

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
Τομέας Τηλεπικοινωνιών και Τεχνολογίας Πληροφορίας  
Εργαστήριο Ενσύρματης Τηλεπικοινωνίας

Διδακτορική Διατριβή

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΗΣ  
ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΗ  
ΠΑΡΟΧΗ ΕΞΑΤΟΜΙΚΕΥΜΕΝΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ  
ΥΓΕΙΑΣ**

Φωτεινή Γρ. Ανδριοπούλου

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Τεχνολογίας Υπολογιστών  
Πανεπιστημίου Πατρών

Αριθμός Διατριβής: 364

Πάτρα, 2018

© Copyright. Πνευματική Ιδιοκτησία

Φωτεινή Γρ. Ανδριοπούλου

2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διατριβής, 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 διατριβής για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς την συγγραφέα.

*Στην οικογένειά μου*



## Ευχαριστίες

Κάθε διδακτορική διατριβή αποτελεί ένα ξεχωριστό, ιδιαίτερο και μακρύ ταξίδι κατά τη διάρκεια του οποίου κάθε υποψήφιος διδάκτορας έρχεται αντιμέτωπος με πολλαπλά ερευνητικά ζητήματα και προκλήσεις, τα οποία καλείται να αντιμετωπίσει και να ξεπεράσει επιτυχώς προκειμένου να προσεγγίσει με βέλτιστο τρόπο ή να επιλύσει τις υφιστάμενες προκλήσεις. Κατά τη διάρκεια του ταξιδιού αυτού, τα επιτεύγματα της έρευνάς του θα αποτελέσουν με τη σειρά τους νέες προκλήσεις για περαιτέρω έρευνα και θα οδηγήσουν σε μελλοντικές εργασίες και ερευνητικά θέματα που στόχο θα έχουν την περαιτέρω ανάπτυξη και βελτίωση της ποιότητας της ζωής του ανθρώπου. Αυτή τη χρονική στιγμή που η διατριβή μου φαίνεται να έχει ολοκληρωθεί, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που ήταν στο πλάι μου καθ' όλη τη διάρκεια του ταξιδιού αυτού, με στήριζαν ηθικά και υλικά και με ενθάρρυναν σε κάθε μου βήμα και δοκιμασία. Θα ήθελα να επισημάνω ότι χωρίς τη βοήθειά και τη στήριξή τους η πραγμάτωση της εργασίας αυτής θα ήταν ανέφικτη.

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω την απέραντη ευγνωμοσύνη μου στον κ. Δημήτριο Λυμπερόπουλο, υπεύθυνο καθηγητή για την εκπόνηση της διατριβής μου και σύμβουλό μου καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, που μου έδωσε την ευκαιρία να διεξαγάγω την έρευνα και τη διατριβή μου στο Εργαστήριο Ενσύρματης Τηλεπικοινωνίας του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών. Η αποτελεσματική καθοδήγησή του ήταν σημαντική για την αποφυγή πολλών επιστημονικών λαθών και εμποδίων κατά τη διάρκεια όλων αυτών των ετών. Τον ευχαριστώ θερμά για την αστείρευτη υπομονή, την ενθάρρυνση και την υποστήριξή του προς το πρόσωπό του.

Έπειτα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς επιτροπής μου, τον επίκουρο καθηγητή Μιχαήλ Κουκιά, τον καθηγητή Σταύρο Κωτσόπουλο και τον καθηγητή μου Δημήτριο Λυμπερόπουλο για την εποικοδομητική κριτική και την ενθάρρυνσή τους. Κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής αυτής, υπήρξαν ένθερμοι υποστηρικτές της δουλειάς μου και προσέφεραν πολύτιμη βοήθεια μέσω των εύστοχων παρατηρήσεων τους και της κριτικής που άσκησαν σε πολλά επιστημονικά ζητήματα. Επιπλέον, θα ήθελα να

ευχαριστήσω όλα τα μέλη της επταμελούς επιτροπής, των οποίων οι οξυδερκείς παρατηρήσεις ήταν πολύτιμες για τη διαμόρφωση του περιεχομένου της παρούσας διατριβής.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή ευγνωμοσύνη μου και τις θερμές μου ευχαριστίες στο συνάδελφο μου, Δρ. Κωνσταντίνο Μπίρκο, ο οποίος υπήρξε ο μέντορας μου, χωρίς αυτόν δεν θα ήταν δυνατή η προσέγγιση πολλών ερευνητικών θεμάτων που πραγματεύεται η διατριβή αυτή σε επίπεδο υλοποίησης και επιστημοσύνης. Ήταν χαρά μου να μαθαίνω από την εμπειρία και τις γνώσεις του σε πολλά επίπεδα. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Δρ. Λαμπρινή Κολοβού για τη συμβολή και την προθυμία της να μοιραστεί τις γνώσεις και την εμπειρία της μαζί μου, καθώς και όλους τους συναδέλφους, φίλους και υποψήφιους διδάκτορες που συνέβαλαν στην ευχάριστη ατμόσφαιρα στο Εργαστήριο Ενσύρματης Τηλεπικοινωνίας του Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Υπολογιστών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών.

Τέλος, οφείλω να εκφράσω την βαθιά ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου για την οικονομική και ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου και με δίδαξαν να προσπαθώ, να επιμένω, να τολμώ και να μην εγκαταλείπω ακόμα και στα δύσκολα. Αρχές που μου φάνηκαν ιδιαίτερα χρήσιμες στην πραγμάτωση της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

## Περίληψη

Η παροχή απομακρυσμένων υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης και η κάλυψη έκτακτων αναγκών είναι εγγενώς μια πολύπλοκη διαδικασία, η οποία απαιτεί καθολική συνεργασία μεταξύ των εμπλεκόμενων οντοτήτων στο σχήμα θεραπείας του ασθενούς. Η καθολική συνεργασία προϋποθέτει την ικανοποίηση ενός συνόλου από απαιτήσεις και την αντιμετώπιση πολλαπλών τεχνικών προκλήσεων και ζητημάτων. Οι πιο σημαντικές προκλήσεις σχετίζονται με ζητήματα ολοκλήρωσης και διαλειτουργικότητας μεταξύ των ποικίλων εφαρμογών και τερματικών συσκευών που προσφέρονται από πληθώρα παρόχους υπηρεσιών υγείας. Οι απαιτήσεις αυτές δεν μπορούν να ικανοποιηθούν από τις υπάρχουσες κεντρικές αρχιτεκτονικές που έχουν προταθεί για το σκοπό αυτό, διότι αναπτύχθηκαν και λειτούργησαν στα αυστηρά όρια μεμονωμένων ιατρικών δομών, όπως, για παράδειγμα ένα νοσοκομείο με τα δορυφορικά του κέντρα υγείας και αγροτικά ιατρεία.

Με στόχο την αντιμετώπιση των προαναφερθέντων ζητημάτων, η παρούσα Διδακτορική Διατριβή προσφέρει καινοτόμες λύσεις στους τομείς της ολοκλήρωσης και της διαλειτουργικότητας των υπηρεσιών, των δεδομένων και των εφαρμογών. Συγκεκριμένα, προτείνει μια καινοτόμα πλατφόρμα υποστήριξης παντού και πάντοτε εξατομικευμένων υπηρεσιών υγείας σε ασθενείς που πάσχουν από χρόνιες παθήσεις. Οι βασικοί πυλώνες της έρευνας αυτής για την επίτευξη συνεργασίας εκτείνονται σε τρία διαφορετικά επίπεδα: στο επίπεδο εφαρμογών, δικτύου και σύνθεσης της πληροφορίας.

