές Microsoft Office Infopath, οι οποίες επιτρέπουν την ανάπτυξη οθονών καταχώρησης και επεξεργασίας στοιχείων του ασθενή με βάση δομές XML Schema. Στο συνέδριο του οργανισμού HIMSS (Healthcare Information and Management Systems Society) το 2003 παρουσιάστηκε ένα σενάριο δημιουργίας και ανταλλαγής εγγράφων HL7 CDA (Clinical Document Architecture) με βάση την τεχνολογία Infopath [14]. Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής αναπτύχθηκε πρότυπη γραφική διεπαφή χρήστη για συσκευές

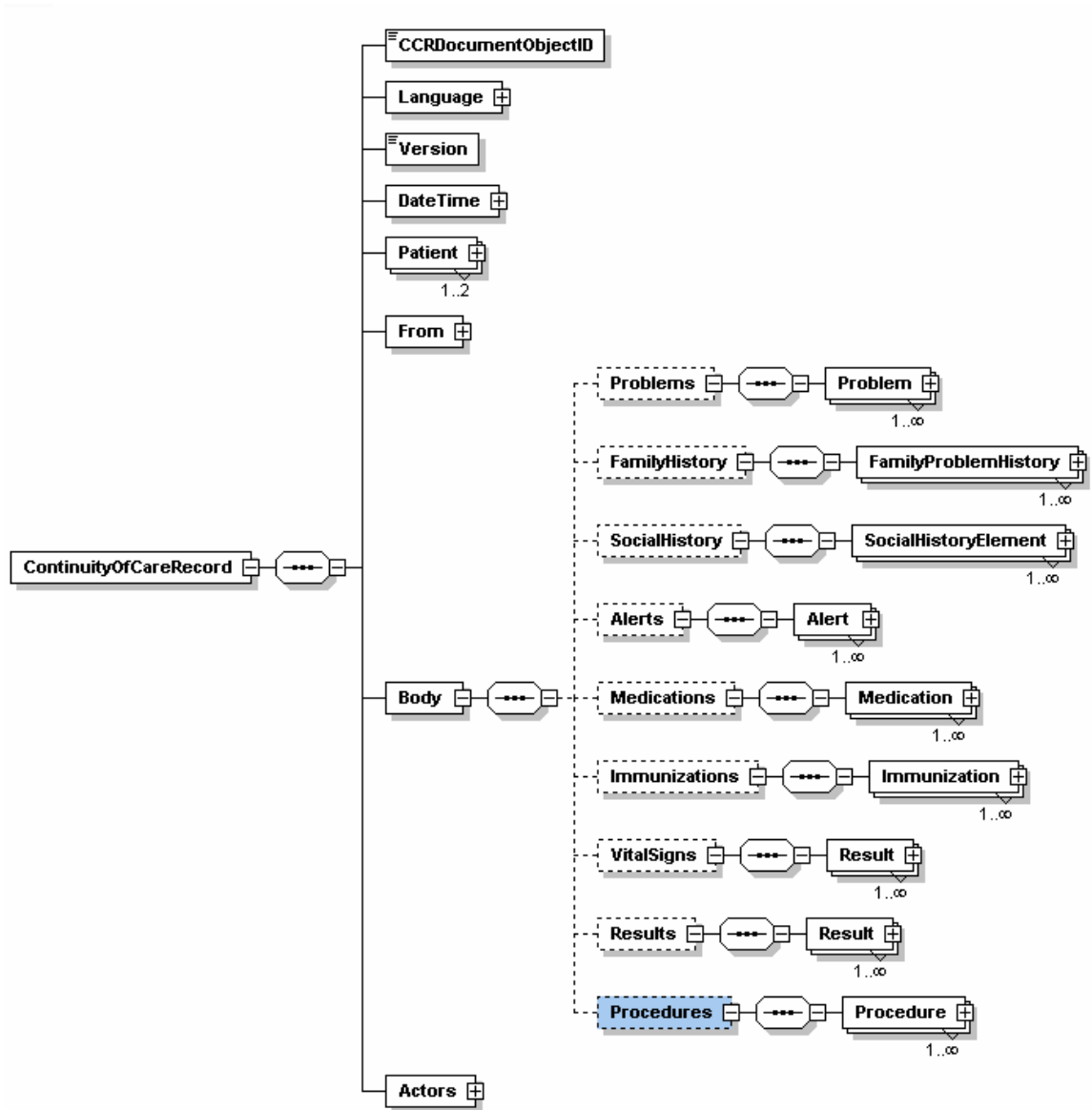
Pocket PC, η οποία δημιουργεί έγγραφα κωδικοποιημένα σύμφωνα με το πρότυπο ASTM CCR, τα οποία και αποστέλλει στην Υπηρεσία Εικονικού Ιατρικού Φακέλου για τη δημιουργία εικονικού φακέλου.

11.5. XML Schema Εικονικού Ιατρικού Φακέλου

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το XML Schema του Εικονικού Ιατρικού Φακέλου αποτελεί ένα υποσύνολο του XML Schema που ορίζει το πρότυπο ASTM E2369-05. Για τη δημιουργία του αφαιρούμε τις πληροφορίες εκείνες που θα μπορούσαν μεν να είναι χρήσιμες για κάποιον ιατρό ο οποίος αντιμετωπίζει μελλοντικά τον ασθενή, αλλά δε συμβάλλουν στην υποστήριξη κλινικών αποφάσεων. Έτσι αφαιρούνται πληροφορίες σχετικά με ασφαλιστικά ταμεία ή εταιρίες, δημογραφικά στοιχεία (εκτός από στοιχεία, όπως το φύλο του ασθενή ή ο μοναδικός αναγνωριστικός κωδικός που του αντιστοιχεί), καθώς και μη-κωδικοποιημένη πληροφορία (σε ελεύθερο κείμενο). Αντίθετα, διατηρούμε όλη τη δομή που αφορά το «στιγμιότυπο» της τρέχουσας κατάστασης υγείας. Επίσης, ορίζουμε τα συστήματα κωδικοποίησης που θα χρησιμοποιηθούν για κάθε ενότητα του φακέλου, προκειμένου να εξασφαλιστεί η μονοσήμαντη αντιστοίχιση της πληροφορίας του φακέλου σε οντότητες των υποσυστημάτων υποστήριξης αποφάσεων με βάση την κωδικοποίηση αυτή. Στη συνέχεια, επεξηγούνται οι βασικότερες ενότητες του τελικού σχήματος του ΕΙΦ (Σχήμα 11-1):

CCRDocumentObjectID: μοναδικός κωδικός αναγνώρισης του αντικειμένου Εικονικού Φακέλου μέσα στο περιβάλλον. Ο κωδικός αυτός δημιουργείται με βάση τον κωδικό του ασθενή και χρησιμεύει για την ανάκτηση του φακέλου από υπηρεσίες-συνδρομητές, καθώς και για την ενημέρωση του φακέλου από την Υπηρεσία ΕΙΦ.

DateTime: Χρονοσφραγίδα (timestamp) δημιουργίας ή της τελευταίας ενημέρωσης του φακέλου



Σχήμα 11-1: XML Schema Εικονικού Ιατρικού Φακέλου

Body: Ενότητα κατάστασης υγείας

Το «σώμα» του φακέλου περιλαμβάνει τις ακόλουθες υπό-ενότητες:

- **Problems (Προβλήματα Υγείας)**

Στην ενότητα αυτή καταγράφονται η παρούσα κλινική εικόνα (συμπτώματα) και οι σχετικές διαγνώσεις. Η προτεινόμενη κωδικοποίηση είναι η ICD9-CM [15].

- **Family History (Οικογενειακό Ιστορικό)**

Περιλαμβάνει κωδικοποιημένη καταγραφή διαγνώσεων για μέλη της οικογένειας του ασθενούς, μαζί με κωδικοποιημένη αναφορά στη σχέση (συγγένεια). Η προτεινόμενη κωδικοποίηση είναι η ICD9-CM.

- **Social History (Κοινωνικό Ιστορικό)**

Στην ενότητα αυτή καταγράφονται κωδικοποιημένες πληροφορίες, όπως το κάπνισμα, η κατανάλωση αλκοόλ ή άλλων τοξικών ουσιών. Η προτεινόμενη κωδικοποίηση είναι η SNOMED-CT.

Παραδείγματα:

Καπνιστής	S-32000
Βαρύς καπνιστής	S-32050
Κατάχρηση αλκοόλ	S-32130

- **Alerts (Ειδοποιήσεις)**

Καταγράφονται οι αλλεργίες με βάση τον αλλεργιογόνο παράγοντα και τα συμπτώματα, με προαιρετική αναφορά στην πηγή και την ημερομηνία της τελευταίας αλλεργικής αντίδρασης ή άλλες ειδοποιήσεις που αφορούν τον ασθενή. Για την κωδικοποίηση των αλλεργιών σε φάρμακα, καθώς και σε μη φαρμακευτικούς παράγοντες προτείνεται η κωδικοποίηση ICD9-CM.

- **Medications (Φαρμακευτική Αγωγή)**

Εδώ καταγράφεται η φαρμακευτική αγωγή του ασθενή, που περιλαμβάνει την εμπορική ονομασία, τη δραστική ουσία, την ημερομηνία έναρξης της αγωγής, τη μορφή του σκευάσματος, τη δοσολογία κ.α. Η προτεινόμενη κωδικοποίηση των φάρμακων είναι η ATC (Anatomical Therapeutic Chemical Classification System) [16] που έχει προταθεί

από την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας και έχει υιοθετηθεί από τον Εθνικό Οργανισμό Φαρμάκων (ΕΟΦ).

▪ **Immunizations (Εμβολιασμός)**

Περιλαμβάνει πληροφορία για τις ασθένειες κατά των οποίων έχει εμβολιαστεί ο ασθενής, την ημερομηνία εμβολιασμού, τον τρόπο χορήγησης, τη δοσολογία κ.α. Προτεινόμενη κωδικοποίηση: ICD9-CM.

▪ **VitalSigns (Βιοσήματα)**

Στην ενότητα αυτή καταγράφονται ζωτικά σημεία και ευρήματα της κλινικής εξέτασης, όπως θερμοκρασία, αρτηριακή πίεση, κορεσμός οξυγόνου στο αίμα, αναπνευστικός ρυθμός, αλλά και βάρος, ύψος κ.α.

Προτεινόμενη κωδικοποίηση: SNOMED-CT [17].

Παραδείγματα:

Θερμοκρασία	F-048C3
Καρδιακός Ρυθμός	F-043F3
Αναπνευστικός Ρυθμός	F-21007

▪ **Results (Αποτελέσματα Εξετάσεων)**

Στην ενότητα αυτή καταγράφονται τα αποτελέσματα εργαστηριακών εξετάσεων, ενώ τα προτεινόμενα συστήματα κωδικοποίησης είναι τα SNOMED-CT και LOINC [18]. Αν και το σύστημα LOINC προτείνεται από το πρότυπο HL7 για την κωδικοποίηση των εργαστηριακών εξετάσεων, στην πράξη έχει αποδειχτεί ιδιαίτερα δύσκολο, κυρίως λόγω της αντιστοίχισης της ίδιας εξέτασης σε πολλούς διαφορετικούς κωδικούς, ανάλογα με κριτήρια διαφοροποίησης. Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής χρησιμοποιούμε κωδικούς SNOMED-CT για την κωδικοποίηση βασικών αιματολογικών και βιοχημικών ομάδων εξετάσεων.

Παραδείγματα:

Λευκά αιμοσφαίρια	P3-30520
-------------------	----------

Ερυθρά αιμοσφαίρια	P3-30510
Αιμοσφαιρίνη	P3-34100
Αιματοκρίτης	P3-34080

- **Procedures (Ιατρικές Διαδικασίες)**

Η ενότητα αυτή περιλαμβάνει βασικές ιατρικές επεμβάσεις/ πράξεις, ενώ η προτεινόμενη κωδικοποίηση είναι η SNOMED-CT (ενότητα με SNOMED IDs: PX-XXXXX).

11.6. Υπηρεσία Εικονικών Ιατρικών Φακέλων

Ο στόχος της Υπηρεσίας ΕΙΦ είναι η σύνθεση των φακέλων από ετερογενείς πηγές πληροφορίας εντός του νοσοκομείου, η διαχείρισή τους και η ενημέρωση άλλων υπηρεσιών-συνδρομητών για αλλαγές που συμβαίνουν στο περιεχόμενο των φακέλων, οι οποίες θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην ενεργοποίηση των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων. Για κάθε τύπο μηνύματος που μπορεί να ενημερώσει τον ΕΙΦ, αναπτύσσεται μια διεπαφή που μετασχηματίζει την κωδικοποίηση του μηνύματος στην κοινή κωδικοποίηση των Εικονικών Ιατρικών Φακέλων (ASTM E2369-05). Η διεπαφή αυτή ορίζεται δυναμικά και στη γενική περίπτωση μπορεί να περιλαμβάνει μια αλυσίδα μετασχηματισμών, δηλαδή το μήνυμα να δρομολογείται μέσα από δύο ή περισσότερα επίπεδα μέχρι να κωδικοποιηθεί στην τελική μορφή που θα του επιτρέψει να ενσωματωθεί στον ΕΙΦ. Η πρόσβαση στην Υπηρεσία ΕΙΦ παρέχεται μέσω μιας υπηρεσίας ιστού (web service) στα πλαίσια του τοπικού δικτύου του νοσοκομείου.

Οι βασικές λειτουργίες της υπηρεσίας είναι:

A) Αποδοχή και κατάλληλη δρομολόγηση μηνυμάτων που αφορούν κλινικά περιστατικά από ετερογενείς πηγές, όπως Εφαρμογές Γραφείου, Πληροφοριακά Συστήματα Εργαστηρίων, Πληροφοριακά Συστήματα Νοσοκομείων κ.α.

B) Μετασχηματισμός των μηνυμάτων στην κοινή κωδικοποίηση

Γ) Δημιουργία του Εικονικού Ιατρικού Φακέλου και ενσωμάτωση νέας πληροφορίας σχετικά με το κλινικό περιστατικό στο φάκελο

Δ) Ενημέρωση υπηρεσιών-συνδρομητών σχετικά με αλλαγές στο περιεχόμενο του φακέλου

11.6.1. Δρομολόγηση μηνυμάτων

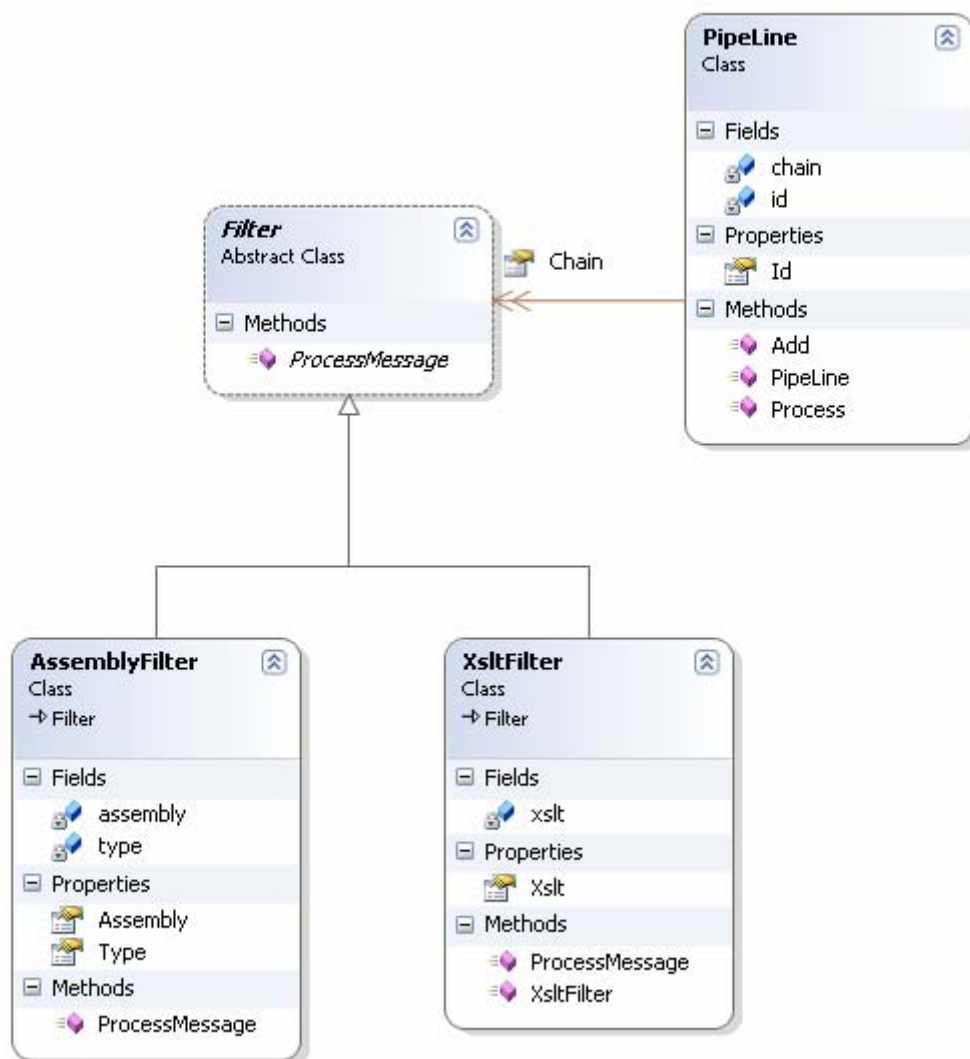
Κάθε μήνυμα που αφικνείται στη διεπαφή της υπηρεσίας ιστού (web service) που συνδέει την Υπηρεσία ΕΙΦ με το υπόλοιπο περιβάλλον τοποθετείται σε μια ουρά εξυπηρέτησης και δρομολογείται στην αρμόδια αλυσίδα μετασχηματισμών ανάλογα με τον τύπο του. Καθώς δεν υπάρχει ένας μηχανισμός ενθυλάκωσης των διαφόρων ετερογενών μηνυμάτων σε μια ενιαία κωδικοποίηση που θα μπορούσε να περιέχει τον τύπο του μηνύματος στην επικεφαλίδα, απαιτείται ο ορισμός κανόνων αναγνώρισης του τύπου του μηνύματος από την υπηρεσία. Για παράδειγμα, ο τύπος ενός μηνύματος κωδικοποιημένου σε XML μπορεί να αναγνωριστεί από το στοιχείο ρίζας ή από την εφαρμογή κάποιας ερώτησης XPath σχετικά με την ύπαρξη συγκεκριμένων κόμβων στη δομή του. Ένα μήνυμα HL7 μπορεί να αναγνωριστεί από την επικεφαλίδα του, π.χ. το μήνυμα ORU_R01 που στέλνει το Πληροφοριακό Σύστημα Εργαστηρίων του νοσοκομείου για να ενημερώσει έναν Εικονικό Ιατρικό Φάκελο σχετικά με αποτελέσματα εργαστηριακών εξετάσεων μπορεί να αναγνωριστεί αν οι πρώτοι 3 χαρακτήρες του μηνύματος είναι “MSH” και στο 9^ο πεδίο της επικεφαλίδας MSH περιέχει την τιμή “ORU^R01^ORU_R01”. Η αναγνώριση του τύπου του μηνύματος οδηγεί και στην κατάλληλη δρομολόγησή του προς την ακολουθία μετασχηματισμών που ειδικεύεται στον τύπο του.

11.6.2. Μετασχηματισμός των μηνυμάτων στην κοινή κωδικοποίηση

Στο πλαίσιο της Υπηρεσίας Εικονικού Ιατρικού Φακέλου (ΕΙΦ) αναπτύχθηκε ένας γενικός μηχανισμός μετασχηματισμού μηνυμάτων, που διευκολύνει την ενσωμάτωση νέων πηγών πληροφορίας στον ΕΙΦ και διασφαλίζει την επεκτασιμότητα της Υπηρεσίας. Ο μηχανισμός αυτός επιτρέπει την ενσωμάτωση μονάδων μετασχηματισμού στο σύστημα και τη διατύπωση οδηγιών σχετικά με την κατάλληλη δρομολόγηση των μηνυμάτων μέσα από αλυσίδες μετασχηματισμών. Όλες οι ρυθμίσεις που χρειάζονται για την υποστήριξη ενός

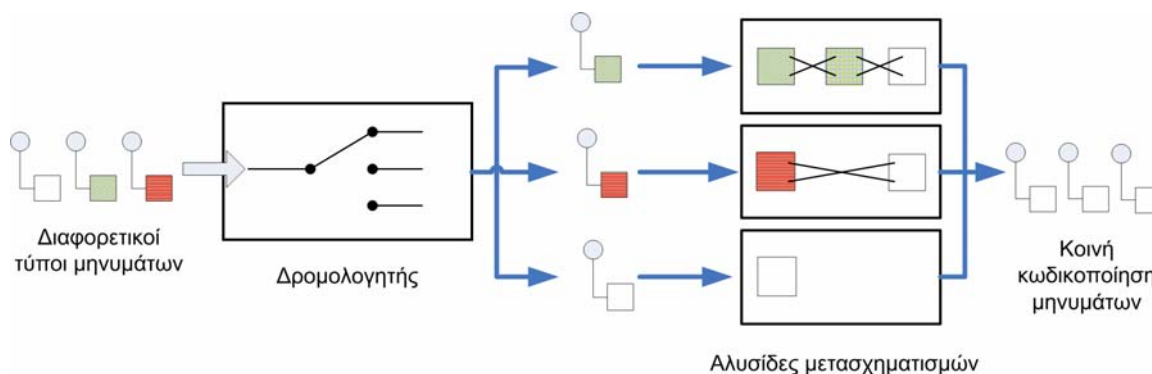
νέου τύπου μηνύματος από την Υπηρεσία γίνονται παραμετρικά με χρήση ενός αρχείου XML, μέσω του οποίου ορίζεται η αλυσίδα μετασχηματισμών για κάθε τύπο μηνύματος.

Για την υλοποίηση των παραμετροποιήσιμων αλυσίδων μετασχηματισμού αναπτύχθηκε προγραμματιστικά ένας μηχανισμός αλυσιδωτής επεξεργασίας εγγράφων (Pipeline). Η υλοποίηση περιλαμβάνει την αφηρημένη κλάση Filter, που αντιπροσωπεύει κάθε πράξη μετασχηματισμού, και παρέχει τις συγκεκριμένες κλάσεις για δύο βασικές μεθόδους μετασχηματισμού εγγράφων: (α) μέσω μιας ενότητας λογισμικού π.χ. μιας βιβλιοθήκης δυναμικής σύνδεσης DLL (AssemblyFilter) και (β) μέσω ενός αρχείου XSL-T (XsltFilter) (Σχήμα 11-2: Διάγραμμα κλάσεων για το μηχανισμό αλυσιδωτής επεξεργασίας εγγράφων).



Σχήμα 11-2: Διάγραμμα κλάσεων για το μηχανισμό αλυσιδωτής επεξεργασίας εγγράφων

Προκειμένου να αναπτυχθεί η δυναμική δημιουργία αλυσίδων μετασχηματισμών με βάση την παραμετρική δήλωσή τους στο κατάλληλο αρχείο ρυθμίσεων του δρομολογητή, χρησιμοποιήθηκε το σχεδιαστικό πρότυπο Factory [19]. Το πρότυπο Factory ενοποιεί τις διάφορες κλάσεις μιας οικογένειας κάτω από μία αφηρημένη κλάση και ορίζει ένα



Σχήμα 11-3: Δρομολόγηση και μετασχηματισμός των μηνυμάτων

εργοστάσιο (factory) στιγμιότυπων. Στην περίπτωση μας, το εργοστάσιο FilterFactory παρέχει τη μέθοδο getObject που δέχεται σαν όρισμα τον τύπο του μετασχηματισμού (π.χ. αρχείο XSL-T ή DLL) και παράγει δυναμικά το στιγμιότυπο της αντίστοιχης εξειδικευμένης κλάσης. Ο τύπος του μετασχηματισμού ορίζεται ως ιδιότητα του στοιχείου XML που δηλώνει το μετασχηματισμό στο αρχείο ρυθμίσεων του δρομολογητή.

Το πλεονέκτημα του προτύπου Factory έγκειται στην εύκολη επέκταση των εξειδικευμένων κλάσεων για το χειρισμό νέων τύπων μετασχηματισμών χωρίς να απαιτούνται αλλαγές στον κώδικα που εξυπηρετείται (client) από το εργοστάσιο, καθώς ο client κώδικας δεν «γνωρίζει» ποιο στιγμιότυπο ενεργοποιείται τελικά, απλά επικοινωνεί με την κατάλληλη μέθοδο του εργοστασίου και παρέχει την πληροφορία σχετικά με τον τύπο του μετασχηματισμού. Συνοπτικά, το βασικότερο πλεονέκτημα του μηχανισμού που αναπτύχθηκε για το μετασχηματισμό των μηνυμάτων είναι η δυνατότητα επέκτασης των πηγών σύνθεσης των φακέλων: το μόνο που απαιτείται είναι η ανάπτυξη ενός αρχείου ή βιβλιοθήκης μετατροπής της κωδικοποίησης του μηνύματος στην κοινή κωδικοποίηση του ΕΙΦ, η ενημέρωση του αρχείου ρυθμίσεων για την αλυσίδα των μετασχηματισμών που αντιστοιχούν στη νέα πηγή πληροφορίας και η καταγραφή οδηγιών προς το δρομολογητή για την αναγνώριση του νέου τύπου μηνυμάτων που ενσωματώνουμε στην Υπηρεσία. Η διαδικασία δρομολόγησης και μετασχηματισμού των μηνυμάτων απεικονίζονται στο Σχήμα 11-3: Δρομολόγηση και μετασχηματισμός των μηνυμάτων.

11.6.3. Διεπαφή του Εικονικού Ιατρικού Φακέλου (ΕΙΦ)

Η διεπαφή του Εικονικού Ιατρικού Φακέλου αναλαμβάνει τη δημιουργία των αρχείων Εικονικού Φακέλου και την ενημέρωσή τους με βάση το περιεχόμενο των μηνυμάτων που έχουν μετασχηματιστεί στην κοινή κωδικοποίηση ASTM E2369-05. Για την ενημέρωση των φακέλων η υπηρεσία περιλαμβάνει μια υλοποίηση της γλώσσας XUpdate, που αναλαμβάνει την ενσωμάτωση νέας πληροφορίας στην κατάλληλη θέση μέσα στο έγγραφο του Εικονικού Ιατρικού Φακέλου. Για να επιτευχθεί αυτό, το τελευταίο μέλος της αλυσίδας μετασχηματισμών παράγει ένα έγκυρο έγγραφο της γλώσσας XUpdate, το οποίο περιέχει: (α) την έκφραση XUpdate που καθορίζει τη θέση συγχώνευσης της πληροφορίας μέσα στο φάκελο και (β) το τμήμα του εγγράφου XML που θα συγχωνευθεί κωδικοποιημένο σύμφωνα με το πρότυπο ASTM E2369-05.

11.6.4. Ενημέρωση συνδρομητών

Η Υπηρεσία Εικονικού Ιατρικού Φακέλου διατηρεί έναν κατάλογο συνδρομητών που ενημερώνονται για τις αλλαγές που συμβαίνουν στα περιεχόμενα των φακέλων. Κάθε δημιουργία νέου φακέλου και κάθε επιτυχής αλλαγή στο περιεχόμενο ενός φακέλου ενεργοποιεί το σύστημα ειδοποίησης των υπηρεσιών-συνδρομητών, το οποίο αποστέλλει στους συνδρομητές την τρέχουσα έκδοση του φακέλου. Ο μηχανισμός της ενημέρωσης των υπηρεσιών-συνδρομητών αναλύεται εκτενέστερα στην ενότητα «11.8. Μηχανισμός ενημέρωσης υπηρεσιών-συνδρομητών».