Αρχικά, η παρούσα διδακτορική διατριβή, πραγματεύεται το σχεδιασμό και την υλοποίηση μιας πλατφόρμας καθολικής συνεργασίας για την παροχή υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης σε ασθενείς που πάσχουν από χρόνιες παθήσεις. Στο πλαίσιο αυτό, προτείνεται η γενική αρχιτεκτονική και οι λειτουργίες που πρέπει να υποστηρίζονται για την επίτευξη διαλειτουργικότητας, την ολοκλήρωση των πληροφοριών και τη σύνθεση νέων υπηρεσιών με βάση τις τρέχουσες ανάγκες των τελικών χρηστών. Στόχος της πλατφόρμας αυτής είναι να επιτρέψει την ολοκλήρωση του ηλεκτρονικού ιατρικού φακέλου του ασθενούς που βρίσκεται διασκορπισμένος σε διαφορετικούς ετερογενείς οργανισμούς και ιδιώτες ιατρούς για την άμεση αντιμετώπιση κρίσιμων γεγονότων και τη δημιουργία νέων υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας, που βασίζονται στο προφίλ του χρήστη. Δεδομένης της

πολυπλοκότητας της ανάπτυξης μιας πλατφόρμας καθολικής συνεργασίας, κυρίως από παρόχους μικρής κλίμακας, προτάθηκε και η λογική υλοποίησης συνεργατικών σχημάτων με τη χρήση τεχνολογιών νέφους, τα οποία θα επιτρέπουν στους παρόχους αυτούς να ενοικιάζουν και να χρησιμοποιούν τα δομικά τους στοιχεία για λειτουργίες μηνυματοδοσίας, ολοκλήρωσης, ασφάλειας, διαχείρισης και ανάπτυξης νέων εφαρμογών.

Η παρούσα εργασία, ενισχύει την αλληλεπίδραση και τη συνεργασία των επαγγελματιών του χώρου της υγείας και των φροντιστών. Για το σκοπό αυτό, προτάθηκαν και αναπτύχθηκαν δύο καινοτόμα καταναμεμημένα ιεραρχικά δίκτυα, τα οποία οργανώνουν σε ομάδες με κοινά χαρακτηριστικά το ιατρικό και παραϊατρικό ανθρώπινο δυναμικό. Τα ιεραρχικά αυτά δίκτυα ενσωματώνουν μηχανισμούς που επιτρέπουν την αποδοτική συνεργασία των συμμετεχόντων και διασφαλίζουν τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις, ελαχιστοποιώντας τη διαδικασία αναζήτησης των επιθυμητών πληροφοριών. Επιπλέον, προτάθηκε η ενσωμάτωση ενός καινοτόμου μηχανισμού αναζήτησης πληροφοριών με πολλαπλά κριτήρια που βασίζεται στις αρχές της ελεγχόμενης πλημμύρας μηνυμάτων (flooding). Αυτός ο μηχανισμός χαρακτηρίζεται από έναν μικρό χρόνο απόκρισης και ένα χαμηλό επίφορτο μηνυμάτων που βελτιώνει περαιτέρω την απόδοση και την έγκαιρη παροχή των υπηρεσιών.

Τέλος, μελετήθηκε το ανθρωποκεντρικό μοντέλο φροντίδας και προτάθηκαν βελτιώσεις του με στόχο την έγκαιρη πρόληψη των επεισοδίων παρόξυνσης και την ελαχιστοποίηση της διαγνωστικής αβεβαιότητας. Για το σκοπό αυτό, ενσωματώνεται στην αρχιτεκτονική της συνεργατικής πλατφόρμας ένα καινοτόμο πλαίσιο (framework) γενικού σκοπού για την διαχείριση πολλαπλών νοσημάτων. Το προτεινόμενο πλαίσιο χρησιμοποιεί αλγορίθμους εκμάθησης μηχανής (machine learning) για να αξιολογήσει τα δεδομένα που συνέλεξε, εντοπίζει την πιθανότητα εμφάνισης επεισοδίων παρόξυνσης και λαμβάνει αποφάσεις για το επίπεδο σοβαρότητας της κατάστασης της υγείας του ασθενούς, καθώς και τις υπηρεσίες που πρέπει να ενεργοποιηθούν. Κάνοντας χρήση του πλαισίου αυτού, οι πάροχοι υγειονομικής περίθαλψης, οι οργανισμοί και οι φροντιστές μπορούν δυναμικά να αξιολογήσουν και να μοιραστούν πληροφορίες σχετιζόμενες με το προφίλ του ασθενούς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των ιατρικών λαθών λόγω διαγνωστικής αβεβαιότητας.

## **Abstract**

Remote healthcare service provisioning and covering of emergency cases is inherently a complex task which is characterized by high-level requirements for integration and interoperability among the various involved entities in the patient's healthcare treatment regimen of a patient. The collaboration establishment among various heterogeneous and distributed healthcare information systems imposes the addressing of a variety of technical challenges and requirements. The most significant challenges are related to integration and interoperability issues between the various applications and terminal devices offered by a variety of healthcare providers. These requirements cannot be addressed by the existing distributed healthcare systems that have been developed for these purposes. This is mainly due to the fact that they have developed independently and functioned within the strict limits of individual isolated medical structures, such as a hospital with its health centers. Therefore they have limited capabilities in cooperating with each other since there is a lack of common ICT standardized architectures and truly plug-and-play infrastructures among them.

In order to address the aforementioned issues, this dissertation thesis focuses on providing innovative architectures, mechanisms and functionality for the integration and interoperability across different services, information and applications. To be more specific, it proposes an innovative and collaborative platform that enables ubiquitous personalized healthcare service provisioning for patients suffering from chronic diseases. The main pillars of this research so as to achieve collaboration lie in the three following levels: application, network and information composition and execution.

The present dissertation thesis, deals with the design and the deployment of a collaborative platform for the healthcare service provisioning oriented to patients suffering from chronic diseases. In this context, the author proposes the general architecture and the functionality for an autonomous, self organizing and self configured platform in order to achieve interoperability and integration between information and services for the composition and the execution of new added value personalized services based on users' current needs. The aim of this platform is to enable the integration of the electronic healthcare records (EHRs) which are

distributed in various heterogeneous institutes and individual doctors for the immediate and accurate response to critical events, the reduction in medical errors or costs of hospitalizations and the creation of new added value services based on the patient's profile. Given the complexity of developing a standalone collaboration platform, notably by small-scale providers, the author proposed the deployment of the collaborative platform based on cloud computing paradigm. Deploying the collaborative platform upon cloud computing schemes enables the providers to rent or reuse existing components for messaging, integration, security, management purposes as well as for the development of new applications.

The present work strengthens the presence of the healthcare professionals and caregivers into the collaborative scheme in order to avoid wrong diagnosis, medical errors, drug interaction problems and inadequate staffing. For this purpose, two innovative hierarchically distributed networks have been proposed and developed that interconnect the medical and paramedical professionals into groups with common characteristics or interests. The aforementioned hierarchical networks incorporate mechanisms which allow the efficient cooperation of the participants and ensure their interactions providing secure and efficient searching of the required data. In addition, an innovative mechanism has been proposed and implemented for information searching and sharing with multiple criteria based on the principles of controlled flooding in order to support complex queries. This mechanism achieves low response time and limits messaging and signaling overhead which furtherly enhances the efficiency and timely service provisioning.

Finally, the patient-centric model has been enhanced taking into account the existence of comorbidities and multimorbidities so as to prevent the exacerbation episodes and minimizing the diagnostic uncertainty. In this context, a novel framework for general purposes has been incorporated in the architecture of the collaborative platform enabling the management of multiple diseases. It uses machine learning algorithms for evaluating data, detecting exacerbation events and making decisions about the severity level of patient's healthcare status. Through this framework, the healthcare system providers, the institutes and caretakers could dynamically assess and share information regarding to patient's profile as well as manage or prevent exacerbation episodes. As a consequence, the medical errors due to diagnostic uncertainty are reduced.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