11.7. Βάση δεδομένων ΕΙΦ

Η βάση δεδομένων ΕΙΦ αποτελεί μια συλλογή εγγράφων XML με τα εξής χαρακτηριστικά:

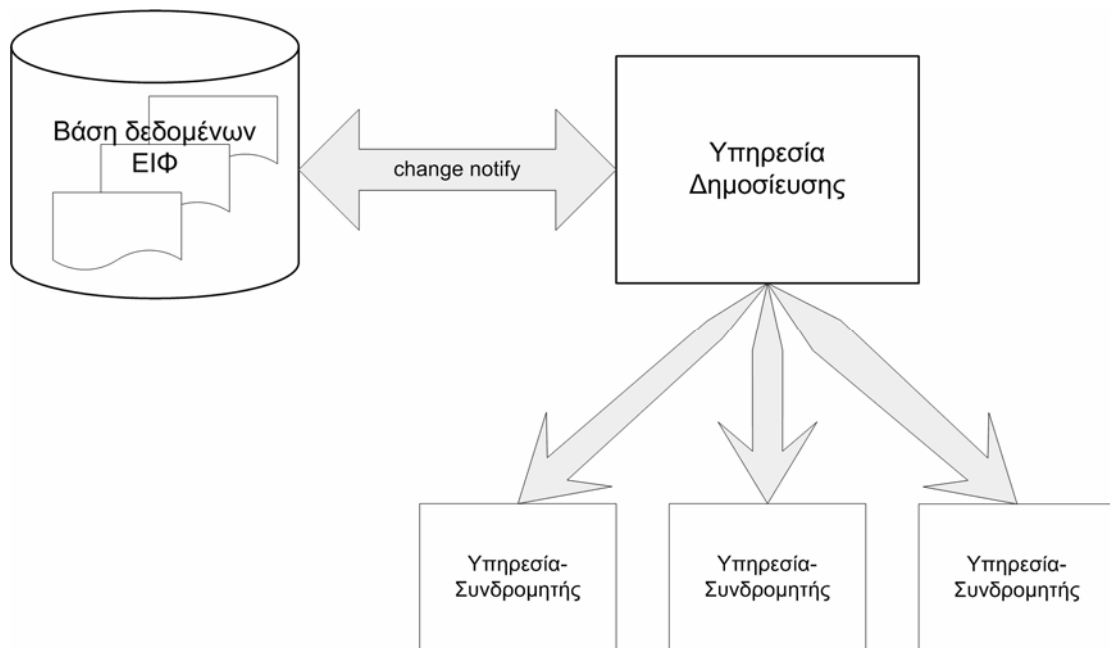
- Κάθε Εικονικός Ιατρικός Φάκελος (ΕΙΦ) είναι ένα ξεχωριστό αρχείο XML που ονομάζεται κωδικοποιημένα με βάση το μοναδικό κωδικό αναγνώρισης του ασθενή μέσα στο ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων.

- Κάθε ΕΙΦ δημιουργείται από το Υποσύστημα Διεπαφής Χρήστη με την αποστολή στην Υπηρεσία ΕΙΦ των δεδομένων της κλινικής εξέτασης και ενημερώνεται από πολλαπλές πηγές μέσω της Υπηρεσίας ΕΙΦ.
- Καθώς οι αιτήσεις για ενημέρωση των φακέλων τοποθετούνται σε ουρά κατά την άφιξή τους στην Υπηρεσία ΕΙΦ και εξυπηρετούνται σειριακά, δεν απαιτείται μηχανισμός «κλειδώματος» (locking) των εγγράφων για την αποφυγή προβλημάτων ταυτοχρονισμού κατά την ενημέρωση των φακέλων.

11.8. Μηχανισμός ενημέρωσης υπηρεσιών-συνδρομητών

Η ενημέρωση των εφαρμογών που ενδιαφέρονται για αλλαγές στους Εικονικούς Ιατρικούς Φακέλους πραγματοποιείται μέσω ενός μηχανισμού δημοσίευσης/συνδρομής (Publisher/Subscriber). Ο μηχανισμός Publisher/Subscriber επεκτείνει το σχεδιαστικό πρότυπο «Παρατηρητής» (Observer) [19], που ορίζει μια σχέση εξάρτησης ένα-προς-πολλά μεταξύ αντικειμένων έτσι ώστε όταν μεταβάλλεται η κατάσταση ενός αντικειμένου, όλα τα εξαρτώμενα αντικείμενα να ενημερώνονται και να τροποποιούνται αυτόματα. Το πρότυπο «Παρατηρητής» στοχεύει στην από-σύζευξη των παρατηρητών από το παρακολουθούμενο αντικείμενο, έτσι ώστε κάθε φορά που προστίθεται ένας νέος παρατηρητής να μην απαιτούνται αλλαγές στο παρακολουθούμενο αντικείμενο. Στην περίπτωση κατανεμημένων αρχιτεκτονικών, εισάγεται η έννοια του «καναλιού γεγονότων» (event channel) [20], το οποίο παρεμβάλλεται ανάμεσα στους συνδρομητές και στις υπηρεσίες που δημοσιεύουν γεγονότα και επιτυγχάνει την πλήρη από-σύζευξη των δύο τύπων υπηρεσιών.

Στο πλαίσιο του κατανεμημένου περιβάλλοντος υποστήριξης αποφάσεων αναπτύχθηκε μια υπηρεσία δημοσίευσης που παρακολουθεί τη βάση δεδομένων ΕΙΦ και ανιχνεύει γεγονότα, όπως η δημιουργία ενός νέου φακέλου ή η αλλαγή περιεχομένου σε κάποιο φάκελο ασθενούς. Άλλες εφαρμογές ή υπηρεσίες μπορούν να καταχωρούνται ως συνδρομητές στην υπηρεσία αυτή και να ενημερώνονται αυτόματα για τις αλλαγές στους φακέλους. Η αποστολή ειδοποιήσεων βασίζεται στην προδιαγραφή Web Services Addressing (WS-Addressing) 1.0 [21], η οποία ορίζει πως οι επικεφαλίδες των μηνυμάτων κατευθύνουν τα



Σχήμα 11-4: Μηχανισμός ενημέρωσης υπηρεσιών-συνδρομητών

μηνύματα στους κατάλληλους παραλήπτες με τρόπο ανεξάρτητο προς το πρωτόκολλο μεταφοράς. Η προδιαγραφή WS-Addressing έχει υλοποιηθεί στην πλατφόρμα Web Service Enhancements (WSE) της Microsoft και χρησιμοποιείται για το μηχανισμό δημοσίευσης-συνδρομητών. Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκαν οι κλάσεις SoapReceiver, η οποία παρέχει όλη την απαιτούμενη λειτουργικότητα για τη λήψη μηνυμάτων με βάση το πρωτόκολλο Simple Object Access Protocol (SOAP) [22] και SoapSender για την αποστολή μηνυμάτων SOAP. Κάθε αλληλεπίδραση ανάμεσα στην υπηρεσία δημοσίευσης και τους συνδρομητές πραγματοποιείται με την αποστολή και λήψη μηνυμάτων SOAP με χρήση του πρωτοκόλλου TCP/IP. Η υπηρεσία δημοσίευσης παρέχει την απαιτούμενη λειτουργικότητα για την εγγραφή συνδρομητή (subscribe) και για την αποχώρηση συνδρομητή (unsubscribe) από την υπηρεσία. Ο τύπος της αίτησης του συνδρομητή (εγγραφή ή αποχώρηση) καθορίζεται από την ενέργεια (action) που περιγράφεται στο στοιχείο `wsa:Action` της επικεφαλίδας. Η υπηρεσία παρακολουθεί συνεχώς το φάκελο του λειτουργικού συστήματος, όπου είναι αποθηκευμένοι οι ΕΙΦ και κάθε αλλαγή στα αρχεία XML πυροδοτεί την αποστολή του νέου ή τροποποιημένου φακέλου σε όλους τους καταχωρημένους συνδρομητές. Ο μηχανισμός ενημέρωσης των υπηρεσιών-συνδρομητών του φακέλου μέσω του μοντέλου δημοσίευσης/συνδρομής παρουσιάζεται στο Σχήμα 11-4: *Μηχανισμός ενημέρωσης υπηρεσιών-συνδρομητών.*

11.9. Σενάριο ολοκλήρωσης της Υπηρεσίας ΕΙΦ με το Πληροφοριακό Σύστημα Εργαστηρίων του νοσοκομείου

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζουμε τη διαδικασία ολοκλήρωσης της Υπηρεσίας ΕΙΦ με το Πληροφοριακό Σύστημα Εργαστηρίων (Laboratory Information System – LIS) του νοσοκομείου. Ο στόχος της ολοκλήρωσης είναι η ενημέρωση του φακέλου του ασθενή με αποτελέσματα εργαστηριακών εξετάσεων, τα οποία έχει εγκρίνει ο υπεύθυνος εργαστηριακός ιατρός. Για το σενάριο θεωρούμε ότι στη βάση δεδομένων ΕΙΦ υπάρχει ήδη ο φάκελος του ασθενή, καθώς αυτός έχει δημιουργηθεί κατά την έναρξη διαχείρισης του κλινικού περιστατικού από το Υποσύστημα Διεπαφής Χρήστη. Ο ιατρός που διαχειρίζεται το περιστατικό έχει παραγγείλει τις εξετάσεις κατά την κλινική εξέταση και τα αποτελέσματα είναι διαθέσιμα μετά από κάποιο χρονικό διάστημα. Η λειτουργία της υπηρεσίας επιτρέπει την αυτόματη ενημέρωση του φακέλου μέσω ενός μηνύματος HL7 2.x (ORU/R01) και στη συνέχεια την ενημέρωση των υπηρεσιών-συνδρομητών για τα νέα δεδομένα που είναι διαθέσιμα στο φάκελο του ασθενή. Τα νέα αυτά στοιχεία σηματοδοτούν έναν κόμβο λήψης αποφάσεων και μπορεί να πυροδοτήσουν τη διαδικασία υποστήριξης αποφάσεων. Η διαδικασία της ενημέρωσης του φακέλου περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

1) Αποστολή μηνύματος ORU/R01 στη διεπαφή της Υπηρεσίας ΕΙΦ

Ένα μήνυμα ORU/R01 αφικνείται στη διαδικτυακή υπηρεσία του ΕΙΦ από κάποια εφαρμογή διασύνδεσης HL7. Η διαδικτυακή υπηρεσία αναμένει μηνύματα κωδικοποιημένα σύμφωνα με τη σύσταση SOAP [22] του W3C, συνεπώς απαιτείται η ενθυλάκωση του ASCII μηνύματος HL7 μέσα στο σώμα ενός μηνύματος SOAP από την εφαρμογή διασύνδεσης ή κάποιο άλλο ενδιάμεσο λογισμικό. Το περιεχόμενο του μηνύματος (σε πρότυπη κωδικοποίηση HL7 2.x) τοποθετείται στην ουρά εξυπηρέτησης.

2) Αναγνώριση του τύπου του μηνύματος

Ο γενικός τύπος του μηνύματος (HL7) αναγνωρίζεται από τους τρεις αρχικούς χαρακτήρες “MSH” που σηματοδοτούν την επικεφαλίδα κάθε μηνύματος HL7. Αφού αναγνωριστούν οι χαρακτήρες αυτοί, ο δρομολογητής «διαβάζει» το 9^ο πεδίο της επικεφαλίδας και προσδιορίζει το είδος του μηνύματος (ORU) και το περιστατικό ενεργοποίησης του

μηνύματος (R01), καθώς κάθε είδος μπορεί να έχει πολλούς διαφορετικούς κωδικούς περιστατικών ενεργοποίησης. Η επικεφαλίδα του μηνύματος περιέχει και την έκδοση του προτύπου HL7 με την οποία συμμορφώνεται (12^ο πεδίο της ενότητας MSH), κάτι που είναι απαραίτητο για τη σωστή δρομολόγηση. Για παράδειγμα, ένα μήνυμα HL7 V2.3 μπορεί να δρομολογηθεί σε άλλη αλυσίδα μετασχηματισμών από αυτήν που χειρίζεται τα μηνύματα της έκδοσης 2.4.

```
<pipeline id="LISHL7V24" description="Interface for populating the CCR with LIS info through unsolicited HL7 V2.4 ORU_R01 messages">
  <filter seq="1" type="Assembly" path="HL7Lib.dll">
    <type name="HL7LibNS.HL7Lib">
      <property name="Path">C:\Transformers\HL7</property>
      <method name="Transform"/>
    </type>
  </filter>
  <filter seq="2" type="Xslt" description="HL7 V2.X XML Encoding R1 To ASTM CCR XUpdate Query" xslt="ORUR01.xslt">
  </filter>
</pipeline>
```

Σχήμα 11-5: Ορισμός της αλυσίδας μετασχηματισμών για μηνύματα από το Πληροφοριακό Σύστημα Εργαστηρίων

3) Αναγνώριση της ταυτότητας του ασθενή

Η ταυτότητα του ασθενή αναγνωρίζεται από τον κωδικό του, ο οποίος περιέχεται στο 3^ο πεδίο της υποχρεωτικής ενότητας PID του μηνύματος HL7. Με βάση τον κωδικό του ασθενή παράγεται ο μοναδικός κωδικός αναγνώρισης του φακέλου (που φυλάσσεται στο στοιχείο **CCRDocumentObjectID**), ο οποίος επιτρέπει στη Διεπαφή ΕΙΦ να αναγνωρίζει τον φάκελο του ασθενή.

4) Δρομολόγηση μέσα από την αλυσίδα μετασχηματισμών

Αφού διαπιστωθεί ότι πρόκειται για μήνυμα αυτόκλητης ενημέρωσης (unsolicited update) σχετικά με αποτελέσματα εργαστηριακών εξετάσεων, ενεργοποιείται η αντίστοιχη αλυσίδα μετασχηματισμών με βάση τη δήλωσή της στο παραμετρικό αρχείο ρυθμίσεων του δρομολογητή (Σχήμα 11-5: *Ορισμός της αλυσίδας μετασχηματισμών για μηνύματα από το Πληροφοριακό Σύστημα Εργαστηρίων*). Όπως φαίνεται από τη δήλωση, το αρχικό μήνυμα υφίσταται 2 μετασχηματισμούς:

- Μετατροπή της πρότυπης κωδικοποίησης HL7 σε ενδιάμεση κωδικοποίηση XML

Το αρχικό μήνυμα, που ακολουθεί την κλασική κωδικοποίηση HL7 (διαχωρισμός των ενοτήτων με Carriage Return (hex 0D) και των πεδίων με κάθετες μπάρες), μετασχηματίζεται σε μια ενδιάμεση μορφή XML, η οποία συμμορφώνεται προς την κωδικοποίηση XML που ορίζει το πρότυπο HL7 για τα μηνύματα των εκδόσεων 2.X [23]. Η μετατροπή αυτή διευκολύνει το επόμενο επίπεδο των μετασχηματισμών.

- Μετασχηματισμός του XML μηνύματος HL7 σε έγγραφο XUpdate

Η ενδιάμεση κωδικοποίηση XML μετασχηματίζεται σε μια έγκυρη έκφραση της γλώσσας XUpdate, το περιεχόμενο της οποίας συμμορφώνεται προς το πρότυπο ASTM E2369-05. Η μετατροπή αυτή πραγματοποιείται μέσω ενός αρχείου XSL-T, το οποίο αντιστοιχίζει τα πεδία του μηνύματος HL7 στα κατάλληλα πεδία της κωδικοποίησης του ΕΙΦ. Η δήλωση των αντιστοιχίσεων πραγματοποιείται με εκφράσεις της γλώσσας XPath. Στο Σχήμα 11-6: *Τμήμα αρχείου XSL-T για την ενημέρωση φακέλου με αποτελέσματα εργαστηριακών εξετάσεων* απεικονίζεται μέρος του αρχείου XSL-T, που δημιουργεί την ενότητα «Αποτελέσματα Εξετάσεων» (Results) του φακέλου με βάση τα αποτελέσματα των εργαστηριακών εξετάσεων που περιέχονται στο μήνυμα HL7.

- Ενημέρωση του φακέλου

Ο Εικονικός Ιατρικός Φάκελος του ασθενή εντοπίζεται με βάση τον κωδικό **CCRDocumentObjectID** που αντιστοιχεί στον κωδικό του ασθενή και η έκφραση XUpdate που παράγεται από το τελικό επίπεδο των μετασχηματισμών εφαρμόζεται πάνω στο φάκελο. Η εκτέλεση της ενημέρωσης XUpdate έχει σαν αποτέλεσμα την εισαγωγή στοιχείων <Test> στην ενότητα <Results> του φακέλου, τα οποία περιλαμβάνουν τα αποτελέσματα των εργαστηριακών εξετάσεων που μεταφέρουν οι ενότητες OBX του αρχικού μηνύματος HL7.