|                                                                                                                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Κεφάλαιο1: Εισαγωγή</b>                                                                                                                                                               | <b>1</b>  |
| 1.1 Επισκόπηση . . . . .                                                                                                                                                                 | 1         |
| 1.2 Προσδιορισμός του προβλήματος και ερευνητικές προκλήσεις . . . . .                                                                                                                   | 4         |
| 1.3 Συνεισφορά της παρούσας διδακτορικής διατριβής . . . . .                                                                                                                             | 7         |
| 1.3.1 Πλαίσιο λήψης αποφάσεων για την έγκαιρη πρόληψη των επεισοδίων παρόξυνσης και ελαχιστοποίηση της διαγνωστικής αβεβαιότητας . . . . .                                               | 8         |
| 1.3.2 Αυτο-οργανούμενο δυναμικό συνεργατικό δίκτυο των εμπλεκόμενων οντοτήτων . . . . .                                                                                                  | 9         |
| 1.3.3 Γενική αρχιτεκτονική και λειτουργίες καθολικής πλατφόρμας συνεργασίας . . . . .                                                                                                    | 10        |
| 1.4 Οργάνωση της παρούσας διδακτορικής διατριβής . . . . .                                                                                                                               | 11        |
| 1.5 Ερευνητικές εργασίες και αναφορές που προέκυψαν . . . . .                                                                                                                            | 13        |
| 1.5.1 Ερευνητικές εργασίες σε διεθνή περιοδικά . . . . .                                                                                                                                 | 13        |
| 1.5.2 Ερευνητικές εργασίες σε διεθνή συνέδρια . . . . .                                                                                                                                  | 14        |
| <b>Κεφάλαιο2: Δομή Προτεινόμενου Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων (Context Decision Making Framework) για πρόβλεψη και διαχείριση επεισοδίων παρόξυνσης (exacerbations) σε χρόνιες παθήσεις.</b> | <b>17</b> |
| 2.1 Εισαγωγή . . . . .                                                                                                                                                                   | 17        |
| 2.2 Συναφείς ερευνητικές εργασίες . . . . .                                                                                                                                              | 21        |
| 2.3 Η αρχιτεκτονική του Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων (Context Decision Making Framework) . . . . .                                                                                           | 24        |
| 2.3.1 Επισκόπηση . . . . .                                                                                                                                                               | 24        |
| 2.3.2 Αρχιτεκτονική του Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων . . . . .                                                                                                                               | 25        |
| 2.4 Υλοποίηση του Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων . . . . .                                                                                                                                     | 29        |
| 2.4.1 Παρουσίαση της διάταξης του προτεινόμενου Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων (System Set-up) . . . . .                                                                                       | 31        |



|                   |                                                                                                                      |            |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.8               | Συμπεράσματα . . . . .                                                                                               | 102        |
| <b>Κεφάλαιο4:</b> | <b>Ενδιάμεση πλατφόρμα διαλειτουργικής υποστήριξης συνεργασίας των εμπλεκόμενων οντοτήτων</b>                        | <b>105</b> |
| 4.1               | Εισαγωγή . . . . .                                                                                                   | 105        |
| 4.2               | Συναφείς ερευνητικές εργασίες . . . . .                                                                              | 107        |
| 4.3               | Πλατφόρμα Παροχής Υπηρεσιών Νέας Γενιάς (NG-SDP) . . . . .                                                           | 110        |
| 4.3.1             | Ορισμός και Επισκόπηση της NG-SDP . . . . .                                                                          | 110        |
| 4.3.2             | Λειτουργικές Οντότητες -Functional Entities (FEs) . . . . .                                                          | 112        |
| 4.3.3             | Γενική αρχιτεκτονική της προτεινόμενης Πλατφόρμας Παροχής Υπηρεσιών Υγείας Νέας Γενιάς (Healthcare NG-SDP) . . . . . | 116        |
| 4.4               | Ολοκληρωμένη Πλατφόρμα Διαμεσολάβησης (Integrated Broker Platform - IBP) . . . . .                                   | 120        |
| 4.4.1             | Αρχιτεκτονική του Διαύλου Υπηρεσιών Τηλεϊατρικής - TSB . . . . .                                                     | 121        |
| 4.4.2             | Αρχιτεκτονική του Διαύλου Υπηρεσιών - SB . . . . .                                                                   | 127        |
| 4.4.3             | Υλοποίηση της Ολοκληρωμένης Πλατφόρμας Διαμεσολάβησης - IBP . . . . .                                                | 132        |
| 4.5               | Μελλοντική Πλατφόρμα Παροχής Υπηρεσιών (Future SDP - F-SDP) . . . . .                                                | 137        |
| 4.5.1             | Αιτίες για τη μετάβαση στην Future SDP (F-SDP) . . . . .                                                             | 137        |
| 4.5.2             | Αναμενόμενα Οφέλη από τη μετάβαση στην F-SDP . . . . .                                                               | 138        |
| 4.5.3             | Η Προτεινόμενη Αρχιτεκτονική της F-SDP) . . . . .                                                                    | 140        |
| 4.5.4             | Αρχιτεκτονική της Μελλοντικής Πλατφόρμας Παροχής Υπηρεσιών Υγείας (Healthcare F-SDP) . . . . .                       | 145        |
| 4.5.5             | Υλοποίηση της Μελλοντικής Πλατφόρμας Παροχής Υπηρεσιών Υγείας (Healthcare F-SDP) . . . . .                           | 150        |
| 4.6               | Συμπεράσματα . . . . .                                                                                               | 157        |
| <b>Κεφάλαιο5:</b> | <b>Συνολικά Συμπεράσματα Διατριβής</b>                                                                               | <b>159</b> |
|                   | <b>Βιβλιογραφία</b>                                                                                                  | <b>163</b> |



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

|     |                                                                                                                                                                           |     |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.1 | Συσχέτιση μεταξύ των ομάδων των ασθενών (Patient Group), του επιπέδου σοβαρότητας της νόσου ΧΑΠ (COPD Severity level) και των συμπτωμάτων [1]                             | 36  |
| 2.2 | Κανόνες λήψης αποφάσεων και σενάρια για την παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών υγείας.                                                                                      | 36  |
| 2.3 | Συσχέτιση μεταξύ της αρτηριακής πίεσης (Blood Pressure), των παραγόντων κινδύνου (Risk Factors) και του επιπέδου σοβαρότητας (Severity level) για τη μελέτη της υπέρτασης | 38  |
| 2.4 | Συσχέτιση Υπηρεσιών και Ειδοποιήσεων σε Επαγγελματίες του χώρου υγείας και των ασθενών                                                                                    | 40  |
| 4.1 | Καταγεγραμμένοι παράμετροι αξιολόγησης της πλατφόρμας IBP                                                                                                                 | 136 |



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

|      |                                                                                                                      |    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1  | Επισκόπηση του συστήματος. . . . .                                                                                   | 25 |
| 2.2  | Αρχιτεκτονική του Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων. . . . .                                                                  | 26 |
| 2.3  | Διάγραμμα Ροής Εργασιών του Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων. . . . .                                                        | 26 |
| 2.4  | Η διάταξη της υλοποίησης του προτεινόμενου Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων. . . . .                                         | 32 |
| 2.5  | Το ερωτηματολόγιο CAT για την αξιολόγηση της ΧΑΠ. . . . .                                                            | 33 |
| 2.6  | Η διαδικασία λήψης αποφάσεων. . . . .                                                                                | 35 |
| 2.7  | Η ροή των διαδικασιών κατά τη διάρκεια της πρώτης και δεύτερης φάσης λήψης αποφάσεων του πλαισίου Ef-Zin. . . . .    | 41 |
| 2.8  | Αξιολόγηση του πλαισίου λήψης αποφάσεων u-MCHC. . . . .                                                              | 43 |
| 2.9  | Αξιολόγηση της πρώτης φάσης του πλαισίου λήψης αποφάσεων Ef-Zin. . . . .                                             | 45 |
| 3.1  | Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ πολλών παρόχων του δικτύου P2Care. . . . .                                                 | 57 |
| 3.2  | Γενικευμένο διάγραμμα ροής πληροφοριών. . . . .                                                                      | 59 |
| 3.3  | Η δομή του δικτύου P2Care. . . . .                                                                                   | 61 |
| 3.4  | Η ιεραρχική δομή του δικτύου P2Care. . . . .                                                                         | 62 |
| 3.5  | Η ιεραρχική δομή του δικτύου P2Care σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. . . . .                                         | 68 |
| 3.6  | Ασφαλής ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ διαφορετικών υπερκείμενων δικτύων. . . . .                                        | 72 |
| 3.7  | Ανταλλαγή μηνυμάτων κατά τη διαδικασία σύνδεσης του νεοεισαχθέντος κόμβου. . . . .                                   | 74 |
| 3.8  | Ανταλλαγή μηνυμάτων κατά τη διαδικασία αποσύνδεσης ενός κόμβου. . . . .                                              | 77 |
| 3.9  | Ένα παράδειγμα της διαδικασίας ενημέρωσης των αποθηκευμένων πινάκων και πληροφοριών που διαθέτουν οι κόμβοι. . . . . | 78 |
| 3.10 | Ανταλλαγή μηνυμάτων για απλή αναζήτηση πληροφοριών. . . . .                                                          | 81 |
| 3.11 | Ανταλλαγή μηνυμάτων με βάση τη διαδικασία αναζήτηση με πολλαπλά κριτήρια. . . . .                                    | 82 |
| 3.12 | Παράδειγμα της διαδικασίας αναζήτησης με πολλαπλά κριτήρια. . . . .                                                  | 84 |