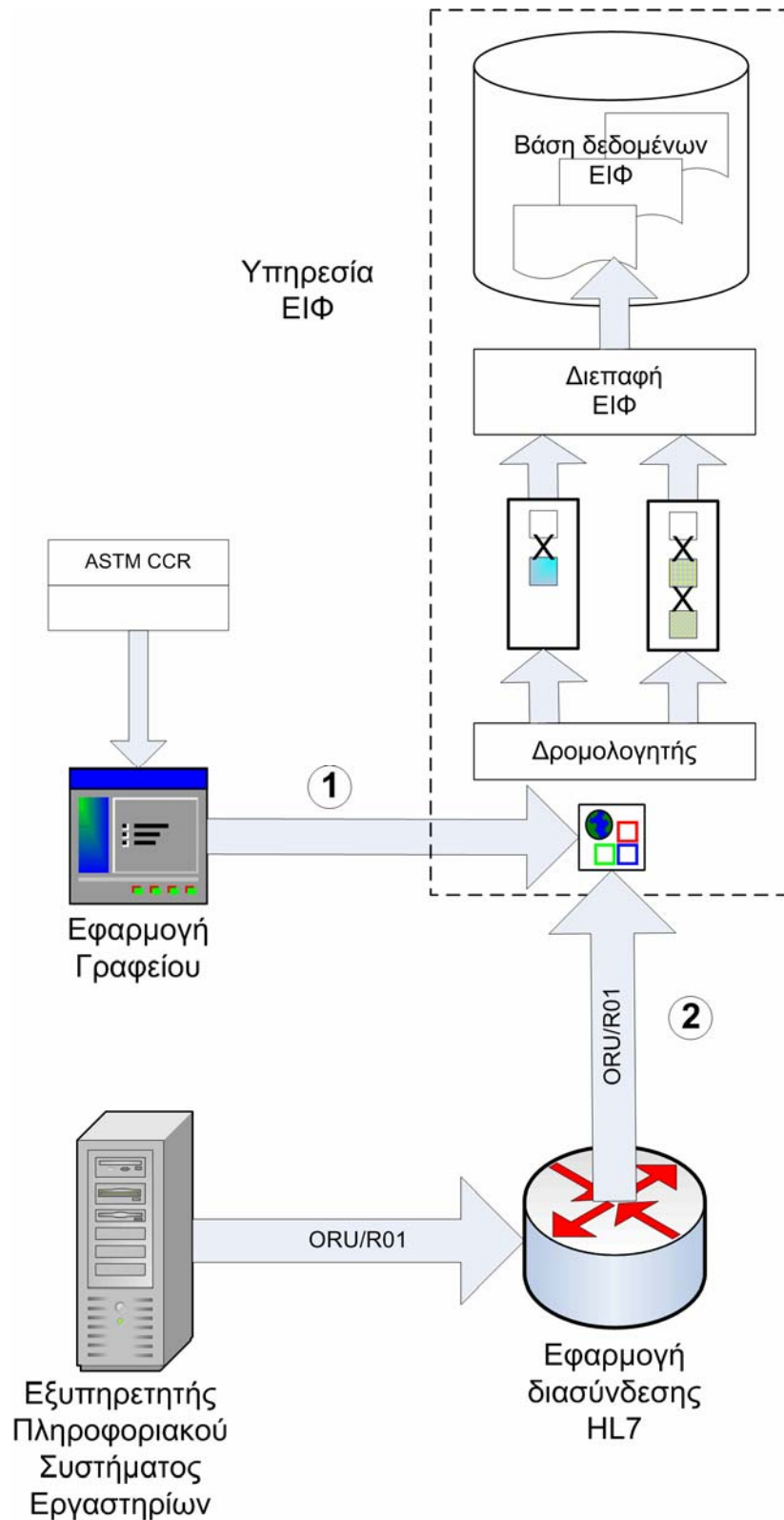

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<xsl:stylesheet version="1.0" xmlns:xsl="http://www.w3.org/1999/XSL/Transform">
  <xsl:output method="xml" version="1.0" encoding="UTF-8" indent="yes"/>
  <xsl:template match="/">
    <xupdate:modifications version="1.0" xmlns:xupdate="http://www.xmldb.org/xupdate">
      <xupdate:append select="//Result">
        <xsl:for-each select="//OBX">
          <Test>
            <CCRDataObjectID>T01</CCRDataObjectID>
            <Description>
              <Text>
                <xsl:value-of select="current()/OBX.3/CE.2"/>
              </Text>
              <Code>
                <Value>
                  <xsl:value-of select="current()/OBX.3/CE.1"/>
                </Value>
                <CodingSystem>
                  <xsl:value-of select="current()/OBX.3/CE.3"/>
                </CodingSystem>
                <Version/>
              </Code>
            </Description>
            ...
            <TestResult>
              <Value>
                <xsl:value-of select="current()/OBX.5"/>
              </Value>
              <Units>
                <Unit>
                  <xsl:value-of select="current()/OBX.6/CE.2"/>
                </Unit>
              </Units>
            </TestResult>
          </xsl:for-each>
        </xupdate:append>
      </xupdate:modifications>
    </xsl:template>
  </xsl:stylesheet>

```

Σχήμα 11-6: Τμήμα αρχείου XSL-T για την ενημέρωση φακέλου με αποτελέσματα εργαστηριακών εξετάσεων

Στο Σχήμα 11-7: Ολοκλήρωση της Υπηρεσίας ΕΙΦ με το Πληροφοριακό Σύστημα Εργαστηρίων απεικονίζονται γραφικά τα παραπάνω βήματα για την ενημέρωση των φακέλων από το Πληροφοριακό Σύστημα Εργαστηρίων του νοσοκομείου.



Σχήμα 11-7: Ολοκλήρωση της Υπηρεσίας ΕΙΦ με το Πληροφοριακό Σύστημα Εργαστηρίων

11.10. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1]. Ηλεκτρονικός ιατρικός φάκελος, Εργαστήριο Βιοϊατρικής Τεχνολογίας, Ε.Μ.Π., 2005
- [2]. ISO/TC 215 Working Group 3 Health Informatics - Semantic Content, <http://www.tc215wg3.nhs.uk/pages/default.asp>
- [3]. HL7 Version 3 Standard: Clinical Document Architecture Framework Release 1.0
- [4]. ASTM E2369-05 "Standard Specification for Continuity of Care Record (CCR) ," ASTM International
- [5]. XQuery, <http://www.w3.org/TR/xquery/>
- [6]. XQuery Update Facility, <http://www.w3.org/TR/xqupdate/>
- [7]. XUpdate - XML Update Language, <http://xmldb-org.sourceforge.net/xupdate/>
- [8]. eXist, <http://exist.sourceforge.net/>
- [9]. Apache Xindice, <http://xml.apache.org/xindice/>
- [10]. X-Hive/DB, <http://www.x-hive.com/products/db/index.html>
- [11]. www.infozone-group.org
- [12]. Essential Similarities and Differences Between the HL7 CDA/CRS and ASTM CCR, <http://www.centerforhit.org/>
- [13]. W3C, XML Schema, <http://www.w3.org/XML/Schema>
- [14]. InfoPath 2003: Health Level Seven Clinical Document Architecture, <http://www.microsoft.com/technet/itsolutions/cits/iwp/cda/hl7cda06.msp>
- [15]. ICD-9-CM: International Classification of Diseases, Ninth Revision, Clinical Modification. Washington DC: U.S. Dept. of Health and Human Services, 2000 (6th Edition).
- [16]. WHO Collaborating Centre for Drug Statistics Methodology: Anatomical Therapeutic Chemical (ATC) classification index with Defined Daily Doses (DDDs). Oslo, Norway, WHO Collaborating Centre for Drug Statistics Methodology; 2002:1-88
- [17]. SNOMED International, 1993 Vols 1-4, College of American Pathologists, Skokie, IL, 60077-1034.
- [18]. Logical Observation Identifier Names and Codes (LOINC®), <http://www.regenstrief.org/loinc>

- [19]. Gamma Erich, Helm Richard, Johnson Ralph, Vlissides John "Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software," Addison-Wesley, 1995
- [20]. Buschmann et al, Pattern-Oriented Software Architecture, Wiley, 1996
- [21]. Web Services Addressing, <http://www.w3.org/TR/ws-addr-core/>
- [22]. Simple Object Access Protocol (SOAP) 1.1, <http://www.w3.org/TR/soap/>
- [23]. ANSI/HL7 V2 XML-2003, HL7 Version 2: XML Encoding Syntax, Release 1, June 4, 2003

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12. ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΚΑ

12.1. Στόχοι της Υπηρεσίας Ενεργοποίησης ΣΥΚΑ

Ο βασικότερος στόχος της Υπηρεσίας Ενεργοποίησης Συστημάτων Υποστήριξης Κλινικών Αποφάσεων είναι η αυτόματη ενεργοποίηση ενός ή περισσότερων συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων με βάση γεγονότα που περιέχονται σε έναν Εικονικό Ιατρικό Φάκελο και κανόνες που διατυπώνονται από τους κλινικούς ιατρούς, χωρίς να απαιτείται η παρέμβαση του χρήστη. Η σημασία της Υπηρεσίας υπογραμμίζεται από την παρατήρηση ότι η αυτόματη παροχή υποστήριξης αποφάσεων ως μέρος της υπάρχουσας ροής εργασιών αποτελεί έναν από τους βασικότερους παράγοντες που συμβάλλουν στην επιτυχία των συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων. Η Υπηρεσία καταχωρείται ως συνδρομητής της Υπηρεσίας Εικονικού Ιατρικού Φακέλου και ενημερώνεται για αλλαγές στους φακέλους, που σηματοδοτούν κομβικά σημεία λήψης αποφάσεων, π.χ. διαθεσιμότητα των αποτελεσμάτων βιοχημικών εξετάσεων ή καλλιέργειών. Ο ενημερωμένος φάκελος ανακτάται από την Υπηρεσία Εικονικού Ιατρικού Φακέλου και τροφοδοτεί τη Μηχανή Εξαγωγής Συμπερασμάτων της Υπηρεσίας Ενεργοποίησης με νέα δεδομένα, η οποία αποφαινεται για την αναγκαιότητα ή μη της ενεργοποίησης συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων. Για παράδειγμα, η παρουσία συμπτωμάτων σηψαιμίας στο φάκελο ή η ενημέρωση του φακέλου σχετικά με θετικές καλλιέργειες οδηγεί στην αυτόματη ενεργοποίηση του προτύπου συστήματος υποστήριξης αποφάσεων για τις βακτηριακές λοιμώξεις (1^{ος} και 4^{ος} κόμβος λήψης αποφάσεων αντίστοιχα, βλ. Ενότητα 3.1.1. Κόμβοι Λήψης Αποφάσεων). Την «καρδιά» της Υπηρεσίας αποτελεί ένα έμπειρο σύστημα, που περιλαμβάνει τους κανόνες ενεργοποίησης που ορίζουν οι κλινικοί ιατροί.

12.2. Χαρακτηριστικά των Έμπειρων Συστημάτων

Ο τυπικός ορισμός των έμπειρων συστημάτων που δόθηκε από τη Βρετανική Εταιρία Υπολογιστών (British Computer Society) έχει ως εξής:

«Ένα έμπειρο σύστημα θεωρείται σαν η ενσωμάτωση στον υπολογιστή μιας βασισμένης-στη-γνώση συνιστώσας κατά τέτοιο τρόπο ώστε το σύστημα να μπορεί να δίνει μια ευφυή (νοήμονα) συμβουλή ή να παίρνει ευφυείς αποφάσεις σχετικά με κάποια λειτουργία επεξεργασίας. Μια πρόσθετη επιθυμητή χαρακτηριστική ιδιότητα, που από πολλούς θεωρείται ουσιώδης, είναι η ικανότητα του έμπειρου συστήματος να αιτιολογεί, όταν του ζητηθεί, τον τρόπο σκέψης του κατάλληλα και κατανοητά από αυτόν που του το ζήτησε. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά επιτυγχάνονται με «προγραμματισμό βασισμένο σε κανόνες» (rule-based programming).»

Ο ορισμός της BCS είναι καλός, αλλά πληρέστερη εικόνα του τι είναι ένα έμπειρο σύστημα λαβαίνει κανείς από τον παρακάτω κατάλογο των θεμελιωδών ιδιοτήτων του [1]:

- Κάθε έμπειρο σύστημα είναι εφαρμόσιμο σε μια συγκεκριμένη περιοχή της ανθρώπινης εμπειρίας
- Μπορεί να βγάξει συμπεράσματα από αβέβαια δεδομένα
- Μπορεί να εξηγήσει το δρόμο συλλογισμού του κατά κατανοητό τρόπο
- Τα γεγονότα και ο μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων διαχωρίζονται σαφώς (η γνώση δεν κωδικοποιείται στις διαδικασίες εξαγωγής συμπερασμάτων)
- Σχεδιάζεται έτσι ώστε να αναπτύσσεται βαθμιαία (αυξητικά)
- Ένα έμπειρο σύστημα βασίζεται σε κανόνες
- Η έξοδος του έχει τη μορφή συμβουλών και όχι τη μορφή πινάκων ή οπτικών εικόνων

12.3. Χαρακτηριστικά του Έμπειρου Συστήματος της Υπηρεσίας

Για την υλοποίηση του Έμπειρου Συστήματος Ενεργοποίησης ΣΥΑ επιλέχθηκε το λογισμικό ανοιχτού κώδικα Simple Rule Engine (SRE) [2], που επιτρέπει την ανάπτυξη έμπειρων συστημάτων για την πλατφόρμα Microsoft.NET. Η μηχανή εξαγωγής SRE συμπερασμάτων υιοθετεί τη στρατηγική της ορθής αλυσίδας συλλογισμού από τα δεδομένα

προς τις υποθέσεις (forward chaining) και επιτρέπει τον ευέλικτο ορισμό κανόνων σε αρχεία XML. Η επιλογή του συγκεκριμένου λογισμικού βασίστηκε στα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Ευελιξία και επεκτασιμότητα

Οι κανόνες ενεργοποίησης των ΣΥΑ περιγράφονται σε εξωτερικά XML αρχεία, τα οποία είναι εύκολο να τροποποιηθούν χωρίς να απαιτούνται αλλαγές στο σύστημα, ενώ οι νέοι κανόνες μπορούν να προστεθούν στο σύνολο κανόνων ανεξάρτητα από τους υπάρχοντες.

- Δηλωτική γνώση

Οι κανόνες εκφράζουν δηλωτική και όχι διαχειριστική γνώση, με αποτέλεσμα την εύκολη διάσπαση των προβλημάτων σε μικρότερες, διακριτές ενότητες και τη σύνθεση του συνόλου των κανόνων από μικρά και ανεξάρτητα τμήματα γνώσης (τα οποία μπορούν να διατυπώνονται και από διαφορετικούς εμπειρογνώμονες).

- Εύκολη σύνταξη κανόνων

Η μορφή των κανόνων είναι πολύ απλή, κάτι που επιτρέπει την απευθείας σύνταξή τους από εμπειρογνώμονες (π.χ. κλινικούς ιατρούς) χωρίς να απαιτούνται τεχνικές γνώσεις, ή την εύκολη μετατροπή κανόνων που διατυπώνονται σε ελεύθερο κείμενο στην κωδικοποίηση XML που απαιτείται για τη λειτουργία του συστήματος.

- Απλότητα σε συνδυασμό με βελτιστοποιημένη απόδοση

Το λογισμικό Simple Rule Engine δεν παρέχει το μεγάλο εύρος της λειτουργικότητας που παρέχουν άλλες πιο ολοκληρωμένες λύσεις (π.χ. το λογισμικό ανοικτού κώδικα NxBRE [3]), όμως καλύπτει απόλυτα τις απαιτήσεις της ενεργοποίησης ΣΥΑ με βάση τα περιεχόμενα των Εικονικών Ιατρικών Φακέλων. Ταυτόχρονα, η απόδοση της εξαγωγής των συμπερασμάτων είναι καλύτερη από πιο σύνθετες προσεγγίσεις.

12.4. Σενάριο Ενεργοποίησης για περιστατικά Σήψης

Η αυτόματη ενεργοποίηση του προτύπου συστήματος για τη θεραπεία των λοιμώξεων είναι απαραίτητη κατά την αντιμετώπιση επεισοδίων σήψης. Ένα επεισόδιο σήψης αναγνωρίζεται από το «σύνδρομο συστηματικής φλεγμονώδους απάντησης» (systemic inflammatory response syndrome, SIRS) και την επιβεβαιωμένη εισβολή μικροοργανισμών ή τοξικών προϊόντων τους στην αιματική κυκλοφορία [4]. Η κλινική συμπτωματολογία του συνδρόμου SIRS και κατ' επέκταση της σήψης περιλαμβάνει 2 ή περισσότερα από τα ακόλουθα συμπτώματα [5]:

1. Θερμοκρασία μεγαλύτερη από 38°C ή μικρότερη από 36°C
2. Καρδιακή συχνότητα μεγαλύτερη από 90 παλμούς ανά λεπτό
3. Αναπνευστικός ρυθμός μεγαλύτερος από 20 αναπνοές ανά λεπτό ή μερική πίεση διοξειδίου του άνθρακα PaCO₂ χαμηλότερη από 32 mmHg
4. Αριθμός λευκών αιμοσφαιρίων μεγαλύτερος από 12,000 κύτταρα/μl ή μικρότερος από 4,000 κύτταρα/μl

Ο συνδυασμός των παραπάνω συνθηκών ανά δύο παράγει $\frac{4!}{2!(4-2)!} = 6$ κανόνες αναγνώρισης ενός επεισοδίου σηψαιμίας. Οι κανόνες αυτοί παρατίθενται αναλυτικά στο Σχήμα 12-1: *Κανόνες Αναγνώρισης Περιστατικού Σήψης*:

<p>EAN (Θερμοκρασία > 38°C Ή Θερμοκρασία < 36°C) ΚΑΙ (Καρδιακή συχνότητα > 90) Ή (Θερμοκρασία > 38°C Ή Θερμοκρασία < 36°C) ΚΑΙ (Αναπνοές > 20 Ή PaCO₂ < 32) Ή (Θερμοκρασία > 38°C Ή Θερμοκρασία < 36°C) ΚΑΙ (Λευκά αιμοσφαίρια < 4,000 Ή Λευκά αιμοσφαίρια > 12,000) Ή (Καρδιακή συχνότητα > 90) ΚΑΙ (Αναπνοές > 20 Ή PaCO₂ < 32) Ή (Καρδιακή συχνότητα > 90) ΚΑΙ (Λευκά αιμοσφαίρια < 4,000 Ή Λευκά αιμοσφαίρια > 12,000) Ή (Αναπνοές > 20 Ή PaCO₂ < 32) ΚΑΙ (Λευκά αιμοσφαίρια < 4,000 Ή Λευκά αιμοσφαίρια > 12,000) ΤΟΤΕ ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ ΣΗΨΗΣ</p>
--

Σχήμα 12-1: Κανόνες Αναγνώρισης Περιστατικού Σήψης

Για την κωδικοποίηση των κανόνων αυτών, απαιτούνται επιπλέον οι κωδικοί SNOMED-CT που παρατίθενται στον Πίνακα 12-1: *Κωδικοί SNOMED-CT για ευρήματα σήψης*.

Παρατήρηση	Κωδικός	Σύστημα Κωδικοποίησης	Μονάδες
Θερμοκρασία	F-048C3	SNOMED-CT	°C
Καρδιακός Ρυθμός	F-043F3	SNOMED-CT	Κτύποι/min
Αναπνευστικός Ρυθμός	F-21007	SNOMED-CT	Αναπνοές/min
PaCO ₂	F-02B1F	SNOMED-CT	mmHg
Λευκά Αιμοσφαίρια	P3-30520	SNOMED-CT	Κύτταρα/mm ³

Πίνακας 12-1: Κωδικοί SNOMED-CT για ευρήματα σήψης

Οι κανόνες του Σχήμα 12-1: *Κανόνες Αναγνώρισης Περιστατικού Σήψης* διατυπώνονται σε μορφή XML, η οποία επιτρέπει στην Υπηρεσία να αποφανθεί για την ανάγκη ενεργοποίησης κάποιου συστήματος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων με βάση το περιεχόμενο του φακέλου, που ανακτάται από την Υπηρεσία Εικονικού Ιατρικού Φακέλου. Η κωδικοποίηση των κανόνων του Σχήμα 12-1: *Κανόνες Αναγνώρισης Περιστατικού Σήψης* σε μορφή κατάλληλη για τη Μηχανή Εξαγωγής Συμπερασμάτων της Υπηρεσίας παρατίθεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.

12.5. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1]. Τζαφέστας Σ., “Εισαγωγή στην Τεχνητή Νοημοσύνη Και Τα Έμπειρα Συστήματα”, 1996
- [2]. Simple Rule Engine, <http://sourceforge.net/projects/sdsre/>
- [3]. NxBRE , <http://www.agilepartner.net/oss/nxbre/>
- [4]. Bone RC, Grodzin CJ, Balk RA. Sepsis: a new hypothesis for pathogenesis of the disease process. Chest 1997; 112:235-243
- [5]. Tslotou AG, Sakorafas GH, Anagnostopoulos G, Bramis J. Septic shock; current pathogenetic concepts from a clinical perspective. Med Sci Monit. 2005 Mar;11(3):RA76-85.

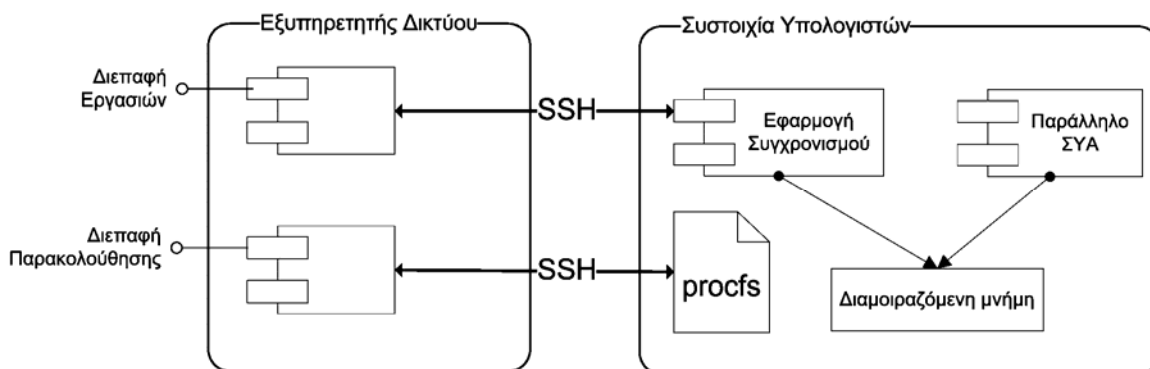
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13. ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΙΤΗΣΕΩΝ

13.1. Εισαγωγή

Η Υπηρεσία Επεξεργασίας Αιτήσεων αποτελεί τη δημόσια διεπαφή κάθε υπολογιστικού κόμβου, που συμμετέχει στο ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων. Η υπηρεσία «κρύβει» τις λεπτομέρειες της υλοποίησης των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων και παρέχει μια ενιαία διεπαφή για την αλληλεπίδραση των άλλων υπηρεσιών με τα συστήματα. Ειδικότερα, παρέχει τη Διεπαφή Εργασιών για την αποστολή κατάλληλα κωδικοποιημένων αιτήσεων προς τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων που εξυπηρετούνται από την Υπηρεσία, και τη Διεπαφή Παρακολούθησης, η οποία παρέχει στην Υπηρεσία Δρομολόγησης τις απαραίτητες πληροφορίες για τη δομή και την τρέχουσα κατάσταση των υπολογιστικών πόρων, οι οποίες αξιοποιούνται με στόχο τη βέλτιστη χρονοδρομολόγηση των αιτήσεων προς τους υπολογιστικούς πόρους. Οποιοσδήποτε υπολογιστικός πόρος, ανεξάρτητα από την εσωτερική αρχιτεκτονική του και τη γεωγραφική του θέση, μπορεί να ενταχθεί στο ολοκληρωμένο περιβάλλον, αρκεί να υλοποιηθεί μια δημόσια διεπαφή, που να επιτρέπει στην Υπηρεσία Δρομολόγησης να τον εντοπίσει και να τον εντάξει στο πρόγραμμα χρονοδρομολόγησης αιτήσεων που ακολουθεί. Στην επόμενη ενότητα αναλύεται η αρχιτεκτονική ένταξης μιας απομακρυσμένης συστοιχίας υπολογιστών ως υπολογιστικός πόρος στο ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων.

13.2. Αρχιτεκτονική Υπολογιστικού Πόρου

Η αρχιτεκτονική του υπολογιστικού πόρου περιλαμβάνει μια συστοιχία υπολογιστών, στην οποία είναι εγκατεστημένα υπολογιστικά συστήματα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων υψηλής επίδοσης, τα οποία αξιοποιούν την παράλληλη αρχιτεκτονική της συστοιχίας με στόχο την ταχύτερη επεξεργασία αιτήσεων, και έναν εξυπηρετητή δικτύου, ο οποίος υλοποιεί τις διεπαφές της Υπηρεσίας Επεξεργασίας Αιτήσεων. Ο εξυπηρετητής δικτύου έχει πρόσβαση στις εφαρμογές της συστοιχίας υπολογιστών μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας Secure Shell (SSH), το οποίο επιτρέπει την ασφαλή πρόσβαση σε απομακρυσμένους πόρους πάνω από ένα ανασφαλές δίκτυο επικοινωνιών [1]. Η αρχιτεκτονική του υπολογιστικού πόρου απεικονίζεται στο Σχήμα 13-1: *Αρχιτεκτονική Υπολογιστικού Πόρου*.



Σχήμα 13-1: Αρχιτεκτονική Υπολογιστικού Πόρου

13.2.1. Διεπαφή Εργασιών

Η Διεπαφή Εργασιών παρέχει την πρόσβαση προς τα συστήματα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων υψηλής επίδοσης που είναι εγκατεστημένα σε κάποια συστοιχία υπολογιστών. Αποτελεί μια υπηρεσία ιστού (web service) που δέχεται αιτήσεις SOAP/HTTP(S) για κάποιο σύστημα που είναι διαθέσιμο στη συστοιχία υπολογιστών που εξυπηρετεί και επιστρέφει τα αποτελέσματα επεξεργασίας της αίτησης. Κάθε αίτηση περιέχει το μοναδικό κωδικό αναγνώρισης του συστήματος υποστήριξης αποφάσεων στο οποίο απευθύνεται και τα δεδομένα εισόδου στη μορφή που απαιτείται για την παροχή συμβουλών από το σύστημα. Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα «7.1. Προτεινόμενη μεθοδολογία για την παραλληλοποίηση συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων», ένα σύστημα υψηλής επίδοσης πρέπει να λειτουργεί διαρκώς σε «κατάσταση αναμονής» για την αποδοχή αιτήσεων υποστήριξης αποφάσεων, να διεκπεραιώνει κάθε αίτηση αξιοποιώντας το παράλληλο υλικό και να επιστρέφει άμεσα στην «κατάσταση αναμονής» για αποδοχή και εξυπηρέτηση νέων αιτήσεων. Η απαίτηση αυτή καλύπτεται μέσω της λειτουργίας των παράλληλων συστημάτων ως διεργασίες -«δαίμονες» (daemon processes) στο περιβάλλον της συστοιχίας. Πρακτικά, μετά την αρχικοποίηση, το σύστημα εισέρχεται σε έναν ατέρμονα βρόχο και αναμένει την άφιξη αιτήσεων για υποστήριξη αποφάσεων, ενώ ο συγχρονισμός της ενεργοποίησης του συστήματος με δεδομένα ενός κλινικού περιστατικού και της «ανάγνωσης» της εξόδου από αυτό πραγματοποιείται μέσω μιας Εφαρμογής Συγχρονισμού.

- Εφαρμογή Συγχρονισμού

Σε κάθε σύστημα που «τρέχει» στη συστοιχία αντιστοιχεί μια Εφαρμογή Συγχρονισμού. Η εφαρμογή αυτή επιτρέπει στο σύστημα να λειτουργεί ως διεργασία - «δαίμονας» και αναλαμβάνει το συγχρονισμό των αιτήσεων που καταφτάνουν στη Διεπαφή Εργασιών. Ο συγχρονισμός πραγματοποιείται με χρήση δυαδικού σημαφόρου για την κοινή πρόσβαση σε μια διαμοιραζόμενη ενότητα μνήμης (shared memory segment). Το περιεχόμενο της αίτησης καταχωρείται στη διαμοιραζόμενη ενότητα μνήμης, το σύστημα το ανακτά και το επεξεργάζεται με βάση το εσωτερικό του μοντέλο αναπαράστασης της γνώσης (π.χ. ένα δίκτυο Bayes) και καταχωρεί τα αποτελέσματα στην ίδια ενότητα μνήμης. Στο Σχήμα 13-2: *Εφαρμογή Συγχρονισμού* απεικονίζεται τμήμα του κώδικα της Εφαρμογής Συγχρονισμού

της παράλληλης έκδοσης του προτύπου συστήματος υποστήριξης αποφάσεων για τη θεραπεία των βακτηριακών λοιμώξεων (βλ. Κεφάλαιο 7).

```
int p = P(semid, buf_space);
sprintf (shared_memory, argv[1]); // καταχώρησε το περιεχόμενο της
αίτησης στη διαμοιραζόμενη μνήμη
int v = V(semid, buf_used);
p = P (semid, buf_space);
printf ("%s", shared_memory); // ανέκτησε τα αποτελέσματα του
συστήματος υποστήριξης αποφάσεων από τη διαμοιραζόμενη μνήμη
```

Σχήμα 13-2: Εφαρμογή Συγχρονισμού

- Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων

Μετά την αρχικοποίηση, το παράλληλο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων εισέρχεται σε έναν ατέρμονα βρόχο (Σχήμα 13-3: *Ατέρμων βρόχος υποστήριξης αποφάσεων*). Μέσα στο βρόχο, η μέθοδος παροχής συμβουλών αποτελεί την κρίσιμη περιοχή και η πρόσβαση σε αυτή προστατεύεται από το δυαδικό σηματοφόρο. Η μέθοδος αυτή ανακτά τα δεδομένα από τη διαμοιραζόμενη ενότητα μνήμης και καταχωρεί τα αποτελέσματα στην ίδια ενότητα.

```
while(1) {
    int p = P(semid, buf_used);
    m->CalculateAdvice (szEncounterID1, shared_memory);
    int v = V(semid, buf_space);
};
```

Σχήμα 13-3: Ατέρμων βρόχος υποστήριξης αποφάσεων

Συνοπτικά, τα βήματα που ακολουθούνται κατά την ενεργοποίηση της Διεπαφής Εργασιών με μια αίτηση είναι τα εξής:

- 1) Με βάση τον αναγνωριστικό κωδικό του συστήματος που περιέχεται στην αίτηση καλείται μέσω πρωτοκόλλου Secure Shell (SSH) η αντίστοιχη Εφαρμογή Συγχρονισμού με όρισμα το περιεχόμενο της αίτησης (τα δεδομένα εισόδου του συστήματος).

- 2) Η Εφαρμογή Συγχρονισμού καλεί τη λειτουργία P για να δεσμεύσει τη διαμοιραζόμενη ενότητα μνήμης, καταχωρεί σε αυτήν το περιεχόμενο της αίτησης και καλεί τη λειτουργία V για να «απελευθερώσει» τη μνήμη.
- 3) Η διαμοιραζόμενη ενότητα μνήμης δεσμεύεται από την εφαρμογή του συστήματος υποστήριξης αποφάσεων, το οποίο «διαβάζει» την είσοδο, και ελευθερώνεται όταν ολοκληρωθεί η καταγραφή των αποτελεσμάτων του συστήματος στον κοινό αποθηκευτικό χώρο.
- 4) Τέλος, η Εφαρμογή Συγχρονισμού ανακτά τα αποτελέσματα και τα προωθεί στη Διεπαφή Εργασιών.

13.2.2. Διεπαφή Παρακολούθησης

Η Διεπαφή Παρακολούθησης παρέχει στην Υπηρεσία Δρομολόγησης πληροφορίες για τη δομή και την τρέχουσα κατάσταση απομακρυσμένων συστοιχιών. Αυτό καθίσταται δυνατό «εξάγοντας» πληροφορίες από το σύστημα αρχείων procfs (proc file system), στο οποίο τα αρχεία παρουσιάζουν την τρέχουσα κατάσταση του συστήματος, δηλαδή τις παραμέτρους του πυρήνα, των οδηγών συσκευών, τις διεργασίες του συστήματος, κλπ. Το procfs είναι εκ των προτέρων ενεργοποιημένο σε κάθε πυρήνα του Linux και ο αρμός του (mount point) είναι πάντα ο κατάλογος /proc.

Η Διεπαφή Παρακολούθησης αποτελεί μια υπηρεσία ιστού (web service) που δέχεται αιτήσεις SOAP/HTTP(S) για την τρέχουσα κατάσταση της συστοιχίας υπολογιστών που εξυπηρετεί και επιστρέφει βασικές πληροφορίες για κάθε κόμβο σε μια προκαθορισμένη δομή XML, όπου οι ετικέτες ακολουθούν την ονοματολογία GLUE (βλ. Ενότητα 8.5. Grid Laboratory Uniform Environment (GLUE)). Για το σκοπό αυτό, η Διεπαφή Παρακολούθησης συνδέεται σε κάθε κόμβο της συστοιχίας μέσω πρωτοκόλλου Secure Shell (SSH) και εκτελεί μια σειρά εντολών κελύφους (shell) που εξάγουν βασικές πληροφορίες. Οι βασικές παράμετροι που επιλέξαμε να εξάγουμε από τους κόμβους των συστοιχιών είναι οι εξής:

- **SMPSize**

Ο αριθμός των επεξεργαστών (για κόμβους συμμετρικής πολλαπλής επεξεργασίας ή SMP)

- **Load1Min**

Φόρτος του επεξεργαστή για το τελευταίο 1 λεπτό

- **Load5Min**

Φόρτος του επεξεργαστή για τα τελευταία 5 λεπτά

- **Load15Min**

Φόρτος του επεξεργαστή για τα τελευταία 15 λεπτά

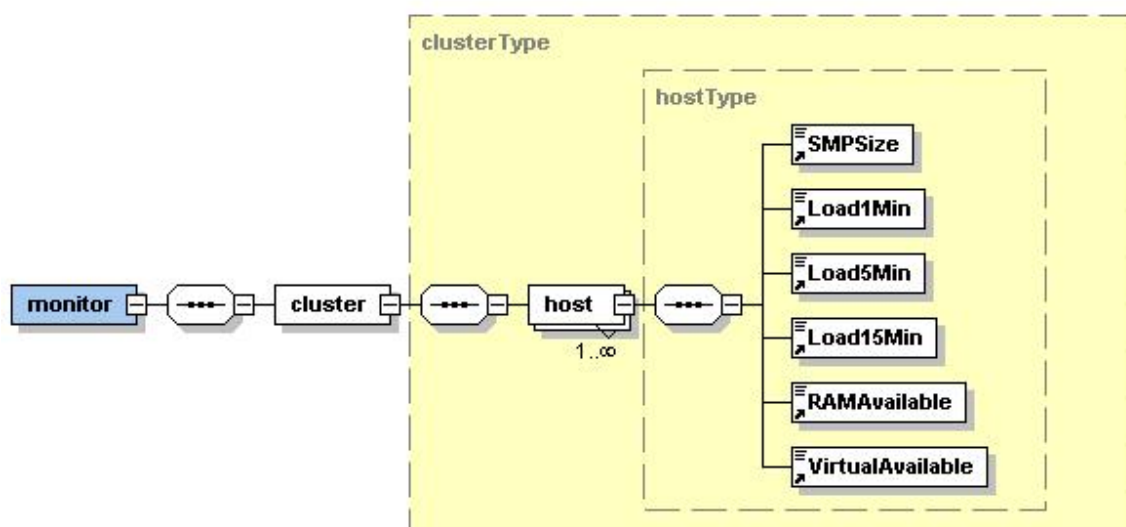
- **RAMAvailable**

Ελεύθερη μνήμη RAM

- **VirtualAvailable**

Διαθέσιμη εικονική μνήμη

Οι παράμετροι αυτοί επιτρέπουν στην Ενότητα Συλλογής Πληροφοριών της Υπηρεσίας Δρομολόγησης Αιτήσεων να ενημερώσει τον πίνακα Εκτιμώμενου Χρόνου Ολοκλήρωσης των αιτήσεων (βλ. Κεφάλαιο 14). Για παράδειγμα, υπερβολική αύξηση του φόρτου σε κάποια συστοιχία ή μη επαρκής διαθέσιμη μνήμη μπορεί να οδηγήσουν στον αποκλεισμό της συγκεκριμένης συστοιχίας από τον αλγόριθμο χρονοδρομολόγησης. Στο Σχήμα 13-4: *XML Schema για την απόκριση της Διεπαφής Παρακολούθησης* παρουσιάζεται το XML Schema με το οποίο συμμορφώνεται η απόκριση της Διεπαφής Παρακολούθησης.



Σχήμα 13-4: XML Schema για την απόκριση της Διεπαφής Παρακολούθησης

13.3. Υλοποίηση της Υπηρεσίας σε περιβάλλον Linux

Για την ασφαλή πρόσβαση του εξυπηρετητή δικτύου στις συστοιχίες υπολογιστών, όπου είναι εγκατεστημένα τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων, χρησιμοποιήθηκε ως διεπαφή-πελάτη το λογισμικό Net::SSH::Perl [2], που αποτελεί μια υλοποίηση του πρωτοκόλλου SSH για τη γλώσσα Perl. Οι διεπαφές των υπηρεσιών ιστού (Εργασιών και Παρακολούθησης) υλοποιήθηκαν με χρήση του λογισμικού SOAP::Lite [3], που αποτελεί μια απλή και «ελαφριά» υλοποίηση διεπαφών του πρωτοκόλλου Simple Object Access Protocol (SOAP) [4], τόσο από την μεριά του πελάτη, όσο και από τη μεριά του εξυπηρετητή. Στο Σχήμα 13-5: *Εξαγωγή διαγνωστικής πληροφορίας από το σύστημα αρχείων /procfs* παρατίθεται τμήμα του κώδικα Perl για την εξαγωγή από το σύστημα αρχείων `procfs` και την κωδικοποίηση σε XML πληροφοριών σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση ενός υπολογιστικού κόμβου.

```

for my $server (keys %servers){

eval {
    $ssh = Net::SSH::Perl->new($server);
    $ssh->login("username", "passwd");
};
if ($?) {
    ...
}
else {

$res = $res."<host name='". $server.'">";
my($smpsize,$stderr) = $ssh->cmd('cat /proc/cpuinfo | grep processor
| wc -l');
$res=$res."<SMPSize>". $smpsize."</SMPSize>";
my($load1min,$stderr) = $ssh->cmd('cat /proc/loadavg | cut -d" " -f1
');
$res=$res."<Load1Min>". $load1min."</Load1Min>";
my($load5min,$stderr) = $ssh->cmd('cat /proc/loadavg | cut -d" " -f2
');
$res=$res."<Load5Min>". $load5min."</Load5Min>";
my($load15min,$stderr) = $ssh->cmd('cat /proc/loadavg | cut -d" " -f3
');
$res=$res."<Load15Min>". $load15min."</Load15Min>";
my($memfree) = $ssh->cmd('cat /proc/meminfo | awk \''$1 ~ /^MemFree:/
{print $2}\''');
$res=$res."<RAMAvailable>". $memfree."</RAMAvailable>";
my($swapfree) = $ssh->cmd('cat /proc/meminfo | awk \''$1 ~
/^SwapFree:/ {print $2}\''');
$res=$res."<VirtualAvailable>". $swapfree."</VirtualAvailable>";
$res=$res."</host>";
}
}

```

Σχήμα 13-5: Εξαγωγή διαγνωστικής πληροφορίας από το σύστημα αρχείων /procfs

13.4. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1]. The Internet Engineering Task Force, RFC 4251, The Secure Shell (SSH) Protocol Architecture, Διαθέσιμο από την ιστοσελίδα: <http://www.ietf.org/rfc/rfc4251.txt?number=4251>
- [2]. Net::SSH::Perl. Διαθέσιμο από την ιστοσελίδα: <http://www.stupidfool.org/perl/docs/perldoc/Net/SSH/Perl.html>
- [3]. SOAP::Lite for Perl, Διαθέσιμο από την ιστοσελίδα: <http://soaplite.com/>
- [4]. Simple Object Access Protocol (SOAP) 1.1, Διαθέσιμο από την ιστοσελίδα: <http://www.w3.org/TR/soap/>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14. ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΙΤΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

14.1. Εισαγωγή

Η λειτουργία του κατανεμημένου περιβάλλοντος ενορχηστρώνεται από την Υπηρεσία Δρομολόγησης Αιτήσεων, η οποία θα ονομάζεται στο εξής «Υπηρεσία Δρομολόγησης», καθώς δρομολογεί τις αιτήσεις για υποστήριξη αποφάσεων προς τους υπολογιστικούς πόρους που συμμετέχουν στο περιβάλλον. Η Υπηρεσία Δρομολόγησης δέχεται αιτήσεις για υποστήριξη αποφάσεων από το Υποσύστημα Διεπαφής Χρήστη, τις προωθεί για επεξεργασία σε τοπικούς ή απομακρυσμένους υπολογιστικούς πόρους και επιστρέφει τη σύνθεση των αποτελεσμάτων στους σταθμούς εργασίας για παρουσίαση μέσω μιας γραφικής διεπαφής χρήστη (Graphical User Interface - GUI).

Στη συνέχεια συνοψίζονται οι βασικότερες συνιστώσες της λειτουργίας της:

- ✓ Παροχή ενιαίας διεπαφής προς τους υπολογιστικούς πόρους που διαχειρίζεται

Η Υπηρεσία Δρομολόγησης παρέχει μια ενιαία διεπαφή προς τους υπολογιστικούς πόρους και τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων, μειώνοντας έτσι σημαντικά την πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος και καθιστώντας την προτεινόμενη αρχιτεκτονική επεκτάσιμη. Το κόστος ενσωμάτωσης νέων υπολογιστικών πόρων και νέων συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων στο περιβάλλον ελαχιστοποιείται, καθώς απαιτείται η ανάπτυξη

μιας μόνο διεπαφής προς την Υπηρεσία Δρομολόγησης και όχι πολλαπλών διεπαφών προς τις άλλες Υπηρεσίες.

- ✓ Ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου απόκρισης των αιτήσεων

Η Υπηρεσία Δρομολόγησης στοχεύει στην ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου απόκρισης των αιτήσεων για υποστήριξη αποφάσεων από πολλαπλά συστήματα μέσω του μετασχηματισμού τους σε ανεξάρτητες υπο-εργασίες και τη βέλτιστη ανάθεση των υπο-εργασιών σε υπολογιστικούς πόρους με βάση έναν αλγόριθμο χρονοδρομολόγησης.

- ✓ Σημαιολογική διαλειτουργικότητα ανάμεσα στις Υπηρεσίες και στα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων


Η Υπηρεσία επιμελείται το μετασχηματισμό της κοινής κωδικοποίησης του εικονικού φακέλου στις εξειδικευμένες κωδικοποιήσεις κάθε επιμέρους συστήματος υποστήριξης αποφάσεων. Με τον τρόπο αυτό, η διαθέσιμη κλινική πληροφορία συλλέγεται και διακινείται με ενιαίο τρόπο μέσα στο περιβάλλον (σύμφωνα με την κωδικοποίηση ASTM E2369-05), ενώ η Υπηρεσία Δρομολόγησης αναλαμβάνει όλες τις λεπτομέρειες που αφορούν τη σηματολογική αντιστοίχιση του περιεχομένου του Εικονικού Ιατρικού Φακέλου στις κωδικοποιήσεις των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων.

- ✓ Κεντροποίηση του ελέγχου διακίνησης πληροφορίας

Όλες οι αιτήσεις για υποστήριξη αποφάσεων προς τους υπολογιστικούς κόμβους του περιβάλλοντος διακινούνται μέσω της Υπηρεσίας Δρομολόγησης, κάτι που επιτρέπει την παρακολούθηση και καταγραφή της πληροφορίας που διακινείται μέσα στο ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων. Επίσης, η αρχιτεκτονική διευκολύνει την συνολική εφαρμογή πολιτικών που αφορούν την ασφάλεια του περιβάλλοντος, π.χ. μέσω της αποδοχής μόνο των αιτήσεων που περιλαμβάνουν την κατάλληλη πληροφορία ασφάλειας στην επικεφαλίδα του μηνύματος.

- ✓ Συντονισμός του κατανεμημένου περιβάλλοντος

Η Υπηρεσία Δρομολόγησης αποτελεί το «συντονιστή» του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος και επιτρέπει τη δυναμική ενσωμάτωση πόρων και συστημάτων. Η ενημέρωση της Υπηρεσίας για την παρουσία ενός νέου υπολογιστικού πόρου στο περιβάλλον επιτρέπει την άμεση ένταξή του στο πρόγραμμα χρονοδρομολόγησης και την αξιοποίησή του για την υποστήριξη κλινικών αποφάσεων από τα συστήματα που είναι εγκατεστημένα σε αυτόν.

 Αντίθετα με την αρχιτεκτονική των υπηρεσιών Υπολογιστικού Πλέγματος, η λειτουργία του κατανεμημένου περιβάλλοντος δεν προϋποθέτει την ύπαρξη κάποιου τοπικού συστήματος διαχείρισης πόρων στους υπολογιστικούς κόμβους που συμμετέχουν σε αυτό. Αντίθετα, η τοποθέτηση των αιτήσεων για υποστήριξη αποφάσεων σε ουρά αναμονής λαμβάνει χώρα στην Υπηρεσία Δρομολόγησης και η άμεση διαθεσιμότητα των απομακρυσμένων υπολογιστικών κόμβων που θα αναλάβουν την επεξεργασία διαπιστώνεται πριν από την αποστολή των εργασιών στους κόμβους.

14.2. Η λειτουργία της Υπηρεσίας Δρομολόγησης

Η Υπηρεσία Δρομολόγησης υλοποιεί μια υπηρεσία ιστού (web service interface) για την αποστολή αιτήσεων προς αυτή. Οι αιτήσεις περιλαμβάνουν ένα έγκυρο έγγραφο του Εικονικού Ιατρικού Φακέλου, το οποίο συγκεντρώνει την τρέχουσα πληροφορία για ένα κλινικό περιστατικό και εντολές ενεργοποίησης υπολογιστικών συστημάτων του περιβάλλοντος. Κατά την άφιξη μιας αίτησης για υποστήριξη αποφάσεων στη διεπαφή της υπηρεσίας ιστού, πραγματοποιούνται τα ακόλουθα βήματα:

1. Πιστοποίηση της ταυτότητας της εφαρμογής που εκδίδει την αίτηση

Η ταυτότητα της εφαρμογής που εκδίδει την αίτηση εξακριβώνεται από την επικεφαλίδα του μηνύματος, η οποία είναι κωδικοποιημένη σύμφωνα με την προδιαγραφή Ασφάλειας Υπηρεσιών του Παγκοσμίου Ιστού (WS-Security) [1]. Ειδικότερα, ορίζεται και εφαρμόζεται η πολιτική αποδοχής των μηνυμάτων από την Υπηρεσία Δρομολόγησης με βάση την προδιαγραφή WS-Policy [2]. Για παράδειγμα, μπορούμε να καθορίσουμε ότι ένα μήνυμα γίνεται αποδεκτό από την υπηρεσία μόνο αν είναι υπογεγραμμένο με ένα έγκυρο ψηφιακό πιστοποιητικό X.509. Στο Σχήμα 14-1: *Ορισμός της πολιτικής ασφάλειας για την Υπηρεσία Δρομολόγησης* βλέπουμε τον ορισμό

της παραπάνω πολιτικής για την Υπηρεσία Δρομολόγησης με βάση την προδιαγραφή WS-Policy. Ειδικότερα, στον ορισμό του Σχήμα 14-1 καθορίζεται ότι μόνο το σώμα του μηνύματος πρέπει να είναι υπογεγραμμένο για να γίνει αποδεκτό το μήνυμα. Ο ορισμός της πολιτικής μέσω της προδιαγραφής WS-Policy παρέχει την απαιτούμενη ευελιξία για την τροποποίηση του επιπέδου ασφάλειας παραμετρικά και ανάλογα με τις ανάγκες κάθε υλοποίησης της Υπηρεσίας Δρομολόγησης.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<policyDocument xmlns="http://schemas.microsoft.com/wse/2003/06/Policy">
  <mappings xmlns:wse="http://schemas.microsoft.com/wse/2003/06/Policy">
    <defaultEndpoint>
      <defaultOperation>
        <request policy="#Sign-X.509-1" />
        <response policy="" />
        <fault policy="" />
      </defaultOperation>
    </defaultEndpoint>
  </mappings>
  <policies ...>
    <wsp:Policy wsu:Id="Sign-X.509-1">
      <wsp:MessagePredicate wsp:Usage="wsp:Required"
Dialect="http://schemas.xmlsoap.org/2002/12/wsse#part">wsp:Body()
wsp:Header(wsa:To) wsp:Header(wsa:Action) wsp:Header(wsa:MessageID)
wse:Timestamp()</wsp:MessagePredicate>
      <wssp:Integrity wsp:Usage="wsp:Required">
        <wssp:TokenInfo>
          <wssp:SecurityToken wse:IdentityToken="true">
            <wssp:TokenType>http://docs.oasis-
open.org/wss/2004/01/oasis-200401-wss-x509-token-profile-
1.0#X509v3</wssp:TokenType>
          </wssp:SecurityToken>
        </wssp:TokenInfo>
      </wssp:MessageParts
Dialect="http://schemas.xmlsoap.org/2002/12/wsse#part">
        wsp:Body()</wssp:MessageParts>
      </wssp:Integrity>
    </wsp:Policy>
  </policies>
</policyDocument>
```

Σχήμα 14-1: Ορισμός της πολιτικής ασφάλειας για την Υπηρεσία Δρομολόγησης

2. Καταγραφή αίτησης σε Αρχείο Ιστορικού

Κάθε αίτηση προς την Υπηρεσία καταγράφεται σε ένα αρχείο ιστορικού, με στόχο τον έλεγχο της λειτουργίας του συστήματος.

3. Μετασχηματισμός του Εικονικού Φακέλου σε ανεξάρτητες υπό-εργασίες

Κατά την άφιξη στην Υπηρεσία, οι αιτήσεις τοποθετούνται σε μια ουρά και εξυπηρετούνται με τη σειρά που καταφθάνουν (First In First Out ή FIFO). Κάθε αίτηση που εξάγεται από την ουρά, μετασχηματίζεται σε τόσες ανεξάρτητες υπό-εργασίες, όσα και τα συστήματα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων στα οποία απευθύνεται. Η παραγωγή των ανεξάρτητων υπό-εργασιών συνεπάγεται και το μετασχηματισμό της κοινής κωδικοποίησης ASTM E2369-05 στην κωδικοποίηση που απαιτείται για την άμεση επεξεργασία από τα συστήματα.

4. Χρονοδρομολόγηση των υπό-εργασιών

Στη συνέχεια, οι υπό-εργασίες ανατίθενται σε υπολογιστικούς πόρους του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος με βάση έναν αλγόριθμο χρονοδρομολόγησης που επιδιώκει την ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου ολοκλήρωσης των υπό-εργασιών. Ο αλγόριθμος λαμβάνει υπόψη την πληροφορία σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση των υπολογιστικών πόρων, η οποία παρέχεται στην Υπηρεσία Δρομολόγησης μέσω της Διεπαφής Παρακολούθησης κάθε πόρου (βλ. Ενότητα 13.2.2. Διεπαφή Παρακολούθησης).

5. Αποστολή των υπό-εργασιών στους υπολογιστικούς πόρους του περιβάλλοντος

Η αποστολή των υπό-εργασιών αφορά την ασύγχρονη ενεργοποίηση των Διεπαφών Εργασιών των υπολογιστικών πόρων που επιλέχθηκαν από τον αλγόριθμο χρονοδρομολόγησης με τα δεδομένα των υπό-εργασιών.

6. Συλλογή και σύνθεση των αποτελεσμάτων σε μια ενιαία αναπαράσταση XML

Οι αποκρίσεις των Διεπαφών Εργασιών των υπολογιστικών πόρων συντίθενται σε μια ενιαία αναπαράσταση XML.

7. Επιστροφή των αποτελεσμάτων στο σταθμό εργασίας ενεργοποίησης

Τα αποτελέσματα ενός ή περισσότερων συστημάτων για το τρέχον κλινικό περιστατικό επιστρέφονται στο Υποσύστημα Διεπαφής Χρήστη που ενεργοποίησε την Υπηρεσία

Δρομολόγησης. Η αναπαράσταση των αποτελεσμάτων σε οθόνες ενός γραφικού περιβάλλοντος GUI (Graphical User Interface) γίνεται δυναμικά μέσω κατάλληλων μετασχηματισμών XSL-T [3], ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες παρουσίασης π.χ. μέσω λογισμικού πλοήγησης ή μέσω του περιβάλλοντος εφαρμογών γραφείου Microsoft Infopath.

Τα παραπάνω βήματα απεικονίζονται γραφικά στο Σχήμα 14-2, στο οποίο παρουσιάζονται και οι ενότητες λογισμικού που συνθέτουν την Υπηρεσία Δρομολόγησης. Ειδικότερα, η Υπηρεσία περιλαμβάνει τις ακόλουθες ενότητες:

- Ενότητα Αντιστοίχισης Περιεχομένου

Παράγει το σύνολο δεδομένων εισόδου κάθε διακριτού συστήματος υποστήριξης αποφάσεων, μετασχηματίζοντας την κοινή κωδικοποίηση του εικονικού φακέλου στις εξειδικευμένες κωδικοποιήσεις κάθε επιμέρους συστήματος με χρήση τεχνολογίας XSL-T. Η λειτουργία της παρουσιάζεται αναλυτικότερα στην Ενότητα 14.6. Ενότητα Αντιστοίχισης Περιεχομένου).

- Ενότητα Συλλογής Πληροφοριών

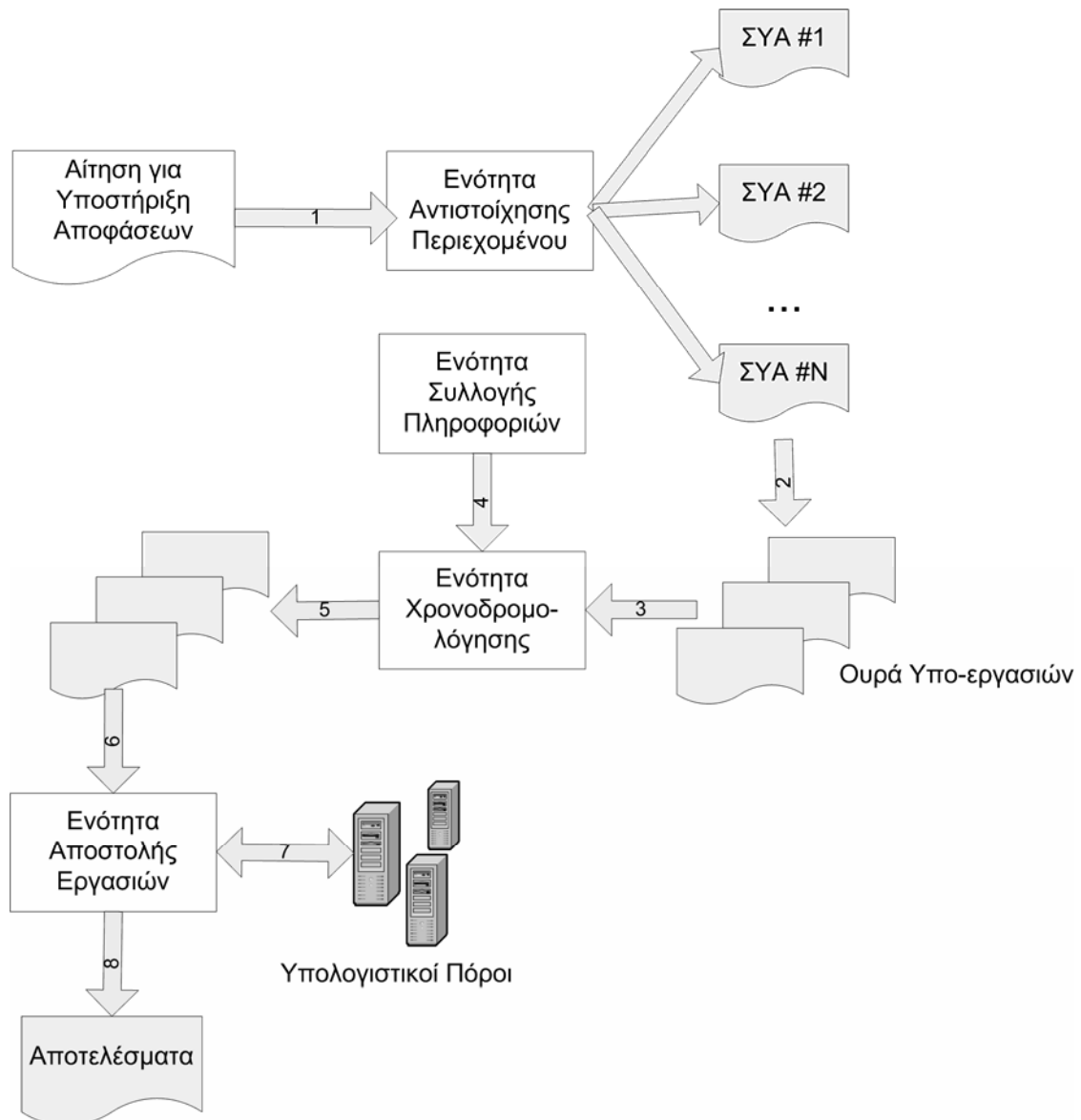
Επικοινωνεί με τη Διεπαφή Παρακολούθησης όλων των διαθέσιμων υπολογιστικών πόρων και συγκεντρώνει πληροφορία για την τρέχουσα κατάσταση του κατανεμημένου περιβάλλοντος. (14.4. Ενότητα Συλλογής Πληροφοριών).

- Ενότητα Χρονοδρομολόγησης

Ο στόχος της είναι να ελαχιστοποιήσει το χρόνο ολοκλήρωσης του συνόλου των υπό-εργασιών, αναθέτοντας σε κάθε εργασία τον πιο κατάλληλο προορισμό, με βάση έναν αλγόριθμο χρονοδρομολόγησης. (14.5. Ενότητα Χρονοδρομολόγησης)

- Ενότητα Αποστολής Εργασιών

Ενεργοποιεί ασύγχρονα τις Διεπαφές Εργασιών των υπολογιστικών πόρων που επιλέχθηκαν από τον αλγόριθμο χρονοδρομολόγησης και συνθέτει τα αποτελέσματα σε μια ενιαία κωδικοποίηση XML (14.7. Ενότητα Αποστολής Εργασιών).



Σχήμα 14-2: Λειτουργία της Υπηρεσίας Δρομολόγησης

14.3. Αρχεία Ρυθμίσεων της Υπηρεσίας

Τα αρχεία ρυθμίσεων της υπηρεσίας επιτρέπουν την προσαρμογή και επέκταση του περιβάλλοντος με παραμετρικό τρόπο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η ενσωμάτωση νέων υπολογιστικών κόμβων και συστημάτων στο περιβάλλον να απαιτεί μόνο την ενημέρωση των αρχείων ρυθμίσεων. Εκτός από το αρχείο ορισμού της πολιτικής της υπηρεσίας, που παρουσιάστηκε στην Ενότητα «14.2. Η λειτουργία της Υπηρεσίας Δρομολόγησης», τα αρχεία ρυθμίσεων περιλαμβάνουν ακόμα τον Κατάλογο Πόρων, το Αρχείο Ελάχιστων Υπολογιστικών Απαιτήσεων και τον Πίνακα ονομαστικών χρόνων ολοκλήρωσης εργασιών.

14.3.1. Κατάλογος Πόρων

Στο αρχείο αυτό καταγράφονται οι υπολογιστικοί πόροι που συμμετέχουν στο περιβάλλον. Σε κάθε πόρο αντιστοιχεί ένας μοναδικός αναγνωριστικός κωδικός (ID), η διεύθυνση URL της Διεπαφής Εργασιών που παρέχει την πρόσβαση στον πόρο και μια ενδεικτική ονομασία. Στο επόμενο τμήμα XML παρουσιάζονται 2 ενδεικτικές εγγραφές του καταλόγου. Η Διεπαφή Εργασιών στον 1^ο πόρο έχει υλοποιηθεί σε τεχνολογία Perl, ενώ στον 2^ο σε τεχνολογία Microsoft.NET.

```
<resource ID="1" Url="http://147.102.3.51:82/perl/echo.cgi">Remote Site  
No.1</resource>  
<resource ID="2" Url="http:// 147.102.3.20/RemoteSite2/Service1.aspx">Remote  
Site No.2</resource>
```

Σχήμα 14-3: Κατάλογος Πόρων

14.3.2. Αρχείο Ελάχιστων Υπολογιστικών Απαιτήσεων

Οι απαιτήσεις αυτές εκφράζουν την ελάχιστη απαιτούμενη υπολογιστική ισχύ για την αποδοτική επεξεργασία μιας αίτησης προς κάποιο σύστημα υποστήριξης κλινικών

αποφάσεων, ανεξάρτητα από τον πόρο του περιβάλλοντος στον οποίο θα λάβει χώρα η επεξεργασία. Για παράδειγμα, το πρότυπο σύστημα υψηλής επίδοσης για τις βακτηριακές λοιμώξεις απαιτεί τουλάχιστον 500 Mb ελεύθερη μνήμη RAM στους κόμβους μιας συστοιχίας, λόγω του μεγάλου μεγέθους του δέντρου ζεύξης που παράγεται από το μετασχηματισμό του δικτύου Bayes. Στο επόμενο τμήμα XML απεικονίζεται ο ορισμός της απαίτησης αυτής, με την επιπλέον απαίτηση ο μέσος φόρτος του επεξεργαστή για το τελευταίο 1 λεπτό να μην υπερβαίνει τη μονάδα και η διαθέσιμη εικονική μνήμη να είναι περισσότερη από 100Mb. Οι ετικέτες XML που χρησιμοποιούνται στο αρχείο Ελάχιστων Υπολογιστικών Απαιτήσεων ονομάζονται σύμφωνα με το μοντέλο πληροφορίας GLUE (βλ. Ενότητα 8.5. Grid Laboratory Uniform Environment (GLUE)).

```
<task num="0" name="DSS1">
  <Load1Min op="less">1.00</Load1Min>
  <RAMAvailable op="greater">500000</RAMAvailable>
  <VirtualAvailable op="greater">100000</VirtualAvailable>
</task>
```

Σχήμα 14-4: Αρχείο Ελάχιστων Υπολογιστικών Απαιτήσεων

14.3.3. Πίνακας ονομαστικών χρόνων ολοκλήρωσης εργασιών

Το αρχείο αυτό χρησιμοποιείται για να αρχικοποιήσει τον πίνακα Εκτιμώμενου Χρόνου Ολοκλήρωσης (EXO) με τους ονομαστικούς μέσους χρόνους ολοκλήρωσης των εργασιών στους διαθέσιμους υπολογιστικούς πόρους. Κάθε θέση [i, j] του πίνακα περιλαμβάνει το μέσο χρόνο ολοκλήρωσης στον πόρο j μιας αίτησης που απευθύνεται στο σύστημα i, υποθέτοντας ότι δεν υπάρχει άλλος φόρτος εργασίας στον πόρο. Στο χρόνο αυτό συνυπολογίζεται και ο χρόνος μεταφοράς των δεδομένων από την Υπηρεσία Δρομολόγησης σε κάποιον απομακρυσμένο υπολογιστικό κόμβο. Ο πίνακας Εκτιμώμενου Χρόνου Ολοκλήρωσης που διατηρείται από την Υπηρεσία Συλλογής Πληροφοριών (βλ. Υπηρεσία Συλλογής Πληροφοριών) είναι δυναμικός και μπορεί να διαφέρει από αυτόν που περιγράφεται στα αρχεία ρυθμίσεων, καθώς αντιπροσωπεύει την τρέχουσα κατάσταση του περιβάλλοντος.

14.4. Ενότητα Συλλογής Πληροφοριών

Η βασική λειτουργία της Ενότητας Συλλογής Πληροφοριών είναι να διατηρεί έναν ενημερωμένο πίνακα Εκτιμώμενου Χρόνου Ολοκλήρωσης (EXO) για αιτήσεις υποστήριξης αποφάσεων στους διαθέσιμους πόρους του κατανεμημένου περιβάλλοντος. Προκειμένου να ενημερώσει τον πίνακα, επικοινωνεί με τη Διεπαφή Παρακολούθησης όλων των διαθέσιμων πόρων και ανακτά πληροφορία για την τρέχουσα κατάσταση της αντίστοιχης συστοιχίας ή του αντίστοιχου σταθμού εργασίας. Η πληροφορία αυτή ακολουθεί μια καθορισμένη δομή XML, όπου οι ετικέτες (tags) είναι σύμφωνες προς την ονοματολογία του σχήματος GLUE (Grid Laboratory for a Uniform Environment). Κάθε στήλη του πίνακα EXO αντιστοιχεί σε ένα διαθέσιμο πόρο του περιβάλλοντος, ενώ κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε ένα ΣΥΑ και περιλαμβάνει τον ενδεικτικό χρόνο ολοκλήρωσης μιας αίτησης προς το συγκεκριμένο ΣΥΑ σε καθένα από τους πόρους του περιβάλλοντος.