|                                                                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.13 Ένα παράδειγμα αναζήτησης πληροφορίας μεταξύ διαφορετικών υπερ-<br>κείμενων δικτύων. . . . .                                                                              | 86  |
| 3.14 Η ροή της διαδικασίας για το παράδειγμα που μελετάμε. . . . .                                                                                                             | 89  |
| 3.15 Αρχιτεκτονική του P2Care Bootstrap. . . . .                                                                                                                               | 93  |
| 3.16 Αρχιτεκτονική του P2Care Client. . . . .                                                                                                                                  | 94  |
| 3.17 Πλατφόρμα δοκιμών. . . . .                                                                                                                                                | 95  |
| 3.18 Εικόνες που λήφθηκαν από την απεικόνιση της οθόνης του υπολογιστή<br>της εφαρμογής P2Care. . . . .                                                                        | 97  |
| 3.19 Αριθμός ερωτημάτων συναρτήσει του αριθμού των κόμβων για αναζήτη-<br>ση με πολλαπλά κριτήρια. . . . .                                                                     | 98  |
| 3.20 Συνολικός χρόνος απόκρισης συναρτήσει του αριθμού των κόμβων. . . . .                                                                                                     | 99  |
| 3.21 Μέσος χρόνος απόκρισης συναρτήσει της πιθανότητας επιτυχούς ανεύ-<br>ρεσης της πληροφορίας για (α) 1024, (β) 2048, (γ) 4096, (δ) 8192 και (ε)<br>16384 κόμβους. . . . .   | 100 |
| 3.22 Μέσος αριθμός ερωτημάτων συναρτήσει της πιθανότητας επιτυχούς α-<br>νεύρεσης της πληροφορίας για (α) 1024, (β) 2048, (γ) 4096, (δ) 8192 και<br>(ε) 16384 κόμβους. . . . . | 102 |
| 4.1 Γενική επισκόπηση της προτεινόμενης πλατφόρμας NG-SDP. . . . .                                                                                                             | 111 |
| 4.2 Λειτουργίες της προτεινόμενης πλατφόρμας NG-SDP. . . . .                                                                                                                   | 113 |
| 4.3 Αρχιτεκτονική της προτεινόμενης πλατφόρμας υγείας NG-SDP. . . . .                                                                                                          | 117 |
| 4.4 Επισκόπηση της αρχιτεκτονικής IBP. . . . .                                                                                                                                 | 121 |
| 4.5 Λειτουργίες του TSB. . . . .                                                                                                                                               | 122 |
| 4.6 Αρχιτεκτονική του TSB. . . . .                                                                                                                                             | 124 |
| 4.7 Η δομή της κεφαλίδας του μηνύματος που δημιουργείται από το TSB. . . . .                                                                                                   | 126 |
| 4.8 Λειτουργίες του SB. . . . .                                                                                                                                                | 128 |
| 4.9 Αρχιτεκτονική του SB. . . . .                                                                                                                                              | 130 |
| 4.10 Αξιοπιστία πλατφόρμας IBP. . . . .                                                                                                                                        | 135 |
| 4.11 Απόδοση πλατφόρμας IBP. . . . .                                                                                                                                           | 135 |
| 4.12 Διαλειτουργικότητα πλατφόρμας IBP. . . . .                                                                                                                                | 135 |
| 4.13 Γενική αρχιτεκτονική του υβριδικού μοντέλου νέφους (hybrid cloud). . . . .                                                                                                | 140 |

|                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.14 Γενική αρχιτεκτονική του συνεργατικού νέφους (federated cloud). . . . .                                                            | 142 |
| 4.15 Γενική αρχιτεκτονική του διαμεσολαβητή νέφους (Cloud Broker). . . . .                                                              | 145 |
| 4.16 Γενική αρχιτεκτονική της Μελλοντικής Πλατφόρμας Παροχής Υπηρε-<br>σιών Υγείας (Healthcare Future SDP). . . . .                     | 146 |
| 4.17 Διάγραμμα ροής για την ανανέωση του ηλεκτρονικού φακέλου του ασθε-<br>νούς. . . . .                                                | 154 |
| 4.18 Διάγραμμα ροής για την παροχή υπηρεσιών απομακρυσμένης παρακο-<br>λούθησης και καταγραφής βιοσημάτων από τρίτους παρόχους. . . . . | 155 |



## Ακρωνύμια

|       |                                                |
|-------|------------------------------------------------|
| AAA   | Authentication, Authorization, and Accounting  |
| ADL   | Activity of Daily Living                       |
| AHP   | Analytical Hierarchy Process                   |
| AmI   | Ambient Intelligence                           |
| API   | Asymmetric Digital Subscriber Line             |
| CAM   | Context Acquisition Module                     |
| CAT   | COPD Assessment Test                           |
| CCM   | Chronic Care Model                             |
| CDME  | Context Decision Making Enabler                |
| CDMF  | Context Decision Making Framework              |
| CEE   | Creation and Execution Environment             |
| COPD  | Chronic Obstructive Pulmonary Disease          |
| COT   | Circle of Trust                                |
| CSCW  | Computer-Supported Cooperative Work            |
| CSP   | Communication Service Provider                 |
| DHT   | Distributed Hash Table                         |
| DICOM | Digital Imaging and Communications in Medicine |
| DMFE  | Decision Making Functional Entity              |
| DMM   | Decision Making Module                         |
| EHR   | Electronic Healthcare Record                   |
| ESB   | Enterprise Service Bus                         |
| FE    | Functional Entity                              |
| GHP   | Governmental Healthcare Provider               |
| GUI   | Grafical User Interface                        |
| HSS   | Home Subscriber Server                         |
| IBP   | Integrated Broker Platform                     |
| ICCC  | Innovative Care for Chronic Conditions         |
| ICT   | Information and communications technology      |

|         |                                             |
|---------|---------------------------------------------|
| IE      | Identity Enabler                            |
| IPF     | Open eHealth Integration Platform           |
| MIS     | Medical Information System                  |
| MNO     | Mobile Network Operator                     |
| NG-SDP  | Next Generation Service Delivery Platform   |
| NGN BSS | NGN Business Support System                 |
| NGN OSS | NGN Operation Support System                |
| P2P     | Peer-to-Peer                                |
| PEEM    | Policy Enforcement & Enhancement Management |
| PFE     | Provisioning Functional Entity              |
| PHP     | Private Healthcare Provider                 |
| QoE     | Quality of Experience                       |
| SAFE    | Self-Aware Functional Entity                |
| SB      | Service Broker                              |
| SCEH    | Service Creation & Execution Handler        |
| SDP     | Service Delivery Platform                   |
| SFE     | Security Functional Entity                  |
| SLA     | Service Level Agreement                     |
| SMFE    | Service Management Functional Entity        |
| SOA     | Service Oriented Architecture               |
| SOFE    | Self-Organizing Functional Entity           |
| SR      | Service Registry                            |
| SSO     | Single Sign On                              |
| TSB     | Telemedicine Service Bus                    |
| u-MCHC  | ubiquitous Management of Chronic Care       |
| VOD     | Video On Demand                             |
| VoIP    | Voice over Internet Protocol                |
| XML     | Extensible Markup Language                  |
| XMPP    | Extensible Messaging and Presence Protocol  |

# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

### 1.1 Επισκόπηση

Ιστορικά, ένας από τους πρώτους χώρους που εισήγαγε τις Τεχνολογίες της Πληροφορικής και των Επικοινωνιών (Information and communications technology -ICT) στην αρχιτεκτονική του ήταν ο χώρος της υγείας. Βασικός στόχος ήταν η παροχή απομακρυσμένων υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης και η κάλυψη έκτακτων αναγκών σε πραγματικό χρόνο. Ήδη, από τις αρχές της δεκαετίας του 1900 πραγματοποιήθηκε η πρώτη προσπάθεια για την παροχή υπηρεσιών υγείας μέσω ραδιοκυμάτων σε απομακρυσμένες περιοχές της Αυστραλίας. Οι πρώτες βιβλιογραφικές αναφορές για την ανάπτυξη αντίστοιχων συστημάτων παρουσιάζονται στα μέσα της δεκαετίας του 1960 από το Γενικό Νοσοκομείο της Μασαχουσέτης και τις υπηρεσίες της NASA για την παροχή υπηρεσιών υγείας σε υπαλλήλους και ταξιδιώτες του Διεθνούς Αερολιμένα της Βοστώνης και στους αστροναύτες αντίστοιχα [2]. Στη συνέχεια, στη δεκαετία του 1970 λειτούργησαν σε πραγματικές συνθήκες αντίστοιχα συστήματα σε απομακρυσμένα χωριά στην Αλάσκα, στον Καναδά και στην Σκωτία, για την αδιάλειπτη παροχή υπηρεσιών υγείας στους εργάτες των πετρελαιοπηγών της Βόρειας Θάλασσας αλλά και στους Βρετανούς επιστήμονες που δούλευαν στην Ανταρκτική [2]. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, παρότι το κόστος ήταν ιδιαίτερα υψηλό και οι τεχνολογικές δυνατότητες περιορισμένες, αναδείχτηκε η σπουδαιότητα των συστημάτων αυτών και η ανάγκη διεπιστημονικής συνεργασίας.