	Πόρος #1	Πόρος #2	Πόρος #3	Πόρος #4
ΣΥΑ #1	4000	4800	13400	5000
ΣΥΑ #2	5000	8200	8800	8900
ΣΥΑ #3	5500	6800	9400	9300
ΣΥΑ #4	5200	6000	7800	10800

Σχήμα 14-5: Πίνακας Εκτιμώμενου Χρόνου Ολοκλήρωσης Υπό-εργασιών (milliseconds)

Για κάθε πόρο i που συμμετέχει στο κατανεμημένο περιβάλλον, ανακτάται η πληροφορία κατάστασης από τη Διεπαφή Παρακολούθησης, γίνονται οι απαραίτητοι έλεγχοι και ενημερώνεται κατάλληλα ο πίνακας EXO.

Εάν η Διεπαφή Παρακολούθησης του πόρου i δεν αποκριθεί μέσα στο προκαθορισμένο χρονικό πλαίσιο που έχει τεθεί, ο πόρος i θεωρείται εκτός λειτουργίας και όλες οι θέσεις της αντίστοιχης (i -στης) στήλης του πίνακα EXO παίρνουν τιμή ∞ .

Αν η Διεπαφή Παρακολούθησης του πόρου i αποκριθεί:

- Ελέγχονται οι ελάχιστες υπολογιστικές απαιτήσεις κάθε συστήματος υποστήριξης αποφάσεων j , όπως έχουν οριστεί στο Αρχείο Ελάχιστων Υπολογιστικών

Απαιτήσεων και εάν δεν πληρούνται στους κόμβους του πόρου i υπό εξέταση, η θέση $[i,j]$ του πίνακα EXO παίρνει τιμή ∞ .

- Αν το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων j δεν είναι διαθέσιμο στον πόρο i υπό εξέταση, η θέση $[i,j]$ του πίνακα EXO παίρνει τιμή ∞ .

14.5. Ενότητα Χρονοδρομολόγησης

Η Ενότητα Χρονοδρομολόγησης (EX) δέχεται ως είσοδο μια ουρά από εργασίες, όπου κάθε εργασία αποτελείται από τα δεδομένα εισόδου για κάποιο σύστημα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων και τον μοναδικό κωδικό αναγνώρισης του συγκεκριμένου συστήματος μέσα στο περιβάλλον. Ο στόχος της παρούσας ενότητας λογισμικού είναι να ελαχιστοποιήσει το χρόνο ολοκλήρωσης του συνόλου των εργασιών της ουράς, αναθέτοντας σε κάθε εργασία τον πιο κατάλληλο προορισμό. Ο προορισμός μιας εργασίας είναι η διεύθυνση URL της Διεπαφής Εργασιών κάποιου τοπικού ή απομακρυσμένου υπολογιστικού κόμβου, μέσω της οποίας δίνεται η πρόσβαση στο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων. Η Ενότητα Χρονοδρομολόγησης τροποποιεί την ουρά εργασιών, συμπληρώνοντας τον προορισμό κάθε εργασίας. Για το σκοπό αυτό, η Ενότητα Χρονοδρομολόγησης επικοινωνεί με την Ενότητα Συλλογής Πληροφοριών και ανακτά την ενημερωμένη έκδοση του πίνακα Εκτιμώμενου Χρόνου Ολοκλήρωσης, σύμφωνα με τις τρέχουσες συνθήκες του κατανεμημένου περιβάλλοντος. Στη συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία επιλογής του αλγορίθμου χρονοδρομολόγησης για την ανάθεση των προορισμών στις εργασίες της ομάδας.

14.5.1. Διαδικασία επιλογής αλγορίθμου χρονοδρομολόγησης

Το βασικό ζητούμενο της χρονοδρομολόγησης είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου ολοκλήρωσης μιας αίτησης για υποστήριξη αποφάσεων από πολλαπλά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων. Η αίτηση διαιρείται σε ανεξάρτητες υπό-εργασίες – η κάθε μια από τις οποίες απευθύνεται σε ένα μοναδικό σύστημα – και ο στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου ολοκλήρωσης της ομάδας υπο-εργασιών. Το πρόβλημα της ανάθεσης ανεξάρτητων εργασιών σε μηχανήματα που ανήκουν σε ένα ετερογενές υπολογιστικό περιβάλλον είναι NP-πλήρες [3], αλλά μπορεί να αντιμετωπιστεί

αποτελεσματικά με τη χρήση ευρετικών μεθόδων. Η επιλογή του αλγορίθμου χρονοδρομολόγησης βασίστηκε στην υπόθεση ότι η ταυτόχρονη πρόσβαση των χρηστών συμβαίνει με χαμηλή συχνότητα, καθώς και στα ακόλουθα κριτήρια:

- Ικανοποιητική απόδοση στις ειδικές συνθήκες του κατανεμημένου περιβάλλοντος
- Να λαμβάνει υπόψη το σύνολο των εκκρεμών εργασιών κατά τη λήψη μιας απόφασης (λειτουργία δέσμης - batch mode)
- Απλότητα και ευκολία στην υλοποίηση του αλγορίθμου

Με βάση τα παραπάνω κριτήρια, επιλέγουμε να συγκρίνουμε την απόδοση τριών γνωστών και απλών αλγορίθμων: των Max-Min, Min-Min και Duplex.

Ο αλγόριθμος Min-Min αρχικοποιείται με το σύνολο U όλων των εργασιών που δεν έχουν ανατεθεί σε κάποιο υπολογιστικό πόρο. Μετά αναζητά το σύνολο των ελάχιστων χρόνων ολοκλήρωσης, $M = \{ \min_{0 \leq j \leq \mu} (ct(t_i, m_j)) \}, t_i \in U$, όπου $ct(t_i, m_j)$ ο χρόνος ολοκλήρωσης της εργασίας t_i στο μηχάνημα m_j . Στη συνέχεια επιλέγεται η εργασία με το συνολικό ελάχιστο χρόνο ολοκλήρωσης από το σύνολο M και ανατίθεται στο αντίστοιχο μηχάνημα. Η εργασία που μόλις ανατέθηκε αφαιρείται από το σύνολο U και η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να αντιστοιχιστούν όλες οι εργασίες σε κάποιο μηχάνημα ($U = \{\emptyset\}$) [4].

Ο αλγόριθμος Min-Min αναθέτει τις εργασίες με τέτοιο τρόπο, ώστε η κατάσταση διαθεσιμότητας των μηχανημάτων να τροποποιείται κατά το ελάχιστο δυνατό. Έστω t_i η πρώτη εργασία που ανατίθεται σε ένα «άδειο» σύστημα. Το μηχάνημα που ολοκληρώνει την εργασία συντομότερα, είναι και το μηχάνημα που την εκτελεί ταχύτερα. Για κάθε εργασία που ανατίθεται μετά την t_i , ο αλγόριθμος Min-min αλλάζει τη διαθεσιμότητα του μηχανήματος m_j κατά το ελάχιστο δυνατό. Η λογική του Min-Min είναι ότι ο μικρότερος συνολικός χρόνος ολοκλήρωσης μπορεί να επιτευχθεί αν περισσότερες εργασίες ανατίθεται στα μηχανήματα που τις ολοκληρώνουν νωρίτερα και τις εκτελούν ταχύτερα.

Ο αλγόριθμος Max-Min είναι παρόμοιος με τον Min-Min. Ο Max-Min αρχικοποιείται επίσης με το σύνολο U όλων των εργασιών που δεν έχουν ανατεθεί σε κάποιο πόρο. Μετά συνέχεια αναζητά το σύνολο των ελάχιστων χρόνων ολοκλήρωσης M και στη συνέχεια επιλέγει την εργασία με το συνολικό μέγιστο χρόνο ολοκλήρωσης από το σύνολο M και την

αναθέτει στον αντίστοιχο πόρο. Τέλος, η εργασία που μόλις ανατέθηκε αφαιρείται από το σύνολο U και η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να αντιστοιχιστούν όλες οι εργασίες σε κάποιο μηχάνημα ($U = \{\emptyset\}$). Ο αλγόριθμος Max-Min επιχειρεί να ελαχιστοποιήσει την αρνητική επίδραση των εργασιών με μεγάλους χρόνους ολοκλήρωσης. Για παράδειγμα, έστω ότι το σύνολο των εργασιών περιλαμβάνει πολλές εργασίες με σύντομους χρόνους ολοκλήρωσης και μια εργασία με πολύ μεγάλο χρόνο ολοκλήρωσης. Η ανάθεση της χρονοβόρας εργασίας στον καλύτερο γι' αυτήν πόρο επιτρέπει την ταυτόχρονη εκτέλεσή της με τις υπόλοιπες εργασίες. Αντίθετα, ο Min-min θα επέλεγε να εκτελέσει πρώτα τις συντομότερες εργασίες και μετά τη χρονοβόρα εργασία, ενώ αρκετά μηχανήματα θα παρέμεναν ανενεργά. Συνεπώς, σε ανάλογες περιπτώσεις ο ευρετικός αλγόριθμος Max-min οδηγεί σε καλύτερη κατανομή φόρτου και μικρότερο συνολικό χρόνο ολοκλήρωσης [5].

Ο ευρετικός αλγόριθμος Duplex αποτελεί το συνδυασμό των δύο παραπάνω αλγορίθμων, καθώς εκτελεί και τους δύο και χρησιμοποιεί την καλύτερη λύση (αυτή με το μικρότερο συνολικό χρόνο ολοκλήρωσης). Συνεπώς, μπορεί να εκμεταλλευτεί όλες τις περιπτώσεις, που είτε ο Min-Min, είτε ο Max-Min είναι πιο αποδοτικός, με αμελητέο πρόσθετο φόρτο.

14.5.2. Προσομοίωση αλγορίθμων χρονοδρομολόγησης

Η μέση απόκλιση κατά μήκος των γραμμών του πίνακα Εκτιμώμενου Χρόνου Ολοκλήρωσης αποκαλύπτει την ετερογένεια των μηχανημάτων που συμμετέχουν στο κατανομημένο περιβάλλον, ενώ η μέση απόκλιση κατά μήκος των στηλών είναι ένδειξη της ετερογένειας των εργασιών, καθώς οι τιμές μιας στήλης περιλαμβάνουν τους χρόνους ολοκλήρωσης των διαφόρων εργασιών στον ίδιο πόρο του συστήματος. Μια ταξινόμηση των διαφόρων πινάκων με βάση τα παραπάνω είναι [6]: (α) Υψηλής Ετερογένειας Εργασιών και Υψηλής Ετερογένειας Μηχανημάτων (YY), (β) Υψηλής Ετερογένειας Εργασιών και Χαμηλής Ετερογένειας Μηχανημάτων (YX), (γ) Χαμηλής Ετερογένειας Εργασιών και Υψηλής Ετερογένειας Μηχανημάτων (XY) και (δ) Χαμηλής Ετερογένειας Εργασιών και Χαμηλής Ετερογένειας Μηχανημάτων (XX). Επίσης, οι πίνακες διακρίνονται σε *συνεπείς*, στους οποίους εάν ένα μηχάνημα m_x επιτυγχάνει μικρότερο χρόνο ολοκλήρωσης από το μηχάνημα m_y για μια εργασία t_k , αυτό θα ισχύει και για κάθε άλλη εργασία t_i , $i \neq k$. Σε κάθε άλλη περίπτωση, ο πίνακας χαρακτηρίζεται *ασυνεπής*.

Για τον καθορισμό του βέλτιστου αλγορίθμου χρονοδρομολόγησης υλοποιούμε τους αλγορίθμους Max-Min, Min-Min και Duplex σε περιβάλλον Microsoft.NET (γλώσσα προγραμματισμού C#) και δημιουργούμε τεχνητούς πίνακες Εκτιμώμενου Χρόνου Ολοκλήρωσης για να συγκρίνουμε το συνολικό χρόνο ολοκλήρωσης (makespan) που επιτυγχάνεται.

```
FOR i = 0 TO 3
  FOR j = 0 TO 3
    IF (i≠0)
       $etc(i, j) = \frac{Random(MinValue, MaxValue)}{f}$ 
    ELSE
       $etc(i, j) = Random(MinValue, MaxValue)$ 
    END IF
  END FOR
END FOR
```

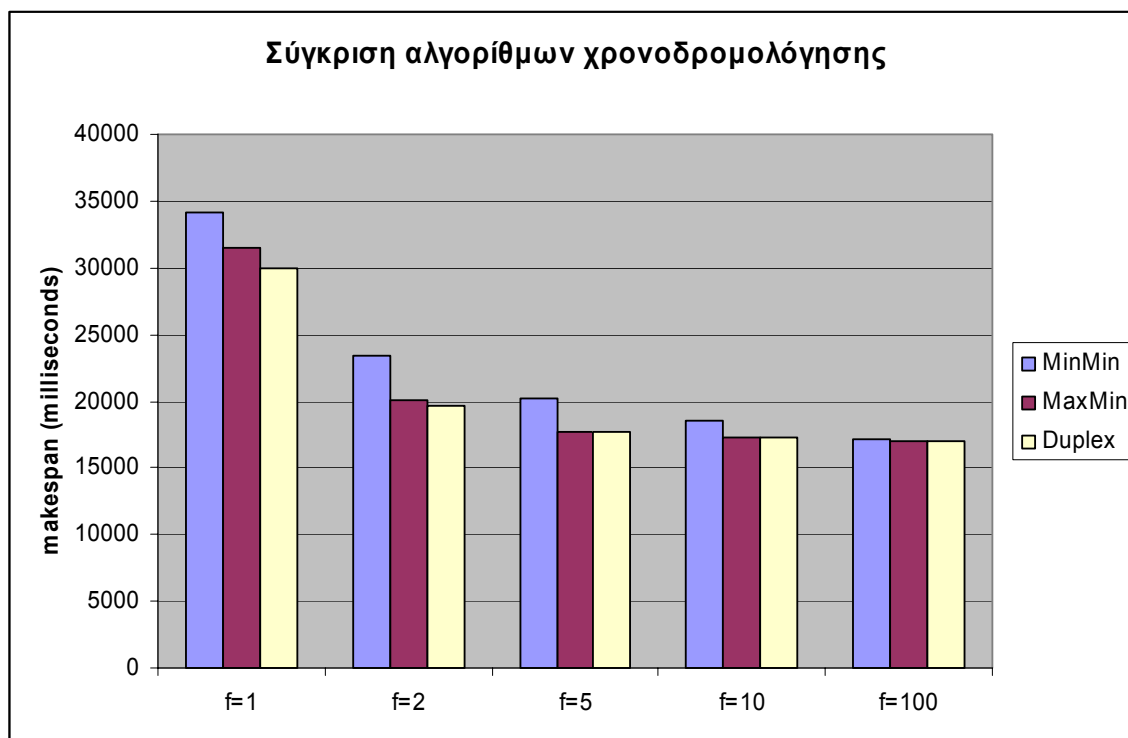
Σχήμα 14-6: Ψευδοκώδικας δημιουργίας τεχνητών πινάκων

Οι παραγόμενοι πίνακες έχουν διαστάσεις 4×4 και δημιουργούνται μέσω μιας γεννήτριας ψευδό-τυχαίων αριθμών. Καθώς το περιβάλλον που προσομοιώνουμε μπορεί να περιλαμβάνει διάφορες αρχιτεκτονικές (πολυεπεξεργαστές, συστοιχίες Beowulf ή σταθμούς εργασίας) και οι υπολογιστικές απαιτήσεις των διαφόρων συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων κυμαίνονται σημαντικά, επικεντρωνόμαστε στην παραγωγή ασυνεπών πινάκων.

Στις πραγματικές συνθήκες του κατανεμημένου περιβάλλοντος θα συμμετέχουν ένα ή περισσότερα συστήματα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων που βασίζονται σε σύνθετα δίκτυα Bayes, με μεγάλο αριθμό κόμβων και αντίστοιχα μεγάλο παραγόμενο δέντρο ζεύξης. Τα συστήματα αυτό απαιτούν μεγαλύτερο χρόνο επεξεργασίας από τα υπόλοιπα, λιγότερο

σύνθετα συστήματα, ανεξάρτητα από τον πόρο στον οποίο θα πραγματοποιηθεί η επεξεργασία. Για να συμπεριλάβουμε τη συνθήκη αυτή στην προσομοίωση χρησιμοποιούμε έναν παράγοντα f , ο οποίος δημιουργεί την απαιτούμενη διαφορά στους χρόνους ολοκλήρωσης ανάμεσα στην 1η γραμμή του πίνακα, που αντιπροσωπεύει το σύστημα με τις υψηλές υπολογιστικές απαιτήσεις, και στις υπόλοιπες, οι οποίες λαμβάνουν μια τυχαία τιμή μεταξύ των ορίων MinValue και MaxValue.

Στο Σχήμα 14-6 απεικονίζεται ο ψευδο-κώδικας για της παραγωγή των πινάκων της προσομοίωσης. Για κάθε τιμή του παράγοντα f οι αλγόριθμοι Max-Min, Min-Min και Duplex εκτελούνται 100 φορές και υπολογίζουμε το μέσο συνολικό χρόνο ολοκλήρωσης (makespan) που επιτυγχάνεται. Τα αποτελέσματα για διάφορες τιμές του παράγοντα f παρουσιάζονται στο Σχήμα 14-7.



Σχήμα 14-7: Σύγκριση αλγορίθμων χρονοδρομολόγησης

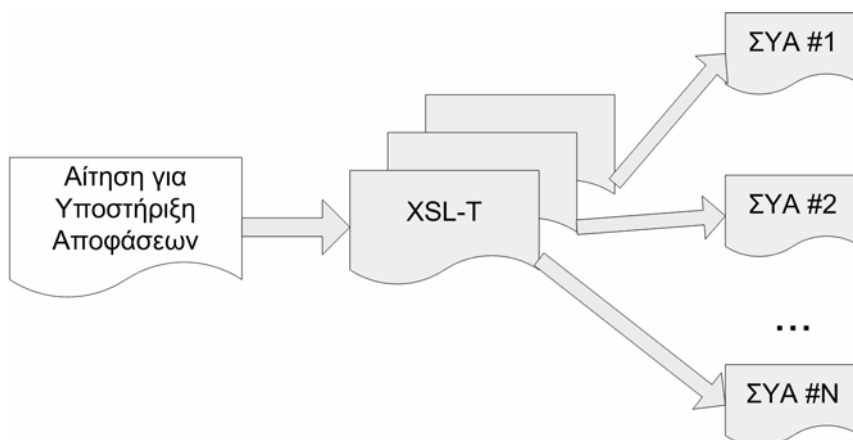
14.5.3. Συμπεράσματα

Στη σχετική βιβλιογραφία [7, 8] αναφέρεται ότι ο απλός αλγόριθμος Min-Min παρουσιάζει καλύτερη απόδοση από πιο σύνθετες προσεγγίσεις για ασυνεπείς πίνακες που ανήκουν στις κατηγορίες YY και YX, ενώ για ασυνεπείς πίνακες της κατηγορίας XX αναφέρεται ότι η

απόδοση του Max-Min είναι σχεδόν ταυτόσημη με αυτή του Min-Min [9]. Για τους τεχνητούς πίνακες που παράγονται από τον αλγόριθμο του Σχήμα 14-6 προκύπτει ότι ο αλγόριθμος Max-Min υπερτερεί του αλγορίθμου Min-Min για μικρές και μεσαίες τιμές του παράγοντα f , ενώ η απόδοση των δύο αλγορίθμων είναι παραπλήσια για πολύ μεγάλες τιμές του παράγοντα f . Το πλεονέκτημα της απόδοσης του Max-Min οφείλεται στο ότι επιτρέπει στις χρονοβόρες εργασίες να εκτελεστούν σε ξεχωριστό υπολογιστικό κόμβο - παράλληλα με τις συντομότερες – κάτι που οδηγεί στη μείωση του συνολικού χρόνου ολοκλήρωσης σε σχέση τον Min-Min. Ο αλγόριθμος Duplex προσφέρει το μικρότερο συνολικό χρόνο σε κάθε περίπτωση, χωρίς υπολογίσιμη επιπλέον χρονική επιβάρυνση, ενώ για $f \geq 5$, επιλέγει πάντα τον Max-Min. Συνεπώς, επιλέγουμε να υλοποιήσουμε τον αλγόριθμο Duplex για την ανάθεση των προορισμών στους διαθέσιμους πόρους από την Ενότητα Χρονοδρομολόγησης.

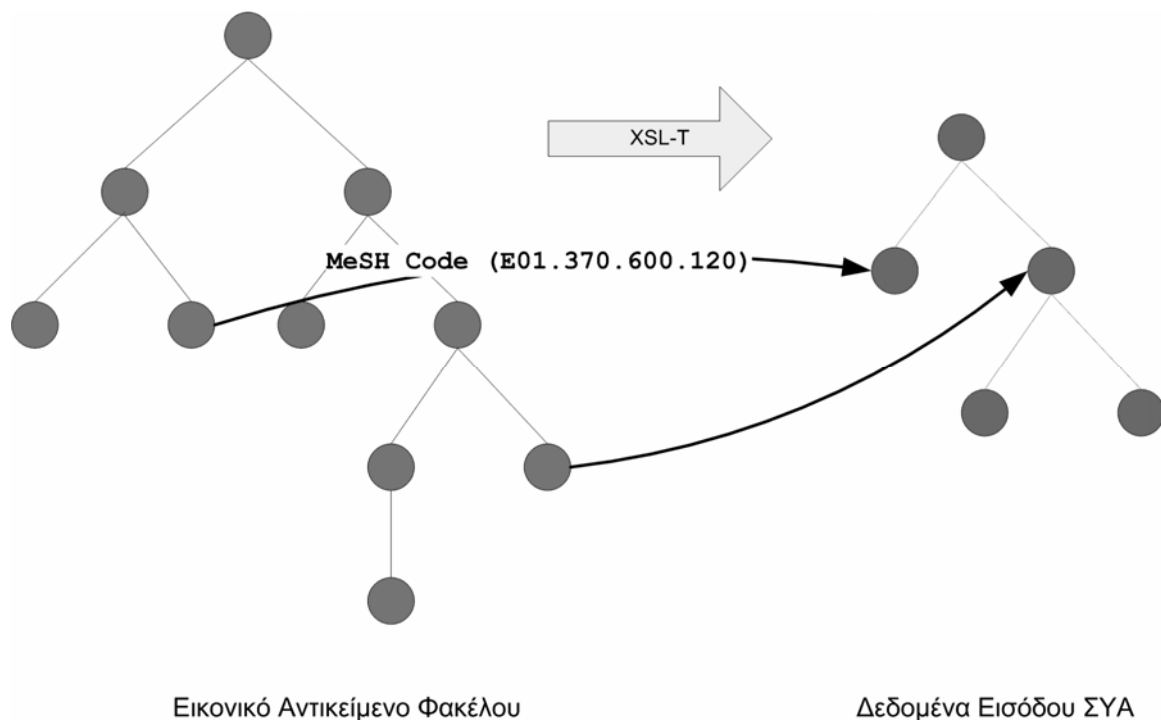
14.6. Ενότητα Αντιστοίχισης Περιεχομένου

Η Ενότητα Αντιστοίχισης Περιεχομένου παράγει το σύνολο δεδομένων εισόδου κάθε διακριτού συστήματος που πρέπει να ενεργοποιηθεί από την αίτηση για υποστήριξη αποφάσεων. Η διαδικασία αυτή συνεπάγεται το μετασχηματισμό της αίτησης για υποστήριξη αποφάσεων σε ανεξάρτητες υπό-εργασίες, η κάθε μια εκ των οποίων απευθύνεται σε ένα διαφορετικό σύστημα και περιέχει τα στοιχεία εκείνα που απαιτούνται για την ενεργοποίησή του. Τα στοιχεία αυτά είναι κωδικοποιημένα κατάλληλα ώστε να επιτρέπουν την άμεση χρήση τους από το ΣΥΑ.



Σχήμα 14-8: Ενότητα Αντιστοίχισης Περιεχομένου

Ο μετασχηματισμός του Εικονικού Φακέλου σε ανεξάρτητες υπό-εργασίες πραγματοποιείται μέσω ενός συνόλου αρχείων XSL-T, το κάθε ένα εκ των οποίων αναλαμβάνει την παραγωγή των δεδομένων εισόδου ενός συστήματος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων (ΣΥΚΑ) (Σχήμα 14-8). Η αντιστοίχιση των στοιχείων της αίτησης σε στοιχεία των δεδομένων εισόδου πραγματοποιείται με τη χρήση ερωτήσεων της γλώσσας XML Path Language (X-Path) [10] επάνω στο Εικονικό Ιατρικό Φάκελο. Κάθε στοιχείο του Εικονικού Ιατρικού Φακέλου που περιέχεται στην αίτηση φέρει ένα μοναδικό κωδικό με βάση τις υποστηριζόμενα συστήματα κωδικοποίησης (βλ. 11.5. XML Schema Εικονικού Ιατρικού Φακέλου). Η ερωτήσεις XPath βασίζονται στους κωδικούς αυτούς για την εξαγωγή της πληροφορίας από τους κόμβους του XML δέντρου του φακέλου (Σχήμα 14-9). Ο μετασχηματισμός μπορεί να αφορά και την εξάλειψη κλαδιών ή κόμβων του δέντρου του Εικονικού Φακέλου που περιλαμβάνουν δημογραφική πληροφορία ή άλλη πληροφορία που μπορεί να οδηγήσει στην αναγνώριση της ταυτότητας του ασθενή.



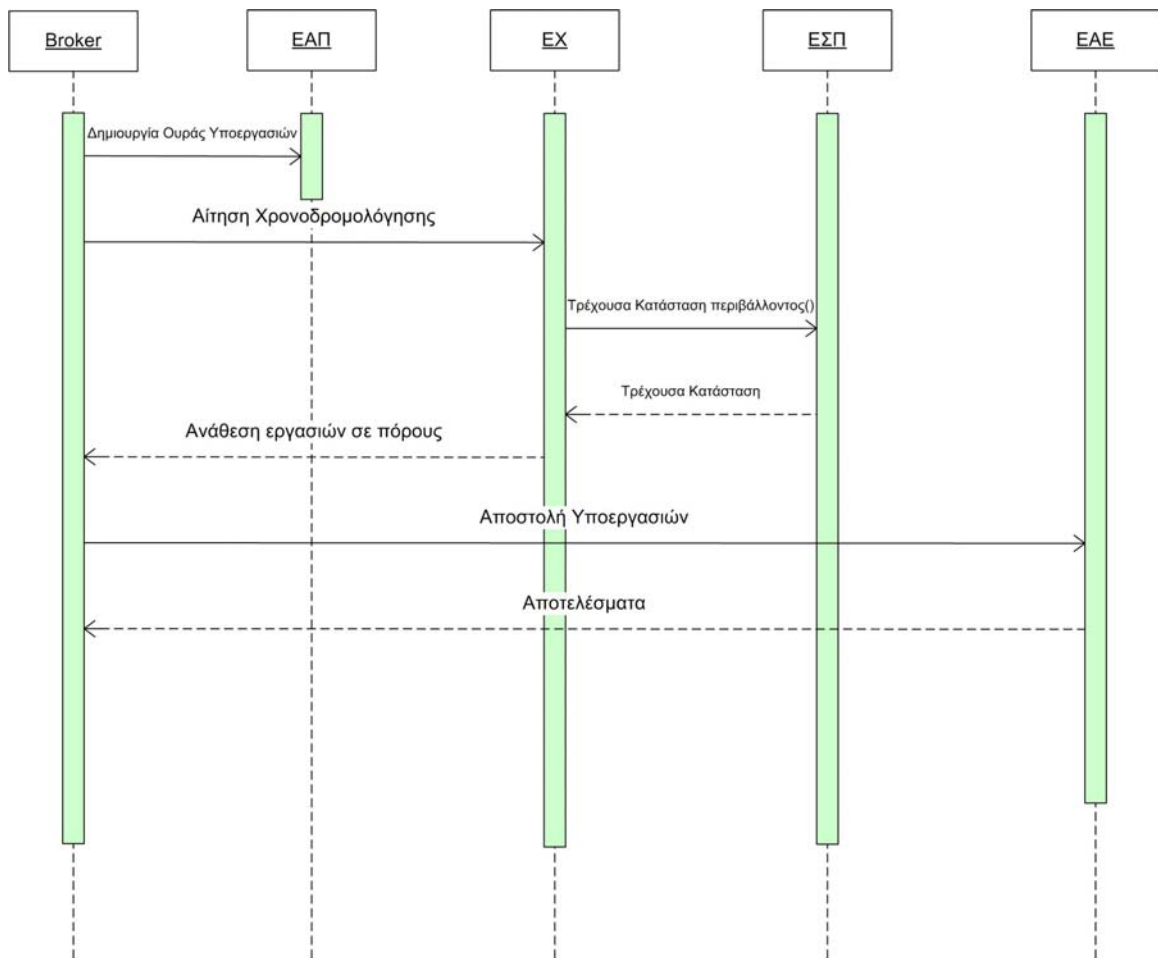
Σχήμα 14-9: Εξαγωγή της πληροφορίας από τον Εικονικό Ιατρικό Φάκελο

14.7. Ενότητα Αποστολής Εργασιών

Η Ενότητα Αποστολής Εργασιών ενεργοποιεί ασύγχρονα τις Διεπαφές Εργασιών των υπολογιστικών πόρων που επιλέχθηκαν από τον αλγόριθμο χρονοδρομολόγησης και συνθέτει τα αποτελέσματα σε μια ενιαία κωδικοποίηση XML, κατάλληλη για την παρουσίαση από το Υποσύστημα Διεπαφής Χρήστη, μέσω μετασχηματισμού XSL-T στην οθόνη του λογισμικού πλοήγησης ή σε οθόνη των εφαρμογών γραφείου Microsoft Infopath.

14.8 Ολοκλήρωση των ενότητων λογισμικού

Στο Σχήμα 14-10 απεικονίζεται το διάγραμμα ακολουθίας (sequence diagram) για τις ενότητες λογισμικού της Υπηρεσίας Δρομολόγησης. Το διάγραμμα ακολουθίας είναι ένα διάγραμμα αλληλεπίδρασης (συμπεριφοράς), που χρησιμοποιείται στο πλαίσιο της γλώσσας προτυποποίησης Unified Modeling Language (UML) [11], και παρουσιάζει τον τρόπο που διαφορετικά αντικείμενα συνεργάζονται μεταξύ τους σε μια χρονική ακολουθία. Η ενότητα Broker του Σχήματος 14-10 αναφέρεται στην Υπηρεσία Δρομολόγησης.



ΕΑΠ: Ενότητα Αντιστοίχισης Περιεχομένου
 ΕΧ: Ενότητα Χρονοδρομολόγησης
 ΕΣΠ: Ενότητα Συλλογής Πληροφοριών
 ΕΑΕ: Ενότητα Αποστολής Εργασιών

Σχήμα 14-10: Διάγραμμα ακολουθίας για τις ενότητες της Υπηρεσίας Δρομολόγησης

14.9. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1]. Web Services Security: SOAP Message Security 1.0 (WS-Security 2004), OASIS Standard 2004, March 2004. [Online]. Available: <http://docs.oasis-open.org/wss/2004/01/oasis-200401-wss-soap-message-security-1.0.pdf>
- [2]. WS-Policy, <http://msdn.microsoft.com/webservices/default.aspx?pull=/library/en-us/dnglobspec/html/ws-policy.asp>
- [3]. XSL Transformations (XSLT), World Wide Web Consortium Recommendation XSLT 1.0 Specification, Nov. 2003
- [4]. O. H. Ibarra and C. E. Kim, Heuristic algorithms for scheduling independent tasks on nonidentical processors, *Journal of the ACM*, 24(2) (1977), pp. 280–289
- [5]. Tracy D. Braun et al, A comparison of eleven static heuristics for mapping a class of independent tasks onto heterogeneous distributed computing systems, *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 61(6) (2001), pp.810-837
- [6]. R. Armstrong, Investigation of Effect of Different Run-Time Distributions on Smart-Net Performance, Thesis, Department of Computer Science, Naval Postgraduate School, 1997 (D. Hensgen, Advisor).
- [7]. T. D. Braun, H. J. Siegel, N. Beck, L. L. Boloni, M. Maheswaran, A. I. Reuther, J. P. Robertson, M. D. Theys, B. Yao, D. Hensgen, and R. F. Freund. A comparison of eleven static heuristics for mapping a class of independent tasks onto heterogeneous distributed computing systems. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 61(6):810--837, June 2001
- [8]. Muthucumar Maheswaran, Shoukat Ali, Howard Jay Siegel, Debra Hensgen, and Richard F. Freund. Dynamic Mapping of a Class of Independent Tasks onto Heterogeneous Computing Systems. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 59(2):107--131, November 1999
- [9]. M. Maheswaran, S. Ali, H. J. Siegel, D. A. Hensgen, and R. F. Freund, “A Comparison of Dynamic Strategies for Mapping a Class of Independent Tasks onto Heterogeneous Computing Systems,”, Technical Report, School of Electrical and Computer Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN 1999
- [10]. XML Path Language (XPath) Version 1.0, <http://www.w3.org/TR/xpath>
- [11]. Object Management Group, Unified Modeling Language, <http://www.uml.org>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15. ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΑΠΟΔΕΙΚΤΙΚΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

15.1. Εισαγωγή

Κάθε χρόνο παρατηρείται σημαντική επιστημονική πρόοδος όσον αφορά τη βελτίωση των διαγνωστικών εργαλείων και των διαθέσιμων θεραπευτικών μέσων. Η σύγχρονη αντίληψη για το χώρο της υγείας απαιτεί η καταλληλότητα των ιατρικών παρεμβάσεων να βασίζεται σε επιστημονικές αποδείξεις, καθώς η έλλειψη τεκμηρίωσης για τις επιχειρούμενες ιατρικές πράξεις και τα αντίστοιχα κόστη υποβαθμίζει το επίπεδο των παρεχόμενων υπηρεσιών υγείας. Αυτές οι αρχές αναφέρονται σήμερα ως *Evidence-Based Medicine* (Ιατρική Βασισμένη σε Αποδείξεις ή Αποδεικτική Ιατρική). Οι οδηγίες κλινικής πρακτικής που βασίζονται σε επιτροπές εμπειρογνομόνων και αυθεντιών αμφισβητούνται ολοένα και περισσότερο, καθώς οι ειδικοί ενδέχεται να σφάλουν, ο κλινικός ιατρός μαθαίνει να στηρίζεται στην αυθεντία και όχι στην πληθώρα των διαθέσιμων εμπειρικών δεδομένων, ενώ οι οδηγίες αυτές δεν διαχωρίζουν τα κλινικά ερωτήματα για τα οποία υπάρχουν δεδομένα από εκείνα για τα οποία δεν υπάρχουν. Τα προβλήματα αυτά έχουν οδηγήσει στην «ανάπτυξη των κλινικών οδηγιών σε ένα νέο προσανατολισμό, όπου η εμπειρία των ειδικών συνεκτιμάται με την αιτιολογημένη σκέψη, την εμπειρία άλλων ομάδων, πρωτότυπες ανακοινώσεις, διεθνείς ανασκοπήσεις, μετα-αναλύσεις, στατιστικά

στοιχεία και διάφορες πρακτικές παραμέτρους» [1]. Έτσι, ως «Αποδεικτική Ιατρική» ορίζεται η «συνειδητή, σαφής και αιτιολογημένη χρήση της τρέχουσας μαρτυρίας στη λήψη αποφάσεων για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου ασθενούς και στηρίζεται σε πέντε βήματα, που είναι:

1. η μετατροπή του κλινικού προβλήματος σε ερωτήματα που μπορούν να απαντηθούν,
2. η αναζήτηση των καλύτερων τεκμαρτών στοιχείων για την απάντησή τους,
3. η κριτική αξιολόγηση αυτών των ενδείξεων ως προς την εγκυρότητά της (ισχύς των ενδείξεων - level of evidence) και τη δυνατότητα κλινικής εφαρμογή τους,
4. η εφαρμογή αυτής της αξιολόγησης στην κλινική πράξη,
5. η εκτίμηση της κλινικής αποτελεσματικότητας που προκύπτει από την εφαρμογή τους».

Οι οδηγίες κλινικής πρακτικής που βασίζονται στην αποδεικτική ιατρική (Evidence Based Clinical Guidelines) έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Θέτουν πρακτικά ερωτήματα και προσδιορίζουν με σαφήνεια όλες τις πιθανές αποφάσεις και τις συνέπειές τους.
- Προσδιορίζουν με σαφήνεια, εκτιμούν και συνοψίζουν τις εγκυρότερες ενδείξεις για την πρόληψη, τη διάγνωση, την πρόγνωση, τη θεραπεία, τις συνέπειες και τη σχέση κόστους-αποτελέσματος.
- Προσδιορίζουν με σαφήνεια τα σημεία λήψης των αποφάσεων στα οποία οι έγκυρες αυτές ενδείξεις συνδυάζονται με την προσωπική κλινική εμπειρία για να αποφασιστεί μια σειρά πράξεων.

15.2. Τι εμποδίζει την υιοθέτηση της Αποδεικτικής Ιατρικής;

Η εκθετική αύξηση της διαθέσιμης ιατρικής πληροφορίας έχει οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι ο τρέχων όγκος της επιστημονικής τεκμηρίωσης είναι πέρα από κάθε δυνατότητα διαχείρισης [2]. Μόνο η βιβλιογραφική βάση δεδομένων MEDLINE [3] περιέχει σχεδόν 13 εκατομμύρια αναφορές σε άρθρα, ενώ περισσότερα από 400,000 άρθρα προστίθενται κάθε χρόνο. Ο Zipser παρατηρεί ότι «για να παρακολουθήσει ο κλινικός ιατρός τα 400,000

άρθρα που προστίθενται κάθε χρόνο και διαβάζοντας κάθε μέρα του χρόνου 2 νέα άρθρα, πάλι στο τέλος του χρόνου θα είναι 550 χρόνια πίσω» [4].

Μια εμπειριστατωμένη ανάλυση των παραγόντων που εμποδίζουν την προσπάθεια των ιατρών να απαντήσουν σε ερωτήματα με χρήση της διαθέσιμης τεκμηρίωσης κατέγραψε συνολικά 59 εμπόδια, από τα οποία τα 6 θεωρούνται ως πιο σημαντικά [5]:

- Ο υπερβολικός χρόνος αναζήτησης της πληροφορίας

Οι κλινικοί ιατροί διαθέτουν μόνο μερικά λεπτά για να απαντήσουν στα ερωτήματά τους, τη στιγμή που η επαρκής απάντηση σε κλινικά ερωτήματα απαιτεί εκτεταμένες και χρονοβόρες αναζητήσεις. Επιπλέον, οι ιατροί δε διαθέτουν τον απαραίτητο χρόνο για την επιλογή της πιο κατάλληλης πηγής τεκμηρίωσης σχετικά με ένα κλινικό ερώτημα, για την αναζήτηση σε πολλαπλούς ιστοτόπους ή για να διατρέξουν μεγάλα κείμενα, ψάχνοντας τις απαντήσεις. Μια σχετική έρευνα συμπεραίνει ότι η έλλειψη χρόνου αποτελεί το σημαντικότερο φραγμό για την πρακτική εφαρμογή της αποδεικτικής ιατρικής στην κλινική πράξη [6].

- Η δυσκολία τροποποίησης της αρχικής ερώτησης

Καθώς η αρχική ερώτηση είναι συνήθως πιο γενική και ανοικτή σε πολλαπλές ερμηνείες, απαιτείται η τροποποίηση ή η εξειδίκευση των ερωτήσεων. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες, ενώ μια ιδανική στρατηγική απαιτεί η ερώτηση να μπορεί να τροποποιηθεί αφού γίνει η αρχική αναζήτηση και ο ερωτών αποκτήσει μια πρώτη γνώση του αντικειμένου, καθώς και να παρέχονται συστάσεις που να καθοδηγούν τη σωστή διατύπωση των ερωτήσεων.

- Η δυσκολία επιλογής μιας βέλτιστης στρατηγικής για την αναζήτηση πληροφορίας

Η διαδικασία εύρεσης επιστημονικής τεκμηρίωσης επαφίεται στις ικανότητες κάθε κλινικού ιατρού και στην επινόηση αυτοσχέδιων μεθόδων αναζήτησης, χωρίς να υπάρχουν κατευθυντήριες γραμμές, που να καθοδηγούν και να υποστηρίζουν την αναζήτηση.

- Αδυναμία κάλυψης ενός θέματος

Παρατηρείται αδυναμία εύρεσης απαντήσεων σε κλινικά ερωτήματα ακόμα και σε πηγές που υποτίθεται ότι καλύπτουν ένα θέμα ή που παρουσιάζουν ανάλογα περιστατικά με αυτό που καλείται να αντιμετωπίσει ο κλινικός ιατρός.

- Αβεβαιότητα σχετικά με το τέλος της αναζήτησης

Συχνά δεν είναι σαφές πότε πρέπει να σταματήσει η αναζήτηση, καθώς δεν μπορεί να εξακριβωθεί αν όλη η σημαντική τεκμηρίωση έχει βρεθεί και η ερώτηση έχει απαντηθεί επαρκώς.

- Ανεπαρκής σύνθεση πολλαπλών τμημάτων τεκμηρίωσης σε μια κλινικά χρήσιμη απάντηση

Η τεκμηρίωση που άπτεται κάποιου αντικειμένου είναι συχνά κατακερματισμένη σε πολυάριθμα και ανεξάρτητα τμήματα πληροφορίας, τα οποία δεν έχουν συντεθεί και ερμηνευτεί επαρκώς. Συνήθως είναι εφικτό να βρεθούν άρθρα που συνοψίζουν την τεκμηρίωση, αλλά όχι με συστηματικό και σαφή τρόπο. Επίσης, δεν είναι σπάνιο να παρουσιάζονται αντικρουόμενες μαρτυρίες χωρίς να παρέχεται μια οριστική σύσταση για τον κλινικό ιατρό, ο οποίος καλείται να πάρει μια απόφαση κάτω από χρονικούς περιορισμούς.

15.3. Χαρακτηριστικά της Υπηρεσίας Αποδεικτικής Ιατρικής

Η Υπηρεσία Αποδεικτικής Ιατρικής έχει σα στόχο να αντιμετωπίσει κάποια από τα εμπόδια που παρουσιάστηκαν παραπάνω, επιτρέποντας στον κλινικό ιατρό να επωφεληθεί από την πολυπληθέστατη πληροφορία που υπάρχει διαθέσιμη στη βάση PubMed και η οποία σχεδόν πάντα μένει ανεκμετάλλευτη κατά την αντιμετώπιση ενός κλινικού περιστατικού. Ειδικότερα, η υπηρεσία παρέχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Αυτόματη αναζήτηση επιστημονικής τεκμηρίωσης με βάση το περιεχόμενο του Εικονικού Ιατρικού Φακέλου.

Ειδικότερα, χρησιμοποιούνται οι διαγνώσεις του Εικονικού Ιατρικού Φακέλου για την αυτόματη σύνθεση κλινικών ερωτημάτων προς τη βάση δεδομένων PubMed. Η αναζήτηση επικεντρώνεται κυρίως σε αναφορές που σχετίζονται με τη θεραπεία και σε συστηματικές επιθεωρήσεις που αφορούν τις διαγνώσεις που περιέχονται στο φάκελο. Καθώς η αναζήτηση «πυροδοτείται» αυτόματα από τα περιεχόμενα του φακέλου, δεν απαιτείται η διάθεση πολύτιμου χρόνου για την αναζήτησή της.

- Παρουσίαση τίτλων και περιλήψεων

Οι τίτλοι και οι περιλήψεις των αποτελεσμάτων της αναζήτησης παρουσιάζονται σε γραφικό περιβάλλον και με τρόπο που επιτρέπει τη γρήγορη επιθεώρηση, με στόχο τον εντοπισμό αναφορών σε άρθρα που σχετίζονται με το κλινικό περιστατικό και τη μεταφορά στην ιστοσελίδα που περιέχει το πλήρες κείμενο του άρθρου μέσω υπερσυνδέσμων.

- Τροποποίηση της αρχικής ερώτησης με προσθήκη κριτηρίων / περιορισμών

Καθώς η αρχική ερώτηση ενδέχεται να επιστρέψει ένα μεγάλο αριθμό από αποτελέσματα, ο χρήστης της Υπηρεσίας έχει τη δυνατότητα να επιθεωρήσει τα αρχικά αποτελέσματα και να ορίσει επιπλέον όρους αναζήτησης, με στόχο τον περιορισμό των αποτελεσμάτων στις πιο σχετικές με το τρέχον κλινικό περιστατικό αναφορές.

15.4. Λειτουργία της Υπηρεσίας Αποδεικτικής Ιατρικής

Η Υπηρεσία Αποδεικτικής Ιατρικής μπορεί να ενεργοποιείται από το χρήστη μέσω του Υποσυστήματος Διεπαφής Χρήστη ή να καταχωρείται ως συνδρομητής της Υπηρεσίας Εικονικού Ιατρικού Φακέλου και να ενημερώνεται αυτόματα για αλλαγές στους εικονικούς φακέλους. Σε κάθε περίπτωση, η Υπηρεσία Αποδεικτικής Ιατρικής διατρέχει τις διαγνώσεις του εικονικού φακέλου, που περιέχονται στην ενότητα “Problems” της δομής ASTM E2369-05, και συνθέτει ένα κλινικό ερώτημα.

Η Υπηρεσία Αποδεικτικής Ιατρικής χρησιμοποιεί ένα σύνολο υπηρεσιών ιστού, που παρέχονται από τον οργανισμό National Center for Biotechnology Information (NCBI), με στόχο τη διατύπωση ερωτήσεων προς 23 βάσεις δεδομένων, οι οποίες καλύπτουν ένα

μεγάλο εύρος από βιοϊατρικά δεδομένα, όπως ακολουθίες πρωτεϊνών και νουκλεοτιδίων, γονιδιώματα, τρισδιάστατες μοριακές δομές και βιοϊατρική βιβλιογραφία. Οι πρόσβαση στις παραπάνω βάσεις πραγματοποιείται μέσω ενός συνόλου από επτά προγράμματα που λειτουργούν σε έναν δικτυακό εξυπηρετητή (Entrez Programming Utilities ή eUtils) [7]. Οι εφαρμογές eUtils χρησιμοποιούν μια σταθερή σύνταξη URL, η οποία μεταφράζει ένα πρότυπο σύνολο παραμέτρων εισόδου στις απαιτούμενες τιμές, οι οποίες επιτρέπουν την αναζήτηση και την ανάκτηση των δεδομένων.

Για την αλληλεπίδραση με τις εφαρμογές eUtils αναπτύχθηκε λογισμικό-πελάτης σε γλώσσα προγραμματισμού C#. Ειδικότερα, η Υπηρεσία Αποδεικτικής Ιατρικής επικοινωνεί με τις παρακάτω διεπαφές των εφαρμογών eUtils:

- **ESearch:** Η διεπαφή αποκρίνεται σε ερωτήσεις διατυπωμένες σε κείμενο με μια λίστα από κωδικούς UID, που ανταποκρίνονται στους όρους αναζήτησης της υποβληθείσας ερώτησης. Οι κωδικοί UID χρησιμοποιούνται για τη μονοσήμαντη αναγνώριση των αναφορών που περιλαμβάνουν οι βάσεις δεδομένων.
- **EFetch:** Επιστρέφει τα δεδομένα που αντιστοιχούν σε μια λίστα από κωδικούς UID.

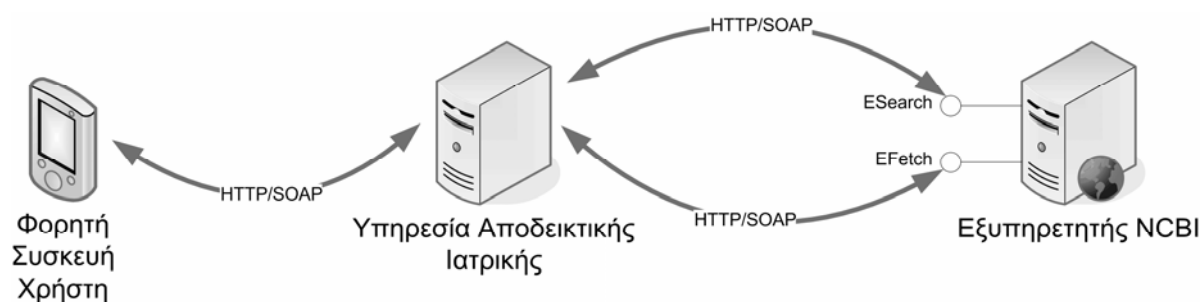
Στην πραγματικότητα, η υπηρεσία συνδυάζει τις δύο αυτές εφαρμογές eUtils και υλοποιεί μια βασική αλυσίδα ερωτήσεων για την ανάκτηση των εγγραφών που ανταποκρίνονται στα κριτήρια του χρήστη. Ειδικότερα, υλοποιεί την αλυσίδα ESearch → EFetch για την ανάκτηση αρχικά της λίστας των κωδικών UID και στη συνέχεια των τίτλων και των περιλήψεων που αντιστοιχούν στη λίστα. Οι τίτλοι, οι περιλήψεις και οι υπερσύνδεσμοι προς την ιστοσελίδα κάθε αναφοράς κωδικοποιούνται κατάλληλα σε μορφή HTML και παρουσιάζονται στο διαλογικό παράθυρο της φορητής συσκευής που χρησιμοποιείται για την αλληλεπίδραση με το ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων.

Για την εξειδίκευση των ερωτήσεων προς τις πηγές τεκμηρίωσης με βάση ειδικές κατηγορίες κλινικών ερευνών, χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα της εργασίας των Haynes και άλλων [8] με στόχο μια βέλτιστη στρατηγική για την αναζήτηση πληροφορίας. Στον Πίνακα 15-1 βλέπουμε τα κλινικά ερωτήματα που χρησιμοποιεί η υπηρεσία, ώστε, σε συνδυασμό με τους όρους αναζήτησης, που εξάγει από τον εικονικό ιατρικό φάκελο, να επικεντρώσει την αναζήτηση σε συγκεκριμένες κλινικές κατηγορίες.

Πίνακας 15-1: Εκφράσεις ερωτήσεων προς τη βάση PubMed για ειδικές κατηγορίες ερευνών

Κατηγορία	Ισοδύναμη έκφραση PubMed
Θεραπεία	randomized controlled trial[Publication Type] OR (randomized[Title/Abstract] AND controlled[Title/Abstract] AND trial[Title/Abstract])
Διάγνωση	specificity[Title/Abstract]
Αιτιολογία	(relative[Title/Abstract] AND risk*[Title/Abstract]) OR (relative risk[Text Word]) OR risks[Text Word] OR cohort studies[MeSH:noexp] OR (cohort[Title/Abstract] AND stud*[Title/Abstract])
Πρόγνωση	prognos*[Title/Abstract] OR (first[Title/Abstract] AND episode[Title/Abstract]) OR cohort[Title/Abstract]

Στο Σχήμα 15-1 απεικονίζεται η συνολική αρχιτεκτονική της Υπηρεσίας Αποδεικτικής Ιατρικής, η οποία μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην αξιοποίηση της διαθέσιμης επιστημονικής τεκμηρίωσης κατά την παροχή ιατρικής περίθαλψης, μέσω της αυτόματης σύνταξης κλινικών ερωτημάτων από τα περιεχόμενα ενός εικονικού φακέλου και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων στην οθόνη μιας φορητής συσκευής. Η γραφική διεπαφή για την αλληλεπίδραση με την Υπηρεσία Αποδεικτικής Ιατρικής μέσω φορητής συσκευής παρουσιάζεται στην Παράγραφο 16.5.9. Αποδεικτική Ιατρική.



Σχήμα 15-1: Αρχιτεκτονική της Υπηρεσίας Αποδεικτικής Ιατρικής

15.5. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1]. Υπουργείο Υγείας και Πρόνοιας – Οδηγίες Ορθής Κλινικής Πράξης και Φαρμακοθεραπείας, Διαθέσιμο από την ιστοσελίδα: <http://www.yperp.gr>
- [2]. Williamson JW, German PS, Weiss R, Skinner EA, and Bowes F. Health science information management and continuing education of physicians. A survey of U.S. primary care practitioners and their opinion leaders. *Ann Intern Med.* 1989 Jan 15; 110(2):151–60.
- [3]. MEDLINE fact sheet. Bethesda, MD: National Library of Medicine, Διαθέσιμο από την ιστοσελίδα: <http://www.nlm.nih.gov/pubs/factsheets/medline.html>
- [4]. Zipser J. MEDLINE to PubMed and beyond. [Web Document]. Presented at the Health Sciences Library Association of New Jersey and New York-New Jersey Chapter of MLA Joint Meeting, Princeton, NJ, December 8, 1999
- [5]. Ely et al. Obstacles to answering doctors' questions about patient care with evidence. *BMJ* 2002; 324:1-7
- [6]. Covell DG, Uman GC, Manning PR. Information needs in office practice: are they being met? *Ann Intern Med* 1985; 103: 596-599
- [7]. Entrez Programming Utilities, Διαθέσιμο από την ιστοσελίδα: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query/static/eutils_help.html
- [8]. Haynes RB, McKibbon KA, Wilczynski NL, WalterSD, Werre SR; Hedges Team. Optimal search strategies for retrieving scientifically strong studies of treatment from Medline: analytical survey. *BMJ.* 2005 May 21;330(7501):1179.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 16. ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

16.1. Εισαγωγή

Οι υπηρεσίες του «ολοκληρωμένου περιβάλλοντος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων» συντονίζονται χωρίς τη διαμεσολάβηση μιας κεντρικής υπηρεσίας καταλόγου (registry) για τον εντοπισμό των υπηρεσιών-παροχέων από τις υπηρεσίες-καταναλωτές (βλ. Ενότητα 10.2. Χαρακτηριστικά της υπηρεσιο-στρεφούς αρχιτεκτονικής). Αντίθετα, οι κατάλληλες διεπαφές επικοινωνίας με άλλες υπηρεσίες είναι διαθέσιμες στις υπηρεσίες του περιβάλλοντος με παραμετρικό και ευέλικτο τρόπο, μέσω της καταχώρησης των διευθύνσεων υπηρεσιών ιστού που πρέπει να κληθούν σε κατάλληλα αρχεία ρυθμίσεων. Επίσης, εφαρμόζεται ο μηχανισμός δημοσίευσης/συνδρομής (Publisher/Subscriber) για την επικοινωνία της Υπηρεσίας Εικονικού Ιατρικού Φακέλου με τις υπηρεσίες που επιθυμούν να ενημερώνονται από αυτή για τυχόν αλλαγές στους φακέλους. Ειδικότερα, η Υπηρεσία Αποδεικτικής Ιατρικής και η Υπηρεσία Ενεργοποίησης Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων καταχωρούνται ως συνδρομητές της Υπηρεσίας Εικονικού Ιατρικού Φακέλου, το Υποσύστημα Διεπαφής Χρήστη επικοινωνεί απευθείας με την Υπηρεσία Δρομολόγησης Αιτήσεων και την Υπηρεσία Εικονικού Ιατρικού Φακέλου μέσω ανταλλαγής μηνυμάτων SOAP και σύμφωνα με το πρότυπο «Αίτημα-Απόκριση» (SOAP Request-Response Message Exchange Pattern [1]). Η ενεργοποίηση των Υπηρεσιών Επεξεργασίας Αιτήσεων

από την Υπηρεσία Δρομολόγησης πραγματοποιείται επίσης με βάση την ακολουθία ανταλλαγής μηνυμάτων SOAP «Αίτημα-Απόκριση», με τη διαφορά ότι η κλήση των Διεπαφών Εργασιών πραγματοποιείται ασύγχρονα.