Οι ραγδαίες εξελίξεις που ακολούθησαν τις επόμενες δεκαετίες στο χώρο της Τεχνολογίας της Πληροφορικής και των Επικοινωνιών αποτέλεσαν καθοριστικό παράγοντα για την μετέπειτα πορεία του συνόλου των υπηρεσιών υγείας που παρέχονται εντός και εκτός των νοσηλευτικών μονάδων. Επιπρόσθετα, η ραγδαία αύξηση του προσδόκιμου ζωής είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των ατόμων που πάσχουν από χρόνιες παθήσεις και απαιτούν συνεχή παρακολούθηση [3]. Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι νέοι διεπιστημονικοί τομείς να εμφανίζονται, όπως η Βιοπληροφορική, η Ιατρική Πληροφορική, η Τηλεϊατρική, η Ψηφιακή Απεικονιστική κλπ, οι οποίοι παίζουν σημαντικό ρόλο στη διάγνωση των ασθενειών και στην περίθαλψη των ασθενών. Ειδικότερα δε, η εξ αποστάσεως παροχή όλων των υπηρεσιών αυτών δημιουργεί ένα νέο στιβαρό πλαίσιο λειτουργίας του ιατρικού χώρου, καθώς πλέον μπορούν να εισαχθούν και να υποστηριχθούν ευρέως εξατομικευμένες πανταχού παρούσες (personalized – ubiquitous) υπηρεσίες. Οι υπηρεσίες αυτές δίνουν τη δυνατότητα στους ασθενείς να ζουν φυσιολογικά και να διαχειρίζονται την κατάσταση της υγείας τους, όντας απομακρυσμένοι από το νοσοκομειακό περιβάλλον. Με τον τρόπο αυτό δεν υπάρχουν συγκεκριμένα / αποκλειστικά κέντρα παροχής υπηρεσιών, αλλά δημιουργείται ένα καταναλωμένο περιβάλλον, όπου οι πάροχοι και οι καταναλωτές των υπηρεσιών μπορούν να αλληλεπιδράσουν παντού και πάντοτε.

Η ολίσθηση αυτή του Ιατρικού Παραδείγματος στις νέες εξ αποστάσεως παρεχόμενες υπηρεσίες υγείας αποτέλεσε αντικείμενο πολλών ερευνητικών έργων, όπως για παράδειγμα το CAALYX [4], το CHRONIOUS [5], το ERMHAN [6], Sapphire [7]. Μέσω αυτών δόθηκε η δυνατότητα να μελετηθούν εξελιγμένα μοντέλα συλλογής και μετάδοσης βιοσημάτων, καθώς και η οργάνωση και διαχείριση πολυμεσικών συνεδριάσεων (sessions) πραγματικού χρόνου με στόχο την απομακρυσμένη διάγνωση, περίθαλψη και θεραπεία. Τα συστήματα αυτά, παρότι αντιμετώπισαν με επιτυχία πολλά ανοιχτά ζητήματα και προκλήσεις σχετιζόμενες με τη φύση της απομακρυσμένης παροχής υπηρεσιών υγείας, αποτέλεσαν επί της ουσίας συστήματα μικρής κλίμακας. Δηλαδή, μπορούσαν να υποστηρίξουν αλληλεπιδράσεις και διαδικασίες που ήταν αυστηρά συνδεδεμένες με την παροχή μιας μεμονωμένης από άκρο-σε-άκρο (end-to-end) υπηρεσίας (π.χ. υπηρεσίες υπενθύμισης, απομακρυσμένης παρακολούθησης, τηλεδιάσκεψης, κ.α.).

Σταδιακά, αναπτύχθηκαν μεγαλύτερης έκτασης κατανεμημένα συστήματα υποστήριξης συνεργατικών συστημάτων μεταξύ της πρωτοβάθμιας και της δευτεροβάθμιας περίθαλψης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων συστημάτων αποτελούν το Share4Health [8], το TelMed [9] και το WebOnColl [10]. Η υλοποίηση και η ανάπτυξη τους βασίστηκε στις τεχνολογικές αρχές των υπολογιστικών συστημάτων υποστήριξης συνεργασίας (Computer Supported Cooperative Work - CSCW). Μέσω των υπολογιστικών συστημάτων υποστήριξης συνεργασίας δόθηκε η δυνατότητα σε περισσότερους επαγγελματίες του χώρου της υγείας να επικοινωνούν, να διαμοιράζονται πληροφορίες, όπως για παράδειγμα αρχεία και δεδομένα ασθενών, καθώς και να δουλεύουν μαζί για να επιτύχουν κοινούς στόχους.

Τα αποτελέσματα των ερευνητικών αυτών προσπαθειών κατέδειξαν ότι η απομακρυσμένη παροχή υπηρεσιών υγείας έχει την ικανότητα να ελαττώσει τα μακροχρόνια ιατρικά κόστη και να αυξήσει την ποιότητα ζωής των ασθενών, κυρίως αυτών που υποφέρουν από χρόνιες παθήσεις, καθιστώντας τους ικανούς σε ένα σημαντικό βαθμό να διαχειριστούν από μόνοι τους την πάθηση τους και, επομένως, να μπορούν να ζήσουν ανεξάρτητα. Δηλαδή, ο ασθενής μετατρέπεται από παθητική οντότητα σε ενεργό μέλος της ομάδας θεραπείας. Με τον τρόπο αυτό ενισχύθηκε το ασθενοκεντρικό (patient-centric) μοντέλο ιατρικής φροντίδας που είναι πλήρως προσανατολισμένο στις ανάγκες του εκάστοτε ασθενούς και δίνει τη δυνατότητα σε κατανεμημένους επαγγελματίες της υγείας να συνεργάζονται και να αλληλεπιδρούν δυναμικά είτε μεταξύ τους είτε με τον ασθενή.

Όμως, παρά τα εμφανή πολύ θετικά αποτελέσματά τους, τα προαναφερθέντα συστήματα υποστήριξης συνεργασίας αναπτύχθηκαν και λειτούργησαν στα αυστηρά όρια μεμονωμένων ιατρικών δομών, όπως για παράδειγμα ένα νοσοκομείο με τα δορυφορικά του κέντρα υγείας και τα αγροτικά ιατρεία, προκειμένου να επιτευχθεί οικονομία κλίμακας σε ανθρώπινους και οικονομικούς πόρους. Βοήθησαν σημαντικά στο να διαχυθεί η γνώση και η εμπειρία στο σύνολο των απασχολούμενων στα όρια των συγκεκριμένων δομών.

Επιπρόσθετα, τα κλειστά αυτά ιατρικά συστήματα συνεργασίας, παρότι εσωτερικά υποστηρίζουν εξελιγμένες ιατρικές υπηρεσίες, παρουσιάζουν σημαντικά διαλειτουργικά προβλήματα στη συνεργασία τους με άλλα. Ειδικότερα, επιτρέπεται η πρόσβαση στους πόρους του συστήματος (π.χ. ιατρικοί φάκελοι ασθενών) μόνο στους εξουσιοδοτημένους

εργαζόμενους που ανήκουν στον ίδιο οργανισμό και αποκλείεται η δυναμική πρόσβαση σε τρίτους παρόχους, ώστε να χρησιμοποιήσουν τους πόρους αυτούς και να προσφέρουν τις δικές τους υπηρεσίες. Επιπλέον, ο ασθενής που θέλει να μεταβεί σε άλλον πάροχο ή να χρησιμοποιήσει μια νέα βελτιστοποιημένη υπηρεσία, είναι υποχρεωμένος κάθε φορά να αλλάζει τον τερματικό εξοπλισμό του με νέον.