16.2. Ενσωμάτωση υπολογιστικών κόμβων

Για την ενσωμάτωση ενός νέου υπολογιστικού κόμβου στο κατανεμημένο περιβάλλον απαιτείται:

- Υλοποίηση των διεπαφών της Υπηρεσίας Επεξεργασίας Αιτήσεων για τον υπολογιστικό κόμβο

Η υλοποίηση της υπηρεσίας ιστού για την πρόσβαση στον υπολογιστικό κόμβο γίνεται με βάση την περιγραφή της υπηρεσίας στο πρότυπο αρχείο WSDL (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι). Η ανάπτυξη της υπηρεσίας μπορεί να πραγματοποιηθεί σε οποιαδήποτε γλώσσα προγραμματισμού και η εγκατάστασή της να πραγματοποιηθεί σε οποιαδήποτε πλατφόρμα υλικού ή λογισμικού, καθώς η διεπαφή κρύβει τις λεπτομέρειες υλοποίησης της υπηρεσίας. Η μόνη προϋπόθεση είναι να επιτρέπεται η ασφαλής πρόσβαση του διαδικτυακού εξυπηρετητή που θα «στεγάσει» την υπηρεσία στον υπολογιστικό κόμβο μέσω πρωτοκόλλου Secure Shell (SSH). Η απόκριση της Διεπαφής Παρακολούθησης θα πρέπει να είναι κωδικοποιημένη σύμφωνα με το XML Schema που προδιαγράφεται στην Ενότητα «13.2.2. Διεπαφή Παρακολούθησης» (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι). Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής αναπτύχθηκε πρότυπη Υπηρεσία Επεξεργασίας Αιτήσεων για δικτυακούς εξυπηρετητές και συστοιχίες υπολογιστών με λειτουργικό σύστημα Unix/Linux.

- Ενημέρωση των αρχείων ρυθμίσεων της Υπηρεσίας Δρομολόγησης

Ο μηχανισμός της Υπηρεσίας Δρομολόγησης πρέπει να ενημερωθεί για την ύπαρξη του νέου κόμβου με την προσθήκη μιας εγγραφής στον Κατάλογο των Πόρων και την επέκταση του αρχικού πίνακα ονομαστικών χρόνων ολοκλήρωσης εργασιών, ώστε να συμπεριλάβει και τους ενδεικτικούς χρόνους ολοκλήρωσης για τα συστήματα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων που είναι εγκατεστημένα στο συγκεκριμένο πόρο.

- Ρυθμίσεις ασφάλειας

Απαιτείται ο καθορισμός των δικαιωμάτων πρόσβασης στην Υπηρεσία Επεξεργασίας Αιτήσεων. Τα δικαιώματα πρόσβασης μπορούν να οριστούν στο επίπεδο της εφαρμογής του δικτυακού εξυπηρετητή που «στεγάζει» την υπηρεσία. Επίσης, απαιτείται η κατάλληλη ρύθμιση του firewall του δικτυακού εξυπηρετητή, ώστε να αποδέχεται μόνο τις αιτήσεις που προέρχονται από τη διεύθυνση IP της Υπηρεσίας Δρομολόγησης Αιτήσεων και η χρήση κρυπτογραφημένης σύνδεσης SSL για το πρωτόκολλο HTTP.

16.3. Ενσωμάτωση νέου συστήματος υποστήριξης αποφάσεων στο περιβάλλον

Για την ενσωμάτωση ενός νέου συστήματος υποστήριξης αποφάσεων στο κατακευματισμένο περιβάλλον απαιτείται:

- Εγκατάσταση του συστήματος σε έναν ή περισσότερους υπολογιστικούς κόμβους του περιβάλλοντος

Το σύστημα εγκαθίσταται σε έναν ή περισσότερους υπολογιστικούς κόμβους. Οι λεπτομέρειες της εγκατάστασης, όπως και πληροφορίες σχετικά με το απαιτούμενο λειτουργικό σύστημα ή πλατφόρμα δεν ενδιαφέρουν το «ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων», καθώς αυτό επικοινωνεί με τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων μέσω των καλά ορισμένων διεπαφών της Υπηρεσίας Επεξεργασίας Αιτήσεων.

- Εγκατάσταση της Εφαρμογής Συγχρονισμού και ενημέρωση της Υπηρεσίας Επεξεργασίας Αιτήσεων των υπολογιστικών κόμβων

Για κάθε νέο σύστημα που εγκαθίσταται με μια συστοιχία υπολογιστών, πρέπει να αναπτυχθεί μια αντίστοιχη Εφαρμογή Συγχρονισμού, που επιτρέπει στο σύστημα να λειτουργεί ως διεργασία - «δαίμονας» και αναλαμβάνει το συγχρονισμό των αιτήσεων που

καταφάνουν στη Διεπαφή Εργασιών της Υπηρεσίας Επεξεργασίας Αιτήσεων. Στο πλαίσιο της υλοποίησης της Υπηρεσίας Επεξεργασίας Αιτήσεων για περιβάλλον Linux, παρέχεται πρότυπη υλοποίηση Εφαρμογής Συγχρονισμού.

- Παραγωγή αρχείου XSL-T για τη μετατροπή της κοινής κωδικοποίησης στην κωδικοποίηση του νέου συστήματος

Η πληροφορία του εικονικού ιατρικού φακέλου (η οποία είναι κωδικοποιημένη σύμφωνα με το πρότυπο ASTM E2369-05) πρέπει να αντιστοιχιστεί στην πληροφορία που εισάγεται στο νέο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων. Αυτό πραγματοποιείται μέσω ενός αρχείου μετασχηματισμών XSL-T, το οποίο προστίθεται στο φάκελο των αρχείων XSL-T της Ενότητας Αντιστοίχισης Περιεχομένου της Υπηρεσίας Δρομολόγησης (βλ. Ενότητα 14.6. Ενότητα Αντιστοίχισης Περιεχομένου).

- Ενημέρωση των αρχείων ρυθμίσεων της Υπηρεσίας Δρομολόγησης

Η Υπηρεσία Δρομολόγησης πρέπει να ενημερωθεί για την διαθεσιμότητα του νέου συστήματος υποστήριξης αποφάσεων, ώστε να το συμπεριλάβει στο πρόγραμμα χρονοδρομολόγησής της. Ο πίνακας που περιλαμβάνει τους ονομαστικούς χρόνους ολοκλήρωσης εργασιών, πρέπει να επεκταθεί, ώστε να συμπεριλάβει και τους ενδεικτικούς χρόνους ολοκλήρωσης αιτήσεων για το νέο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων στους κόμβους όπου είναι εγκατεστημένο. Επίσης, αν η αποδοτική λειτουργία του συστήματος στον υπολογιστικό κόμβο προϋποθέτει κάποιες ελάχιστες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ, διαθέσιμη μνήμη κ.α., αυτοί οι περιορισμοί πρέπει να διατυπωθούν κατάλληλα στο Αρχείο Ελάχιστων Υπολογιστικών Απαιτήσεων της Υπηρεσίας Δρομολόγησης (βλ. Ενότητα 14.3.2. Αρχείο Ελάχιστων Υπολογιστικών Απαιτήσεων).

- Επέκταση των κανόνων της Υπηρεσίας Ενεργοποίησης

Οι κανόνες της Υπηρεσίας Ενεργοποίησης πρέπει να επεκταθούν, ώστε να συμπεριλάβουν κλινικά κριτήρια που «πυροδοτούν» την ενεργοποίηση του νέου συστήματος υποστήριξης αποφάσεων. Η εισαγωγή των νέων κανόνων πραγματοποιείται με την καταγραφή τους στο αρχείο XML της Υπηρεσίας Ενεργοποίησης, που περιέχει τους κανόνες. Κατά την εισαγωγή των νέων κανόνων, μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν διακριτές ενότητες του

αρχείου κανόνων για τη σύνθεση των κανόνων που αφορούν το νέο σύστημα, π.χ οι κανόνες αναγνώρισης χαρακτηριστικών της κλινικής εικόνας του ασθενούς, όπως «Ταχυκαρδία» ή «Υψηλός αναπνευστικός ρυθμός» μπορούν να συντεθούν σε πιο σύνθετους κανόνες, με στόχο την αναγνώριση της κλινικής εικόνας που επιβάλλει την ενεργοποίηση του νέου συστήματος.

16.4. Καταχώρηση υπηρεσιών-συνδρομητών στην υπηρεσία ΕΙΦ

Για την αυτόματη ενημέρωση των υπηρεσιών του περιβάλλοντος σχετικά με γεγονότα που σχετίζονται με τον «εικονικό» ιατρικό φάκελο, απαιτείται η κλήση της διεπαφής “subscribe” της Υπηρεσίας Εικονικού Ιατρικού Φακέλου, για την καταχώρηση των υπηρεσιών ως συνδρομητές. Ειδικότερα, καταχωρείται στη λίστα των συνδρομητών της υπηρεσίας ένας μοναδικός αναγνωριστικός κωδικός (ID) του συνδρομητή και η δικτυακή διεύθυνση (URI), που θα καλείται από την υπηρεσία για την ενημέρωση του συνδρομητή σχετικά με αλλαγές στους εικονικούς φακέλους.

16.5. Υποσύστημα Διεπαφής Χρήστη

Για την αλληλεπίδραση του χρήστη με το ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων αναπτύχθηκε μια εφαρμογή σε περιβάλλον Microsoft .NET Compact Framework version 2.0. Η εφαρμογή αυτή μπορεί να εγκατασταθεί σε ένα μεγάλο εύρος φορητών συσκευών, όπως Personal Digital Assistants (PDA), smartphones, κινητά τηλέφωνα και συσκευές STB (set-top box), καθιστώντας έτσι δυνατή την κινητικότητα του χρήστη, η οποία είναι απαραίτητη μέσα στο περιβάλλον της παροχής υπηρεσιών υγείας. Η εφαρμογή επιτρέπει στο χρήστη να δημιουργήσει ένα νέο κλινικό περιστατικό (και κατ' επέκταση ένα νέο Εικονικό Φάκελο) στο σύστημα, να τροποποιήσει τα στοιχεία ενός Εικονικού Φακέλου, να λάβει τις υποδείξεις των συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων, που συμμετέχουν στο περιβάλλον, καθώς και να θέσει κλινικά ερωτήματα στην Υπηρεσία Αποδεικτικής Ιατρικής και να λάβει απαντήσεις εύκολα και γρήγορα.

Τα στοιχεία που εισάγει ο χρήστης στα διαλογικά παράθυρα της εφαρμογής κωδικοποιούνται σύμφωνα με το πρότυπο ASTM E2369-05, δηλαδή η πληροφορία σχετικά με το κλινικό περιστατικό συγκεντρώνεται σε ένα έγκυρο αρχείο XML, το οποίο περιλαμβάνει τις ενότητες που παρουσιάστηκαν στην Παράγραφο 11.5. XML Schema Εικονικού Ιατρικού Φακέλου. Το αρχείο αυτό μπορεί να αποσταλεί στην Υπηρεσία Εικονικού Ιατρικού Φακέλου για αποθήκευση και ενημέρωση της Υπηρεσίας Ενεργοποίησης Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων, με στόχο την αυτόματη ενεργοποίηση των διαθέσιμων συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων, αν αυτό κριθεί απαραίτητο και πάντα σύμφωνα με τους κανόνες που έχουν ορίσει οι κλινικοί εμπειρογνώμονες. Επίσης, το ίδιο αρχείο χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση της Υπηρεσίας Αποδεικτικής Ιατρικής, κυρίως με βάση τις διαγνώσεις που περιέχει.

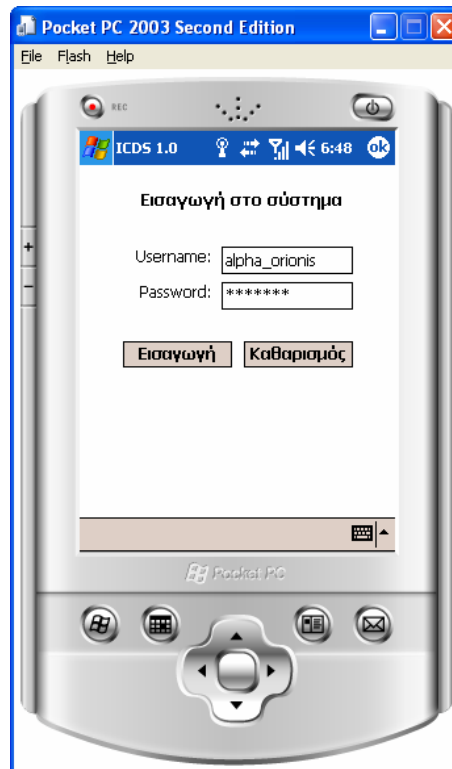
Στη συνέχεια παρουσιάζεται συνοπτικά η βασική λειτουργικότητα της εφαρμογής, η οποία περιλαμβάνει:

1. Πιστοποίηση της ταυτότητας του χρήστη
2. Δημιουργία νέου κλινικού περιστατικού
3. Αναζήτηση και ανάκτηση κλινικού περιστατικού
4. Διαχείριση Συμπτωμάτων

5. Διαχείριση Διαγνώσεων
6. Διαχείριση Ζωτικών Σημείων
7. Διαχείριση Φαρμακευτικής Αγωγής
8. Διαχείριση Αλλεργιών
9. Αποδεικτική Ιατρική

16.5.1. Πιστοποίηση της ταυτότητας του χρήστη

Η εισαγωγή στο σύστημα πραγματοποιείται με την παροχή του username και του password από τον χρήστη (Σχήμα 16-1).

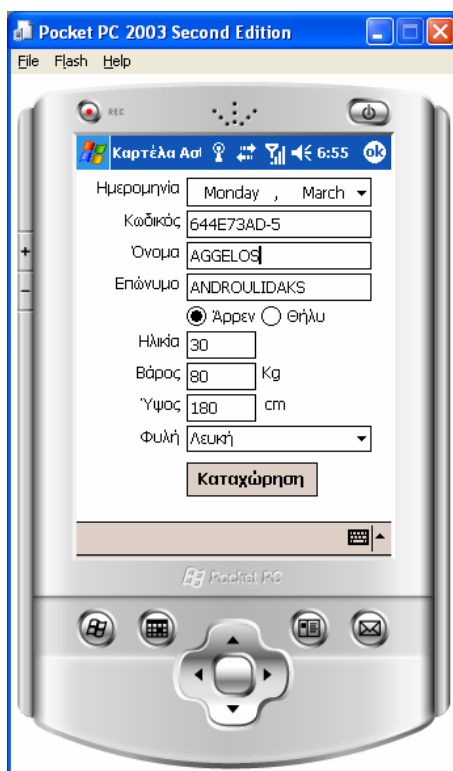


Σχήμα 16-1: Πιστοποίηση της ταυτότητας του χρήστη

16.5.2. Δημιουργία νέου κλινικού περιστατικού

Η επιλογή «Νέο Περιστατικό» από την κατηγορία «Ενέργειες» στο κεντρικό μενού δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα δημιουργίας ενός νέου φακέλου για το τρέχον κλινικό περιστατικό. Η βασική πληροφορία που καταγράφεται για το τρέχον περιστατικό περιλαμβάνει την ημερομηνία αντιμετώπισης του περιστατικού, το όνομα του ασθενούς,

επώνυμο, φύλο, ηλικία, βάρος, ύψος και φυλή, ενώ ο κωδικός ανατίθεται αυτόματα από το σύστημα (Σχήμα 16-2).



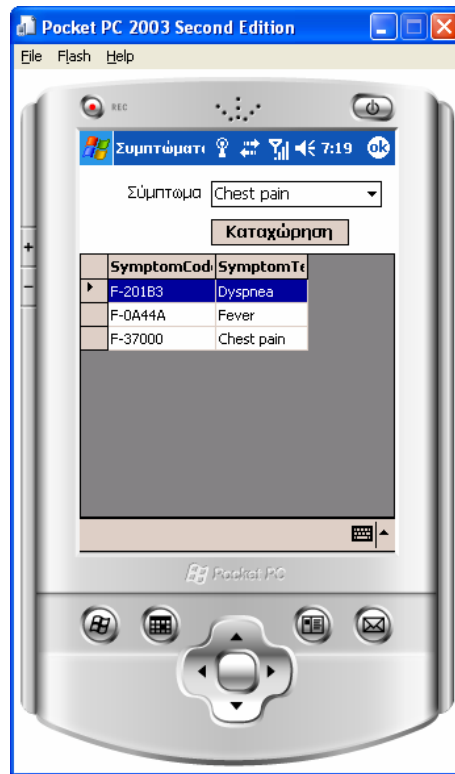
Σχήμα 16-2: Διαλογικό παράθυρο δημιουργίας νέου περιστατικού

16.5.3. Αναζήτηση και ανάκτηση κλινικού περιστατικού

Η αναζήτηση πραγματοποιείται με βάση τον κωδικό, το επώνυμο ή το όνομα του ασθενή, καθώς και το συνδυασμό των παραπάνω στοιχείων.

16.5.4. Διαχείριση Συμπτωμάτων

Το διαλογικό παράθυρο του Σχήματος 16-3 επιτρέπει την καταχώρηση των συμπτωμάτων, που προκύπτουν από την κλινική εξέταση. Τα συμπτώματα αφορούν ευρήματα της κλινικής εξέτασης, όπως πυρετός, δύσπνοια, θωρακικό άλγος, κ.α.



Σχήμα 16-3: Προσθήκη συμπτωμάτων στο φάκελο

16.5.5. Διαχείριση Διαγνώσεων

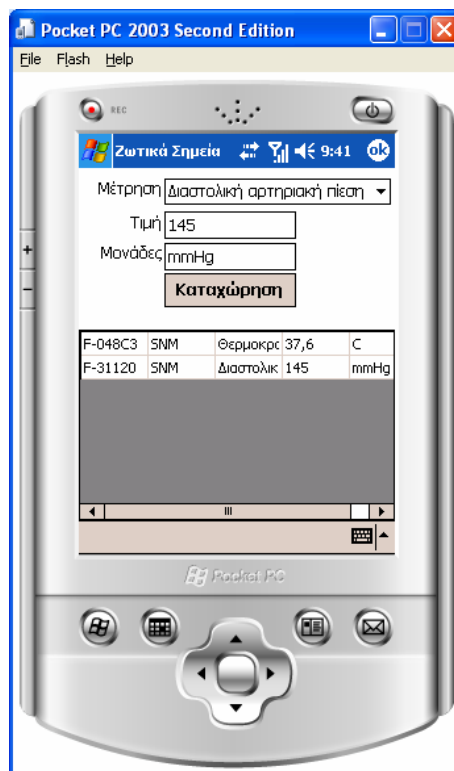
Στη διαλογικό παράθυρο των Διαγνώσεων καταχωρούμε τις διαγνώσεις που αφορούν την παρούσα νόσο, όπως προκύπτουν από τη διαφορική διάγνωση, καθώς και το ιστορικό των παρελθόντων διαγνώσεων. Κάθε διάγνωση συνοδεύεται και από την αντίστοιχη ημερομηνία εμφάνισης της νόσου.



Σχήμα 16-4: Διαλογικό παράθυρο καταχώρησης διαγνώσεων

16.5.6. Διαχείριση Ζωτικών Σημείων

Στο διαλογικό παράθυρο του Σχήματος καταγράφονται βασικά ζωτικά σημεία για τον ασθενή.



Σχήμα 16-5: Διαλογικό παράθυρο καταχώρησης ζωτικών σημείων

Το πλαίσιο «Μέτρηση» του διαλογικού παραθύρου «Ζωτικά Σημεία» περιλαμβάνει την ακόλουθη ομάδα μετρήσεων, ενώ μπορεί εύκολα να επεκταθεί ή να τροποποιηθεί, ώστε να περιλάβει ένα διαφορετικό σύνολο μετρήσεων:

- Συστολική αρτηριακή πίεση
- Διαστολική αρτηριακή πίεση
- Θερμοκρασία
- Καρδιακός Ρυθμός
- Αναπνευστικός Ρυθμός
- Μερική πίεση διοξειδίου του άνθρακα (p_aCO_2)
- Κορεσμός οξυγόνου (SpO_2)
- Μερική πίεση οξυγόνου (p_aO_2)
- pH
- Διττανθρακικά ανιόντα (HCO_3^-)
- Μέτρηση Διούρησης

16.5.7. Διαχείριση Φαρμακευτικής Αγωγής

Στο διαλογικό παράθυρο της φαρμακευτικής αγωγής, ο χρήστης μπορεί να καταχωρήσει την τρέχουσα φαρμακευτική αγωγή, ή αγωγές που έχουν χορηγηθεί στο παρελθόν. Ειδικότερα, τα στοιχεία που καταχωρούνται περιλαμβάνουν:

- Εμπορική ονομασία φαρμάκου
- Ημερομηνία έναρξης της αγωγής
- Μορφή
- Ισχύς
- Δοσολογία
- Συνολική ποσότητα

16.5.8. Διαχείριση Αλλεργιών

Η οθόνη των Αλλεργιών επιτρέπει στην καταγραφή αλλεργιών σε φαρμακευτικές ή μη ουσίες, καθώς και τα χαρακτηριστικά και τη σοβαρότητα της τελευταίας αλλεργικής αντίδρασης.

16.5.9. Αποδεικτική Ιατρική

Το διαλογικό παράθυρο της Αποδεικτικής Ιατρικής επιτρέπει την αλληλεπίδραση με την Υπηρεσία Αποδεικτικής Ιατρικής. Η λειτουργικότητα που προσφέρει ανταποκρίνεται στα χαρακτηριστικά που προδιαγράφηκαν στην Παράγραφο 15.3. Χαρακτηριστικά της Υπηρεσίας Αποδεικτικής Ιατρικής. Ειδικότερα παρέχει:

- Αυτόματη αναζήτηση επιστημονικής τεκμηρίωσης με βάση τις διαγνώσεις του φακέλου (βλ. Παράγραφο 16.5.5. Διαχείριση Διαγνώσεων).
- Παρουσίαση τίτλων και περιλήψεων και μεταφορά στο πλήρες κείμενο με χρήση υπερσυνδέσμων (hyperlinks).
- Τροποποίηση της αρχικής ερώτησης με προσθήκη πρόσθετων όρων αναζήτησης.

Επιπλέον, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ρυθμίσει βασικές παραμέτρους της αναζήτησης (Σχήμα 16-6), όπως:

- Κατηγορία κλινικών μελετών

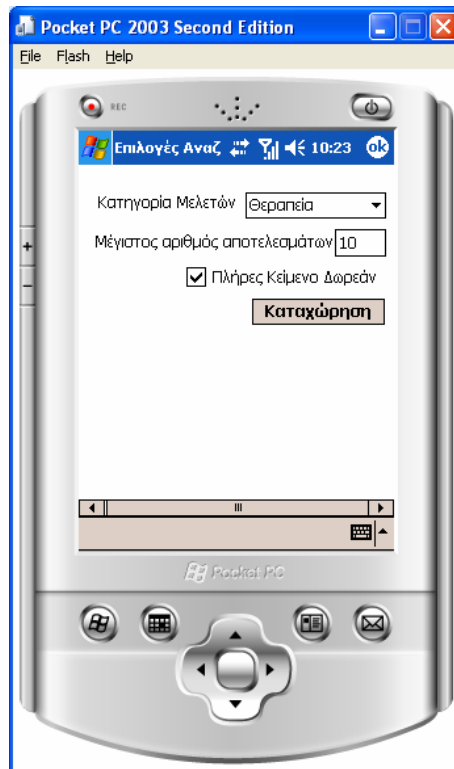
Το κλινικό ερώτημα που υποβάλλεται στην Υπηρεσία Αποδεικτικής Ιατρικής μπορεί να επικεντρωθεί σε κάποια από τις ακόλουθες κατηγορίες κλινικών μελετών: Θεραπεία, διάγνωση, πρόγνωση, αιτιολογία, καθώς και το συνδυασμό όλων των κατηγοριών. Καθώς όμως η υπηρεσία έχει ως βασικό στόχο να συμβάλλει στην τεκμηριωμένη αντιμετώπιση του άμεσου προβλήματος του ασθενή, η προεπιλεγμένη κατηγορία κλινικών μελετών είναι η «Θεραπεία».

- Μέγιστος αριθμός αποτελεσμάτων

Καθώς ο αριθμός των αποτελεσμάτων που μπορεί να επιστρέψει μια αναζήτηση επιστημονικής τεκμηρίωσης μπορεί να είναι πολύ μεγάλος, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να καθορίσει το μέγιστο αριθμό αποτελεσμάτων, που θα προβάλλονται στο διαλογικό παράθυρο «Αποδεικτική Ιατρική» της φορητής συσκευής.

- Πλήρες κείμενο δωρεάν

Αν ο χρήστης ενδιαφέρεται και για το πλήρες κείμενο των άρθρων που ανακτώνται, εκτός από τις περιλήψεις, μπορεί να ρυθμίσει την Υπηρεσία Αποδεικτικής Ιατρικής, ώστε να επιστρέφει άρθρα, των οποίων το πλήρες κείμενο είναι ελεύθερα προσβάσιμο, χωρίς να απαιτείται συνδρομή.



Σχήμα 16-6: Ρυθμίσεις Υπηρεσίας Αποδεικτικής Ιατρικής

16.6. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1]. SOAP Version 1.2, Part 2: Adjuncts W3C Recommendation 24 June 2003,
<http://www.w3.org/TR/2003/REC-soap12-part2-20030624/>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 17. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

17.1. Αξιολόγηση της ερευνητικής εργασίας

Η παρούσα διατριβή παρέχει ένα υπόδειγμα ανάπτυξης και σύνθεσης αυτόνομων και κατανεμημένων υπηρεσιών για το χώρο της παροχής υπηρεσιών υγείας, ενώ προτείνει μεθόδους και υπηρεσίες, που μπορούν να συμβάλλουν στην ευρύτερη υιοθέτηση των υπολογιστικών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων στην κλινική πράξη, συμβάλλοντας έτσι στην αποτροπή του ιατρικού λάθους και στην άνοδο του επιπέδου των παρεχόμενων υπηρεσιών υγείας. Ειδικότερα, η σημασία της παρούσας διατριβής για το χώρο της ιατρικής πληροφορικής μπορεί να αξιολογηθεί με βάση τη συμβολή της στους βασικούς άξονες που επιτρέπουν την επιτυχή υιοθέτηση των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων στην κλινική πράξη, όπως παρουσιάστηκαν στην ενότητα «1.10. Χαρακτηριστικά επιτυχίας των συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων»:

- 🌀 Το σύστημα να είναι γρήγορο και να μην εισάγει ανεπιθύμητες καθυστερήσεις στην εργασία του ιατρικού προσωπικού, ούτε να αυξάνει το φόρτο εργασίας

Το 1^ο μέρος της παρούσας διατριβής εστιάζεται στη βελτιστοποίηση ενός εξαιρετικά περίπλοκου συστήματος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων, η ταχύτητα απόκρισης του οποίου μπορεί να αποτελέσει τροχοπέδη για την εφαρμογή του στην κλινική πράξη, παρότι η χρήση του έχει αποδειχτεί ότι μπορεί να μειώσει τη χορήγηση ακατάλληλης αντιβιοτικής θεραπείας στο μισό. Στα πλαίσια του 1^{ου} μέρους της διατριβής επιτυγχάνεται η σημαντική

επιτάχυνση της απόκρισης του συστήματος μέσω της μεθοδολογίας που παρουσιάζεται στην ενότητα «7.1. Προτεινόμενη μεθοδολογία για την παραλληλοποίηση συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων», η οποία υλοποιείται με τη μεταφορά του πηγαίου κώδικα σε ανοικτές και μεταφέρσιμες τεχνολογίες, την ανάπτυξη της παράλληλης έκδοσης του συστήματος με χρήση του πρωτοκόλλου επικοινωνίας διεργασιών MPI και την αξιολόγηση της επιτάχυνσης που επιτυγχάνεται σε μια συστοιχία υπολογιστών. Η προτεινόμενη μεθοδολογία μπορεί να βρει εφαρμογή σε ένα μεγάλο εύρος συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται σε δίκτυα Bayes, αυξάνοντας την ταχύτητα απόκρισής τους και συμβάλλοντας έτσι στην υιοθέτησή τους στην κλινική πράξη. Στο 2^ο μέρος της διατριβής αναπτύσσονται μέθοδοι και πρωτότυπο λογισμικό, τα οποία επιτρέπουν την κατανεμημένη επεξεργασία αιτήσεων για υποστήριξη αποφάσεων από πολλαπλά συστήματα μέσα σε αποδεκτά χρονικά πλαίσια, επιτυγχάνοντας έτσι τη σύνθεση πολλών συστημάτων σε ένα ενιαίο πλαίσιο, που παρέχει στο χρήστη την επιθυμητή υποστήριξη, χωρίς όμως να εισάγει ανεπιθύμητες καθυστερήσεις στην εργασία του ιατρικού προσωπικού.