## **1.2 Προσδιορισμός του προβλήματος και ερευνητικές προκλήσεις**

Η αντιμετώπιση των ζητημάτων που προέκυψαν από τα συστήματα υποστήριξης συνεργασίας και η καθιέρωση ενός ανοικτού και πλήρως διαλειτουργικού καθολικού δικτύου ιατρικών πλατφορμών συνεργασίας αποτελούν βασικά ερευνητικά πεδία στη σύγχρονη Ιατρική Πληροφορική και Τηλεϊατρική. Η εγκαθίδρυση κοινών προδιαγραφών για τη δόμηση και προσπέλαση των πόρων των υπολογιστικών συστημάτων συνεργασίας αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο για αυτό που αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως «Παγκόσμιο Πλέγμα Ιατρικής Πληροφορίας (World Healthcare Information Grid - WHIG)».

Τα ζητήματα διαλειτουργικότητας (interoperability) των συστημάτων υποστήριξης συνεργασίας μελετήθηκαν από πλήθος ερευνητικών προγραμμάτων, όπως το ARTEMIS [11], MedCIRCLE [12], iClouds [13], TRIPCOM [14], OCareCloudS [15] κ.α. Ειδικότερα, προσεγγίστηκε η αντιμετώπιση ζητημάτων διαλειτουργικότητας της πληροφορίας με στόχο την ανεμπόδιστη ανταλλαγή μεγάλου όγκου δεδομένων, κυρίως αυτών που δομούν τους ηλεκτρονικούς φακέλους (Electronic Health Records - EHRs) των ασθενών. Η επίλυση των ζητημάτων διαλειτουργικότητας της πληροφορίας προσεγγίστηκε με τη χρήση διαφόρων αρχιτεκτονικών πλαισίων που βασίζονται σε υπηρεσίες ιστού, ενδιάμεσου λογισμικού, τεχνολογιών νέφους (cloud computing) κλπ. Ωστόσο, στην πορεία ανέκυψαν νέα ζητήματα διαλειτουργικότητας, τα οποία δεν προέρχονται μόνο από την ανταλλαγή των δεδομένων αλλά επεκτείνονται και σε επίπεδα δικτύου και εφαρμογών από τρίτους παρόχους.

Η αύξηση του ποσοστού των ενσύρματων, ασύρματων αισθητήρων (βιοαισθητήρων και αισθητήρων περιβάλλοντος) καθώς και των κινητών συσκευών που επιτρέπουν κατ' οίκον παρακολούθηση στους ασθενείς οδήγησε στην ανάπτυξη σύνθετων μοντέλων κατ

οίκον παρακολούθησης και έθεσε νέες προκλήσεις και απαιτήσεις στον τομέα της απομακρυσμένης παροχής υπηρεσιών υγείας. Κάθε ασθενής είναι πλέον σε θέση να διαθέτει πολλές συσκευές διασυνδεδεμένες στο σπίτι του και να επιλέγει την επιθυμητή μέσα από ένα πλήθος εφαρμογών και υπηρεσιών που προσφέρονται είτε από έναν είτε από περισσότερους διαφορετικούς παρόχους υπηρεσιών εξ αποστάσεως παρακολούθησης της υγείας του. Οι δυνατότητες αυτές οριοθετούν μια νέα εποχή της τηλεϊατρικής που χαρακτηρίζεται από την εξατομίκευση των υπηρεσιών και την πανταχού και πάντοτε παρούσα παροχή των υπηρεσιών αυτών (personalised ubiquitous telemedicine). Όμως, η ποικιλότητα που παρουσιάζεται ανάμεσα στους διαφορετικούς παρόχους, αλλά και στις συσκευές, ανέδειξε με τη σειρά της πολλά νέα προβλήματα ολοκλήρωσης (integration) και διαλειτουργικότητας (interoperability), τόσο μεταξύ των ετερογενών δεδομένων όσο και μεταξύ των διαφορετικών συσκευών, δικτύων και εφαρμογών που κάθε χρήστης επιθυμούσε να χρησιμοποιήσει και κάθε πάροχος υποστήριζε.

Ωστόσο, παρά τον σχεδιασμό συστημάτων Τηλεϊατρικής που επιτρέπουν την εξατομικευμένη και πανταχού παρούσα επίβλεψη και αρωγή των ασθενών, παρατηρείται έλλειψη «καθολικής συνεργασίας» μεταξύ των εμπλεκόμενων οντοτήτων στο σχέδιο θεραπείας του ασθενούς καθώς και έλλειψη διαλειτουργικότητας και ολοκλήρωσης μεταξύ των ποικίλων εφαρμογών και τερματικών συσκευών που προσφέρονται από μια πληθώρα παρόχους υπηρεσιών υγείας.

Ο όρος «καθολική συνεργασία» περιλαμβάνει το σύνολο εκείνο των δυναμικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συνεργαζόμενων οντοτήτων (π.χ. συνεργατών, οργανισμών, ιδρυμάτων, παρόχων υγειονομικής περίθαλψης, ασφαλιστικών εταιρειών, ιατρικών και παραϊατρικών επαγγελματιών). Οι αλληλεπιδράσεις αυτές στοχεύουν να επιτύχουν: (α) ανάκτηση της κατανεμημένης πληροφορίας που σχετίζεται με το προφίλ του ασθενούς, (β) μετατροπή του μορφοτύπου (format) των πληροφοριών σε μια συναφή και δομημένη γλώσσα, ούτως ώστε το περιεχόμενο τους να καταστεί κατανοητό, (γ) σύνθεση μιας ολοκληρωμένης δομής περιεχομένου (context) του ασθενούς, (δ) ανταλλαγής μηνυμάτων για τους προαναφερθέντες σκοπούς, (ε) σύνθεση νέων εξατομικευμένων υπηρεσιών και (στ) διαχείριση αυτών με έναν ασφαλή τρόπο σύμφωνα με προκαθορισμένες πολιτικές εμπιστοσύνης και κανόνες.

Η έρευνα στο συγκεκριμένο ερευνητικό πεδίο έχει μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, διότι η έλλειψη συνεργασίας επιφέρει πολλές αρνητικές επιπτώσεις στην κλινική εικόνα, στην ποιότητα της ζωής του ασθενούς, καθώς και σε κοινωνικο-οικονομικό επίπεδο. Ως εκ τούτου, η επίτευξη της καθολικής συνεργίας με στόχο την εξατομικευμένη παροχή υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης πρέπει να υποστηρίζει πιο συνθέτες διαδικασίες και αλληλεπιδράσεις μεταξύ των εμπλεκόμενων πολλαπλών οντοτήτων (π.χ. συνεργατών, οργανισμών, ιδρυμάτων, παρόχων υγειονομικής περίθαλψης, ασφαλιστικών εταιρειών, ιατρικών και παραϊατρικών επαγγελματιών).

Συμπερασματικά, προκύπτει ότι η εδραίωση καθολικής συνεργασίας στον τομέα της παροχής υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης είναι εκ φύσεως ένα σύνθετο εγχείρημα και θέτει μια σειρά νέων προκλήσεων και απαιτήσεων. Αυτό οφείλεται, κυρίως, στο γεγονός ότι τα υπάρχοντα συστήματα απαιτούν την συνεργασία και αλληλεπίδραση μεταξύ ποικίλων ενδιαφερομένων μερών, τα οποία χαρακτηρίζονται από ανομοιογένεια στις εφαρμογές και τα δίκτυα που χρησιμοποιούν. Ειδικότερα, οι κυριότερες προκλήσεις είναι απόρροια αυτής της ανομοιογένειας που εστιάζεται στα παρακάτω: i) ο κάθε χρήστης (εμπλεκόμενη οντότητα) διαθέτει τερματικό εξοπλισμό και συσκευές από διάφορους, ανεξάρτητους μεταξύ τους προμηθευτές (vendors) που δεν είναι δυνατόν να αλληλεπιδράσουν μεταξύ τους, ii) η αρχιτεκτονική των υπαρχόντων συστημάτων παροχής υπηρεσιών υγείας εξ αποστάσεως δεν έχει σχεδιαστεί με βάση μια κοινή στρατηγική και ένα κοινό επιχειρηματικό πλάνο, αλλά βασίζεται στις αρχιτεκτονικές που κάθε πάροχος προσφέρει, iii) κάθε αρχιτεκτονική είναι υλοποιημένη σύμφωνα με τις τρέχουσες τεχνολογικές τάσεις και αρχιτεκτονικές δυσχεραίνοντας, περαιτέρω τη μεταξύ τους αλληλεπίδραση και, τέλος, iv) κάθε ένα από τα συστήματα παροχής υπηρεσιών υγείας είναι προσανατολισμένο στη διάγνωση και διαχείριση μιας μεμονωμένης νόσου, επομένως υπάρχει έλλειψη στη διαχείριση και αντιμετώπιση επεισοδίων που είναι απόρροια της ύπαρξης επεισοδίων συννοσηρότητας και πολυνοσηρότητας, πολύ κοινό και σύνηθες φαινόμενο στις χρονιές παθήσεις.

Επιπλέον, η ανάγκη για πανταχού και πάντοτε παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών υγείας εισάγει περαιτέρω περιορισμούς και προκλήσεις στην εδραίωση καθολικής συνεργίας. Ειδικότερα, τα διάχυτα κατανεμημένα περιβάλλοντα νέφους προσφέρουν υψηλή

ευελιξία και ποιότητα υπηρεσιών αλλά αποτυγχάνουν σε θέματα εγκαθίδρυσης εμπιστοσύνης και ασφάλειας. Αντίθετα, τα κατανεμημένα περιβάλλοντα εσωτερικής οργάνωσης (ιδιωτικά δίκτυα) είναι ικανά να προσφέρουν σταθερότητα, ασφάλεια και εμπιστοσύνη. Όμως, εδώ υπάρχει έλλειψη της δυνατότητας συνεργασίας με εξωτερικούς συμμετέχοντες.

### **1.3 Συνεισφορά της παρούσας διδακτορικής διατριβής**

Με στόχο την αντιμετώπιση των προαναφερθέντων ζητημάτων, η παρούσα Διδακτορική Διατριβή προτείνει μια καινοτόμα πλατφόρμα υποστήριξης παντού και πάντοτε εξατομικευμένων υπηρεσιών υγείας σε ασθενείς που πάσχουν από χρόνιες παθήσεις. Η προτεινόμενη Συνεργατική Πλατφόρμα επιτρέπει την αλληλεπίδραση και την παροχή καθολικής συνεργασίας μεταξύ διαφόρων ετερογενών οντοτήτων, εφαρμογών, υπηρεσιών και πόρων του δικτύου που ανήκουν σε διαφορετικούς οργανισμούς ή παρόχους, αντίστοιχα. Επιπλέον, προτείνεται η γενική αρχιτεκτονική και οι λειτουργίες που πρέπει να υποστηρίζονται για την επίτευξη διαλειτουργικότητας, την ολοκλήρωση των πληροφοριών και τη σύνθεση νέων υπηρεσιών με βάση τις τρέχουσες ανάγκες των τελικών χρηστών. Παράλληλα, προτείνεται ένα ιεραρχικό δίκτυο, το οποίο επιτρέπει τη δυναμική οργάνωση των συμμετεχουσών οντοτήτων σε ομάδες με στόχο την άμεση εγκαθίδρυση συνόδων, ανταλλαγή πληροφοριών και επίτευξη συνεργασίας. Ταυτόχρονα, ενσωματώνει στην αρχιτεκτονική της ένα πλαίσιο (framework) γενικού σκοπού για την διαχείριση πολλαπλών νοσημάτων. Κάνοντας χρήση αυτής της πλατφόρμας συνεργασίας, οι πάροχοι υγειονομικής περίθαλψης, οι οργανισμοί και οι φροντιστές θα μπορούν δυναμικά να αξιολογήσουν και να μοιραστούν πληροφορίες με έναν ασφαλή και αξιόπιστο τρόπο ανεξαρτήτως του οργανισμού που ανήκουν και του που βρίσκονται τα ιατρικά δεδομένα.

Οι βασικοί πυλώνες της έρευνας αυτής για την επίτευξη συνεργασίας σε όλα τα επίπεδα (εφαρμογών, δικτύου και σύνθεσης της πληροφορίας) είναι τρεις. Πρώτος πυλώνας είναι η δημιουργία ενός πλαισίου λήψης αποφάσεων για την έγκαιρη πρόληψη των επεισοδίων παρόξυνσης και την ελαχιστοποίηση της διαγνωστικής αβεβαιότητας. Η διαδικασία

της λήψης των αποφάσεων βασίζεται στην επεξεργασία και την αξιολόγηση των δεδομένων που συλλέγονται από διάφορες τερματικές συσκευές με χρήση αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης. Στόχος του πλαισίου λήψης αποφάσεων είναι η επιλογή του κατάλληλου θεραπευτικού σχήματος σχετικά με τις υπηρεσίες και τους συμμετέχοντες που θα πρέπει να εμπλακούν για την αντιμετώπιση του συμβάντος. Δεύτερος, βασικός πυλώνας είναι η δημιουργία ενός αυτο-οργανούμενου δυναμικού δικτύου για την οργάνωση και τη διαχείριση των συμμετεχόντων και των πόρων του δικτύου. Το δυναμικό αυτό δίκτυο οργανώνει σε ομάδες τις οντότητες με κοινά χαρακτηριστικά με σκοπό την επίτευξη συνεργασίας μεταξύ των εμπλεκόμενων οντοτήτων στο σχήμα θεραπείας του ασθενούς. Η οργάνωση σε ομάδες δίνει τη δυνατότητα να παρέχεται ασφαλής και αποτελεσματική αναζήτηση των επιθυμητών πληροφοριών και υπηρεσιών, δεδομένου ότι μειώνει τον συνολικό χρόνο απόκρισης. Ο τρίτος πυλώνας εστιάζει στη γενική αρχιτεκτονική και τις λειτουργίες της καθολικής πλατφόρμας συνεργασίας που θα επιτρέπει την ολοκλήρωση των διαθέσιμων πόρων και υπηρεσιών που ανήκουν σε διαφορετικούς παρόχους. Στόχος της καθολικής πλατφόρμας συνεργασίας αποτελεί η σύνθεση νέων υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας εξασφαλίζοντας την εξατομικευμένη παροχή υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης.

### **1.3.1 Πλαίσιο λήψης αποφάσεων για την έγκαιρη πρόληψη των επεισοδίων παρόξυνσης και ελαχιστοποίηση της διαγνωστικής αβεβαιότητας**

Στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής, μελετήθηκε το ανθρωποκεντρικό μοντέλο φροντίδας με στόχο την έγκαιρη πρόληψη των επεισοδίων παρόξυνσης και την ελαχιστοποίηση της διαγνωστικής αβεβαιότητας. Για το σκοπό αυτό, προτάθηκαν δύο καινοτόμα και πρωτότυπα πλαίσια, το u-MCHC [16] και το Ef-Zin [17], για την απομακρυσμένη διαχείριση και παρακολούθηση των ασθενών που πάσχουν από χρόνιες παθήσεις. Τα προτεινόμενα αυτά πλαίσια βελτιώνουν τα ήδη υπάρχοντα, καθώς το u-MCHC [16] προβλέπει και προλαμβάνει επεισόδια παροξύνσεων και παρέχει προσωποποιημένες υπηρεσίες, ενώ το Ef-Zin [17] λαμβάνει υπόψιν του την ύπαρξη πολλαπλών και συνοδών νοσημάτων κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Το πλαίσιο Ef-Zin, ουσιαστικά, αποτελεί μια βελτιωμένη έκδοση του u-MCHC, αφού βασίζεται στην κύρια λειτουργία του,

αλλά ενσωματώνει επιπρόσθετες λειτουργίες που του επιτρέπουν να λαμβάνει αποφάσεις για περισσότερες από μια παθήσεις, έτσι ώστε να παρέχει υπηρεσίες ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο των ιατρικών λαθών που προκύπτουν από τη διαγνωστική αβεβαιότητα. Εκτός από την έγκαιρη διάγνωση γεγονότων έκτακτης ανάγκης και επεισοδίων παρόξυνσης, τα δυο πλαίσια λήψης αποφάσεων που προτάθηκαν παρέχουν ένα οργανωτικό σχήμα που σχετίζεται με τις υπηρεσίες και τους συμμετέχοντες που θα πρέπει να εμπλακούν για την αντιμετώπιση του συμβάντος.