- Οι συμβουλές ή οι υποδείξεις να παρέχονται αυτόματα ως μέρος της υπάρχουσας ροής εργασιών

Η συμβολή της διατριβής προς αυτή την κατεύθυνση αφορά κυρίως την ανάπτυξη της Υπηρεσίας Ενεργοποίησης ΣΥΑ, η οποία περιλαμβάνει ένα έμπειρο σύστημα, το οποίο αποφασίζει την ενεργοποίηση των διαθέσιμων συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων με βάση τα περιεχόμενα των εικονικών φακέλων και ένα σύνολο συνεπαγωγικών κανόνων. Για παράδειγμα, η παρουσία συμπτωμάτων σήψης κατά την κλινική εξέταση ενεργοποιεί αυτόματα το πρότυπο σύστημα για τη θεραπεία των βακτηριακών λοιμώξεων, χωρίς να απαιτείται η ανάπτυξη πρωτοβουλίας από το χρήστη. Οι υποδείξεις του συστήματος σχετικά με τη βέλτιστη αντιβιοτική θεραπεία παράγονται αυτόματα, χωρίς να απαιτείται η διάθεση πολύτιμου χρόνου από τον κλινικό ιατρό, ο οποίος είναι επιφορτισμένος με την άμεση αντιμετώπιση του περιστατικού. Οι συγκεκριμένες υποδείξεις μπορούν στη συνέχεια να εκτυπώνονται και να επισυνάπτονται στο φάκελο του ασθενούς από το παραϊατρικό προσωπικό, επιτρέποντας έτσι στον κλινικό ιατρό να επωφεληθεί από τις προτάσεις του συστήματος, χωρίς να διαταράσσεται η καθιερωμένη ροή εργασιών και να απαιτείται από τους ιατρούς να ενεργήσουν με διαφορετικό τρόπο από αυτόν που είναι συνηθισμένοι, κάτι που οδηγεί με μαθηματική ακρίβεια στην απόρριψη του συστήματος.

- ⓐ Η συμβουλή να είναι διαθέσιμη στο χώρο της λήψης αποφάσεων και κατά τη χρονική στιγμή που καλείται ο ιατρός να λάβει μια απόφαση

Η εισαγωγή του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων στοχεύει στη διαθεσιμότητα των υποδείξεων από πολλαπλά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων στο χώρο της λήψης αποφάσεων και κατά τη χρονική στιγμή που καλείται ο ιατρός να λάβει μια απόφαση. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική επιτρέπει τη χρήση απλών εφαρμογών γραφείου ή λογισμικού πλοήγησης (web browser) για την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον υποστήριξης αποφάσεων, χωρίς να απαιτείται η εγκατάσταση ιδιαίτερου υλικού ή λογισμικού στο χώρο λήψης των αποφάσεων, δηλαδή το χώρο αντιμετώπισης του κλινικού περιστατικού (π.χ. τμήμα επειγόντων περιστατικών, ΜΕΘ κ.λ.π.). Συνεπώς, διευκολύνεται η πρόσβαση των ιατρών στην παρεχόμενη λειτουργικότητα μέσω ενός απλού σταθμού εργασίας ή μιας συσκευής Pocket PC, η οποία καλύπτει και την απαίτηση για αυξημένη κινητικότητα, που έχει ένας ιατρός που εργάζεται στις κλινικές του νοσοκομείου.

- ⓑ Το σύστημα να προτρέπει το χρήστη σε - συνήθως προληπτικές - ενέργειες που είναι εύκολο να διαφύγουν της προσοχής του στην προσπάθεια να αντιμετωπιστεί το άμεσο πρόβλημα του ασθενή

Οι Υπηρεσίες Αυτόματης Ενεργοποίησης ΣΥΑ και Αποδεικτικής Ιατρικής επιτρέπουν τον αυτόματο συσχετισμό της κλινικής εικόνας του ασθενή με ιατρικές οδηγίες και τη σχετική επιστημονική τεκμηρίωση, η οποία είναι διαθέσιμη στο Διαδίκτυο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αυτόματη παραγωγή υπενθυμίσεων που αφορούν προληπτικές ενέργειες και που προτείνονται από ιατρικές οδηγίες ή τη βιβλιογραφία. Για παράδειγμα, η εισαγωγή της διάγνωσης «οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου» (Κωδικός ICD9-CM : 410) στον εικονικό ιατρικό φάκελο μπορεί να «πυροδοτεί» την εμφάνιση της οδηγίας «Άμεση χορήγηση 160-325 mg ασπιρίνης». Η αυτόματη εμφάνιση μιας τέτοιας οδηγίας μπορεί να αποβεί σωτήρια για τον ασθενή που έχει υποστεί έμφραγμα, τη στιγμή που μπορεί να μειώσει τη θνητότητα κατά 25%, ενώ συνήθως παραλείπεται, στην προσπάθεια να αντιμετωπιστεί το άμεσο πρόβλημα του ασθενή.

17.2. Συμπεράσματα

Η ερευνητική εργασία στα πλαίσια του «ολοκληρωμένου περιβάλλοντος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων» οδήγησε σε ένα σύνολο από συμπεράσματα, τα οποία μπορούν να αποτελέσουν την αφετηρία για όσους επιθυμούν να αντιμετωπίσουν το θέμα της υποστήριξης κλινικών αποφάσεων με ένα συνολικό τρόπο και μέσα από το πρίσμα της ολοκλήρωσης των τεχνικών υποστήριξης αποφάσεων με την κλινική πράξη. Ειδικότερα, τα σημαντικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα διατριβή είναι τα ακόλουθα:

Το Κεφάλαιο 6 παρέχει μια συγκριτική αξιολόγηση των τεχνικών παραλληλοποίησης της εξαγωγής συμπερασμάτων σε δίκτυα Bayes, ενώ αξιολογεί ένα πραγματικό – και εξαιρετικά πολύπλοκο – κλινικό δίκτυο Bayes ως προς τις δυνατότητες παραλληλοποίησης της εξαγωγής συμπερασμάτων. Το θέμα αυτό αντιμετωπίζεται πρώτη φορά ολοκληρωμένα στην ελληνική βιβλιογραφία και τα συμπεράσματα που παραθέτουμε μπορούν να καθοδηγήσουν οποιονδήποτε ασχοληθεί μελλοντικά με το συγκεκριμένο θέμα.

Στο Κεφάλαιο 7 προτείνεται και αξιολογείται στην πράξη μια μεθοδολογία για την επιτάχυνση της απόκρισης συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων που βασίζονται σε δίκτυα Bayes με χρήση παράλληλου υλικού. Στο κεφάλαιο αυτό αποδεικνύεται ότι η απόδοση των συστημάτων αυτών μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με τη χρήση τεχνικών παράλληλης επεξεργασίας, ενώ το συμπέρασμα αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί από οποιονδήποτε ενδιαφέρεται να αναπτύξει στο μέλλον ένα σύστημα με χρήση δικτύου Bayes, ώστε να συμπεριλάβει εξ' αρχής τις δυνατότητες παράλληλης επεξεργασίας στη σχεδιάσή του.

Στο Κεφάλαιο 9 αξιολογούνται οι τρέχουσες τεχνολογίες κατανεμημένης επεξεργασίας υπό το πρίσμα των αναγκών ενός ολοκληρωμένου περιβάλλοντος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων και παρατίθενται τα σχετικά συμπεράσματα. Ειδικότερα, τεκμηριώνεται η ακαταλληλότητα της τρέχουσας αρχιτεκτονικής κατανεμημένων υπηρεσιών Υπολογιστικού Πλέγματος, καθώς και των τεχνικών αξιοποίησης έργων σταθμών εργασίας, για την υλοποίηση συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων με απαιτήσεις απόκρισης σε πραγματικό χρόνο.

Συνολικά, η ανάπτυξη και η σύνθεση των υπηρεσιών που απαρτίζουν το «ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων», όπως παρουσιάζονται στα Κεφάλαια 10-16, παρέχει χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τη σύνθεση πολλαπλών συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων σε μια ολοκληρωμένη λύση και παρέχει απαντήσεις σε ερωτήματα, όπως:

- Πώς μπορεί να ολοκληρωθεί ιατρική πληροφορία που είναι κατακερματισμένη μεταξύ ετερογενών συστημάτων σε μια ενιαία κωδικοποίηση, ώστε να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδότηση των συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων.
- Πώς μπορούν να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα απόδοσης και διαχειριστικού κόστους, που σχετίζονται με τις τρέχουσες τεχνολογίες αιχμής για την καταναεμημένη επεξεργασία, μέσω της ανάπτυξης πρωτότυπων ενοτήτων λογισμικού, οι οποίες επιτρέπουν την καταναεμημένη επεξεργασία αιτήσεων για υποστήριξη αποφάσεων σε σχεδόν πραγματικό χρόνο.
- Ποιοί αλγόριθμοι χρονοδρομολόγησης είναι κατάλληλοι για τη βέλτιστη ανάθεση ανεξάρτητων αιτήσεων για υποστήριξη αποφάσεων σε ένα σύνολο υπολογιστικών κόμβων, που συμμετέχουν σε ένα «ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων».
- Πώς μπορεί να ενσωματωθεί επιτυχώς ένας υπολογιστικός πόρος σε ένα τέτοιο περιβάλλον, ώστε να συνεισφέρει την υπολογιστική του ισχύ για τις ανάγκες της υποστήριξης κλινικών αποφάσεων.
- Πώς πρέπει να δομηθεί και με ποιο τρόπο να είναι διαθέσιμη η γραφική διεπαφή χρήστη, ώστε να διευκολύνει την εισαγωγή πληροφοριών, που δεν μπορούν να ανακτηθούν αυτόματα από κάποιο υπολογιστικό σύστημα του νοσοκομείου (π.χ. πληροφορίες σχετικά με την κλινική εικόνα).
- Πώς μπορεί να περιοριστεί ο υπερβολικός χρόνος αναζήτησης της πληροφορίας, που αποτελεί τη βασικότερη τροχοπέδη για την υιοθέτηση της Αποδεικτικής Ιατρικής στην κλινική πράξη, μέσω της αυτόματης αναζήτησης επιστημονικής τεκμηρίωσης με βάση τα περιεχόμενα ενός «εικονικού» φακέλου.

17.3. Επεκτάσεις και ανοικτά θέματα

Είναι σαφές ότι η παρούσα πρόταση για ένα «ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων» δεν αναδεικνύει, ούτε καλύπτει απόλυτα όλες τις πτυχές ενός τόσο πολύπλευρου θέματος. Στις πιθανές περιοχές περαιτέρω έρευνας και επέκτασης των παρεχόμενων υπηρεσιών περιλαμβάνονται τα παρακάτω:

- Δοκιμή της λειτουργίας σε πραγματικό κλινικό περιβάλλον

Παρ' ότι όλες οι μέθοδοι και οι υπηρεσίες που παρουσιάζονται στην παρούσα διατριβή επικεντρώνονται στην υιοθέτηση των συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων στην ιατρική πράξη, η εγκυρότητα της προσέγγισής μας δεν μπορεί να επιβεβαιωθεί οριστικά χωρίς τη δοκιμή τους σε πραγματικό κλινικό περιβάλλον. Συνεπώς, στις μελλοντικές προσπάθειες εντάσσεται και η δοκιμαστική λειτουργία μέρους ή του συνόλου των υπηρεσιών που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής σε πραγματικό περιβάλλον, με στόχο τη βελτίωση και επέκταση των παρεχόμενων υπηρεσιών μέσω της αξιολόγησής τους από τους χρήστες.

- Τροφοδοσία των συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων με απεικονιστικά δεδομένα

Ένα πολύ σημαντικό ποσοστό της ιατρικής πληροφορίας βρίσκεται σε μορφή εικόνων, ενώ οι διάφορες απεικονιστικές τεχνικές, όπως η αξονική ή η μαγνητική τομογραφία, η τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET), το ηλεκτροκαρδιογράφημα κ.α. παράγουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων καθημερινά. Η αυτοματοποίηση της ανάλυσης ιατρικών εικόνων και η εξαγωγή συμπερασμάτων από αυτές είναι απαραίτητο να ολοκληρωθεί σε ένα «περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων». Η ολοκλήρωση των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, που τροφοδοτούνται με απεικονιστικά δεδομένα, μέσα στο κλινικό περιβάλλον, προβάλλει ιδιαίτερες προκλήσεις, κυρίως σε σχέση με την αλληλεπίδραση του χρήστη με το σύστημα π.χ. για την επιλογή περιοχών ενδιαφέροντος πάνω στις εικόνες. Η επέκταση του «ολοκληρωμένου περιβάλλοντος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων» θα συμπεριλάβει μεθόδους και τεχνικές, που να επικεντρώνονται στα συστήματα που τροφοδοτούνται με απεικονιστικά δεδομένα και να υποστηρίζουν την υιοθέτησή τους στην κλινική πράξη.

- Έλεγχος της εγκυρότητας των δεδομένων που εισάγονται στο σύστημα

Το φαινόμενο «Garbage In Garbage Out», δηλαδή το γεγονός ότι ένα υπολογιστικό σύστημα δεν είναι σε θέση να αξιολογήσει την εγκυρότητα των δεδομένων, με τα οποία το τροφοδοτούμε, παράγοντας έτσι μια απόκριση χωρίς ουσιαστική αξία, φαντάζει ιδιαίτερα απειλητικό υπό το πρίσμα των συστημάτων υποστήριξης κλινικών αποφάσεων, καθώς αναμένουμε από αυτά μια έγκυρη αξιολόγηση των κλινικών περιστατικών. Η εισαγωγή λανθασμένων ιατρικών δεδομένων θα οδηγήσει σε λανθασμένες συστάσεις, κάτι που αναιρεί την επιχειρούμενη συμβολή των συστημάτων στην κλινική πράξη και είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη, ανεξάρτητα από το γεγονός ότι ο κλινικός ιατρός δεν εμπιστεύεται τυφλά ένα σύστημα, αλλά αποφασίζει με βάση τη δική του κρίση και συνεπικουρούμενος από το σύστημα. Συνεπώς, στα πλαίσια ενός «ολοκληρωμένου περιβάλλοντος υποστήριξης κλινικών αποφάσεων» είναι απαραίτητο ένα σύστημα ελέγχου της εγκυρότητας των ιατρικών δεδομένων που εισάγονται. Ο ίδιος ο έλεγχος της εγκυρότητας μπορεί να ανατεθεί όμως σε ένα «έμπειρο» σύστημα, που θα συμμετέχει στο ολοκληρωμένο περιβάλλον και θα ελέγχει την εγκυρότητα των δεδομένων, με τα οποία τροφοδοτούμε τα υπόλοιπα συστήματα. Ο έλεγχος αυτός μπορεί να βασίζεται σε απλούς συνεπαγωγικούς κανόνες, όπως π.χ. ένα αποδεκτό εύρος τιμών για τις εργαστηριακές μετρήσεις, ή σε πιο σύνθετες προσεγγίσεις «εξόρυξης γνώσης», οι οποίες θα ανιχνεύουν την απόκλιση με βάση στατιστικές μεθόδους ή τεχνητά νευρωνικά δίκτυα.

- Επέκταση και βελτίωση του Υποσυστήματος Διεπαφής Χρήστη

Η εφαρμογή αλληλεπίδρασης του χρήστη με το «ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης κλινικών αποφάσεων» μπορεί να επεκταθεί και να βελτιωθεί σημαντικά. Ειδικότερα, απαιτούνται πιο σύνθετες τεχνικές αναζήτησης διαγνώσεων ή φαρμάκων. Η επέκταση μπορεί να συμπεριλάβει μια υπηρεσία, η οποία θα παρέχει το σύνολο των διαθέσιμων διαγνώσεων των ιατρικών κωδικοποιήσεων SNOMED-CT ή ICD-9CM μέσω μιας διεπαφής, η οποία θα επιτρέπει την εύκολη και γρήγορη αναζήτηση της επιθυμητής διάγνωσης. Μια αντίστοιχη υπηρεσία μπορεί να περιλαμβάνει το σύνολο των χορηγούμενων φαρμάκων στα πλαίσια ενός οργανισμού παροχής υπηρεσιών

υγείας, ο κατάλογος των οποίων θα μπορεί να ενημερώνεται και να επεκτείνεται ανεξάρτητα από το Υποσύστημα Διεπαφής Χρήστη, το οποίο θα ανακτά μέρος του καταλόγου μέσω ερωτήσεων προς μια υπηρεσία ιστού. Άλλες επεκτάσεις μπορεί να αφορούν την περαιτέρω προσαρμογή της διεπαφής χρήστη στον τρόπο σκέψης των κλινικών ιατρών, π.χ. μέσω του διαχωρισμού του διαλογικού παραθύρου των διαγνώσεων σε δύο διαφορετικά παράθυρα για την τρέχουσα νόσο και το ιστορικό των ασθενειών.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Κανόνες αναγνώρισης περιστατικού σήψης μέσα στον εικονικό ιατρικό φάκελο

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<RuleEngine>
  <Rules>
    <Rule id="ActivateDSS1" desc="Rules for Activating DSS1">
      <Condition>
        <![CDATA[ FACT(Sepsis) ]]>
      </Condition>
      <Actions>
        <Action factId="DSS1">
          <Expression><![CDATA[ FACT(True) ]]></Expression>
        </Action>
        <Action factId="DSS1" result="false">
          <Expression><![CDATA[ FACT(False) ]]></Expression>
        </Action>
      </Actions>
    </Rule>
    <Rule id="Sepsis" desc="Rules for diagnosing Sepsis">
      <Condition>
        <![CDATA[ (FACT(TempOutOfRange) AND FACT(Tachycardia)) OR
(FACT(TempOutOfRange) AND FACT(Hyperventilation)) OR (FACT(TempOutOfRange) AND FACT(WBCOutOfRange)) OR
(FACT(Tachycardia) AND FACT(Hyperventilation)) OR (FACT(Tachycardia) AND FACT(WBCOutOfRange))
OR(FACT(Hyperventilation) AND FACT(WBCOutOfRange)) ]]>
      </Condition>
      <Actions>
        <Action factId="sepsis">
          <Expression><![CDATA[ FACT(True) ]]></Expression>
        </Action>
        <Action factId="sepsis" result="false">
          <Expression><![CDATA[ FACT(False) ]]></Expression>
        </Action>
      </Actions>
    </Rule>
    <Rule id="R_WBCOutOfRange" desc=" WBC less than 4000 OR WBC greater than 12000">
      <Condition>
        <![CDATA[ FACT(WBC)<4000 OR FACT(WBC)>12000 ]]>
      </Condition>
      <Actions>
        <Action factId="WBCOutOfRange">
          <Expression><![CDATA[ FACT(True) ]]></Expression>
        </Action>
        <Action factId="WBCOutOfRange" result="false">
          <Expression><![CDATA[ FACT(False) ]]></Expression>
        </Action>
      </Actions>
    </Rule>
    <Rule id="R_TempOutOfRange" desc=" Temp greater than 38 OR Temp less than 36">
      <Condition>
        <![CDATA[ FACT(Temp)<36 OR FACT(Temp)>38 ]]>
      </Condition>
      <Actions>
        <Action factId="TempOutOfRange">
          <Expression><![CDATA[ FACT(True) ]]></Expression>
        </Action>
        <Action factId="TempOutOfRange" result="false">
          <Expression><![CDATA[ FACT(False) ]]></Expression>
        </Action>
      </Actions>
    </Rule>
    <Rule id="R_Hyperventilation" desc=" respiratory rate greater than 20 OR PaCO2 less than 32 mmHg ">
      <Condition>
```

```

        <![CDATA[ FACT(RespRate)>20 OR FACT(PaCO2) < 32 ]]>
    </Condition>
    <Actions>
        <Action factId="Hyperventilation">
            <Expression><![CDATA[ FACT(True) ]]></Expression>
        </Action>
        <Action factId="Hyperventilation" result="false">
            <Expression><![CDATA[ FACT(False) ]]></Expression>
        </Action>
    </Actions>
</Rule>

<Rule id="R_Tachycardia" desc=" heart rate greater than 90 bpm ">
    <Condition>
        <![CDATA[ FACT(HeartRate)>90 ]]>
    </Condition>
    <Actions>
        <Action factId="Tachycardia">
            <Expression><![CDATA[ FACT(True) ]]></Expression>
        </Action>
        <Action factId="Tachycardia" result="false">
            <Expression><![CDATA[ FACT(False) ]]></Expression>
        </Action>
    </Actions>
</Rule>

</Rules>
<Facts>
    <Fact id="WBC" desc="White Blood Cells Count (cells/mm3) " type="double">
        <xpath><![CDATA[
ContinuityOfCareRecord/Body/Results/Result/Test[Description/Code/Value='P3-30520']/TestResult/Value ]]></xpath>
    </Fact>
    <Fact id="RespRate" desc="Respiratory Rate (breaths/min) " type="double">
        <xpath><![CDATA[
ContinuityOfCareRecord/Body/VitalSigns/Result/Test[Description/Code/Value='F-21007']/TestResult/Value ]]></xpath>
    </Fact>
    <Fact id="PaCO2" desc="arterial partial pressure of carbon dioxide (mmHg) " type="double">
        <xpath><![CDATA[
ContinuityOfCareRecord/Body/VitalSigns/Result/Test[Description/Code/Value='F-02B1F']/TestResult/Value ]]></xpath>
    </Fact>
    <Fact id="HeartRate" desc="Heart Rate (beats/min) " type="double">
        <xpath><![CDATA[
ContinuityOfCareRecord/Body/VitalSigns/Result/Test[Description/Code/Value='F-043F3']/TestResult/Value ]]></xpath>
    </Fact>
    <Fact id="Temp" desc="Body Temperature (oC) " type="double">
        <xpath><![CDATA[
ContinuityOfCareRecord/Body/VitalSigns/Result/Test[Description/Code/Value='F-048C3']/TestResult/Value ]]></xpath>
    </Fact>
    <Fact id="sepsis" desc="Sepsis Presentation" type="boolean" />
    <Fact id="True" desc="True Value" type="boolean">
        <xpath><![CDATA[ boolean(1) ]]></xpath>
    </Fact>
    <Fact id="False" desc="False Value" type="boolean">
        <xpath><![CDATA[ boolean(0) ]]></xpath>
    </Fact>
    <Fact id="DSS1" desc="Activation of DSS1" type="boolean"/>
    <Fact id="WBCOutOfRange" desc="WBCOutOfRange" type="boolean"/>
    <Fact id="TempOutOfRange" desc="TempOutOfRange" type="boolean"/>
    <Fact id="Hyperventilation" desc="Hyperventilation" type="boolean"/>
    <Fact id="Tachycardia" desc="Tachycardia" type="boolean"/>
</Facts>
</RuleEngine>

```

Το συμβόλαιο των λειτουργιών της Υπηρεσίας Επεξεργασίας Αιτήσεων

Στη συνέχεια παρατίθεται το αρχείο της Γλώσσας Περιγραφής Υπηρεσιών Ιστού, που πρέπει να υλοποιεί μια Υπηρεσία Επεξεργασίας Αιτήσεων προκειμένου να συμμετέχει στο ολοκληρωμένο περιβάλλον υποστήριξης αποφάσεων:


```

<wsdl:definitions xmlns:soap="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/soap/"
xmlns:tm="http://microsoft.com/wsdl/mime/textMatching/"
xmlns:soapenc="http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/" xmlns:mime="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/mime/"
xmlns:tns="http://localhost/Connect" xmlns:s="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
xmlns:soap12="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/soap12/" xmlns:http="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/http/"
xmlns:wSDL="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/" targetNamespace="http://localhost/Connect">
  <wsdl:types/>
  <wsdl:message name="ReceiverSoapIn">
    <wsdl:part name="input" type="s:string"/>
  </wsdl:message>
  <wsdl:message name="ReceiverSoapOut">
    <wsdl:part name="ReceiverResult" type="s:string"/>
  </wsdl:message>
  <wsdl:message name="MonitorSoapIn"/>
  <wsdl:message name="MonitorSoapOut">
    <wsdl:part name="MonitorResult" type="s:string"/>
  </wsdl:message>
  <wsdl:portType name="Service1Soap">
    <wsdl:operation name="Receiver">
      <wsdl:input message="tns:ReceiverSoapIn"/>
      <wsdl:output message="tns:ReceiverSoapOut"/>
    </wsdl:operation>
    <wsdl:operation name="Monitor">
      <wsdl:input message="tns:MonitorSoapIn"/>
      <wsdl:output message="tns:MonitorSoapOut"/>
    </wsdl:operation>
  </wsdl:portType>
  <wsdl:binding name="Service1Soap" type="tns:Service1Soap">
    <soap:binding style="rpc" transport="http://schemas.xmlsoap.org/soap/http"/>
    <wsdl:operation name="Receiver">
      <soap:operation soapAction="http://localhost/Connect/Receiver" style="rpc"/>
      <wsdl:input>
        <soap:body use="literal" namespace="http://localhost/Connect"/>
      </wsdl:input>
      <wsdl:output>
        <soap:body use="literal" namespace="http://localhost/Connect"/>
      </wsdl:output>
    </wsdl:operation>
    <wsdl:operation name="Monitor">
      <soap:operation soapAction="http://localhost/Connect/Monitor" style="rpc"/>
      <wsdl:input>
        <soap:body use="literal" namespace="http://localhost/Connect"/>
      </wsdl:input>
      <wsdl:output>
        <soap:body use="literal" namespace="http://localhost/Connect"/>
      </wsdl:output>
    </wsdl:operation>
  </wsdl:binding>
  <wsdl:service name="Service1">
    <wsdl:port name="Service1Soap" binding="tns:Service1Soap">
      <soap:address location="http://localhost/remotesitea/service1.asmx"/>
    </wsdl:port>
  </wsdl:service>
</wsdl:definitions>

```