### **1.3.2 Αυτο-οργανούμενο δυναμικό συνεργατικό δίκτυο των εμπλεκόμενων οντοτήτων**

Επιπλέον, στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, αναπτύχθηκαν δύο καινοτόμα κατανεμημένα ιεραρχικά δίκτυα παροχής υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης (το δίκτυο P2Care [18], [19] και το βελτιωμένο δίκτυο P2Care για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης [20]) τα οποία δομούνται με βάση την αρχιτεκτονική των δομημένων υπερκείμενων δικτύων ομοτίμων κόμβων. Το δίκτυο P2Care [19] παρέχει ένα συνεργατικό δίκτυο που οργανώνει σε ομάδες το ιατρικό και παραϊατρικό ανθρώπινο δυναμικό με κοινά χαρακτηριστικά και ενδιαφέροντα, ελαχιστοποιώντας τη διαδικασία αυτο-διαχείρισης των ασθενών. Η ομαδοποίηση αυτή παρέχει τη δυνατότητα ασφαλούς και αποτελεσματικής αναζήτησης των επιθυμητών πληροφοριών, δεδομένου ότι μειώνει το συνολικό χρόνο απόκρισης και τον επίφορτο σηματοδότησης (signaling overhead) με έναν επεκτάσιμο τρόπο. Για το σκοπό αυτό προτάθηκε η ενσωμάτωση ενός καινοτόμου μηχανισμού αναζήτησης πληροφοριών [18], ο οποίος (α) βασίζεται στις αρχές της ελεγχόμενης πλημμύρας μηνυμάτων (flooding) και (β) ενσωματώνεται στις λειτουργίες των δομημένων υπερκείμενων δικτύων με σκοπό να αξιοποιήσει πλήρως τα οφέλη που προσφέρουν τα δομημένα δίκτυα ομοτίμων κόμβων. Αυτός ο μηχανισμός χαρακτηρίζεται από τον μικρό χρόνο απόκρισης και το χαμηλό επίφορτο μηνυμάτων (messaging overhead). Επιπροσθέτως, προτάθηκε η παράλληλη λειτουργία δύο ιεραρχικών μοντέλων, προκειμένου να προσεγγιστούν και να γίνουν διαχειρίσιμες οι αυξανόμενες απαιτήσεις του τομέα της υγειονομικής περίθαλψης σε έκτακτες και επείγουσες καταστάσεις [20] με σκοπό την άμεση και έγκαιρη επίτευξη

συνεργασίας μεταξύ των συμμετεχόντων στη διάγνωση και τη θεραπεία του ασθενούς. Το πρώτο μοντέλο λειτουργίας [18] χρησιμοποιείται σε καθημερινή βάση κάτω από φυσιολογικές συνθήκες για την παροχή βασικών λειτουργιών επικοινωνίας, ενώ το δεύτερο μοντέλο λειτουργίας [20] χειρίζεται αιτήματα έκτακτης ανάγκης με αποτελεσματικό και έγκαιρο τρόπο.

### **1.3.3 Γενική αρχιτεκτονική και λειτουργίες καθολικής πλατφόρμας συνεργασίας**

Τέλος, παρουσιάστηκε η αρχιτεκτονική και οι λειτουργίες μιας καινοτόμου Πλατφόρμας Παροχής Υπηρεσιών Νέας Γενιάς (NG-SDP) στον τομέα της υγείας που θα είναι ανοιχτή σε όλους τους παρόχους, χρήστες και φορείς. Η πλατφόρμα αυτή αποτελεί το ενδιάμεσο λογισμικό (middleware) για την επίτευξη ολοκλήρωσης και σύνθεσης νέων υπηρεσιών μεταξύ διαφορετικών παρόχων της Συνεργατικής Πλατφόρμας. Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν οι ανάγκες και τα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά τη διαδικασία παροχής υπηρεσιών υγείας [21] και παρουσιάστηκαν συστάσεις για τις βασικές λειτουργίες και τις λειτουργικές οντότητες που πρέπει να διέπουν μια πλατφόρμα νέας γενιάς (NG-SDP) [22] για την παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών στο χώρο της υγείας. Η προτεινόμενη πλατφόρμα παρέχει καινοτόμες λειτουργίες συλλογής πληροφοριών από διάφορους βιοαισθητήρες, το συγκεκριμένο (context) του ασθενούς και την αξιολόγησή τους με σκοπό την ενσωμάτωση της αυτόματης λειτουργίας ενεργοποίησης της πλατφόρμας και την παροχή νέων εξατομικευμένων υπηρεσιών. Παράλληλα, ενσωματώνει τις βασικές λειτουργίες ολοκλήρωσης και δημιουργίας νέων υπηρεσιών, παρέχοντας τη δυνατότητα σε οποιανδήποτε επιχείρηση να αναπτύξει μια NG-SDP για τις ανάγκες της είτε με επαναχρησιμοποίηση των πόρων που διαθέτει [23] είτε με την ενσωμάτωση των λογισμικών συστημάτων της σε νέες λύσεις που θα αγοράσει ή θα υπο-ενοικιάσει [24]. Στόχος της πλατφόρμας αυτής είναι να επιτρέψει την ολοκλήρωση του EHR που βρίσκεται διασκορπισμένος σε διαφορετικούς ετερογενείς οργανισμούς και ιδιώτες ιατρούς, για να μπορέσει να λειτουργήσει με αποτελεσματικό τρόπο το P2Care και τα πλαίσια λήψης αποφάσεων και πρόληψης. Επιπλέον, παρέχει μηχανισμούς για τη δημιουργία νέων υπηρεσιών προσιτής αξίας που βασίζονται στο προφίλ του χρήστη.

## 1.4 Οργάνωση της παρούσας διδακτορικής διατριβής

Η διατριβή αποτελείται από τα παρακάτω πέντε κεφάλαια:

Στο *εισαγωγικό κεφάλαιο 1*, παρουσιάζεται μια ιστορική αναδρομή στον τομέα της απομακρυσμένης παροχής υπηρεσιών υγείας. Περιγράφεται το περιβάλλον της διάχυτης και εξατομικευμένης παροχής υπηρεσιών υγείας για χρόνιες παθήσεις, προσδιορίζονται τα ανοιχτά ζητήματα και οι προκλήσεις των υπάρχουσών τεχνολογιών στην επίτευξη συνεργασίας και τονίζεται η ανάγκη υιοθέτησης της συνεργασίας μεταξύ των εμπλεκόμενων οντοτήτων στο σχέδιο θεραπείας του ασθενούς. Παράλληλα, παρουσιάζεται ο στόχος και η συνεισφορά της παρούσας διδακτορικής διατριβής στην αντιμετώπιση των ζητημάτων και προκλήσεων στην επίτευξη συνεργασίας.

Στο *κεφάλαιο 2*, εισάγεται ένα ολοκληρωμένο ασθενοκεντρικό (patient-centric) μοντέλο ιατρικής φροντίδας και αναλύεται η δομή του προτεινόμενου Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων (Context Decision Making Framework) για πρόβλεψη και διαχείριση επεισοδίων παρόξυνσης (exacerbations) σε χρόνιες παθήσεις. Στόχος του Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων είναι η δημιουργία ενός θεραπευτικού σχήματος με βάση τα αποτελέσματα από τη συλλογή διαφόρων δεδομένων συγκειμένου του ασθενούς για την αποτελεσματική και έγκαιρη αντιμετώπιση επειγουσών και κρίσιμων καταστάσεων ελαχιστοποιώντας τη διαγνωστική αβεβαιότητα και τα ιατρικά λάθη.

Στο *κεφάλαιο 3* παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική και η δομή ενός καινοτόμου, ιεραρχικού δικτύου ομοτίμων κόμβων P2Care για τη δυναμική οργάνωση και την εγκαθίδρυση συνεργατικών σχημάτων μεταξύ των εμπλεκόμενων οντοτήτων στη θεραπεία και τη διαχείριση της κατάστασης της υγείας του ασθενούς. Το δίκτυο διέπεται από ένα σύνολο μηχανισμών ασφαλείας που επιτρέπουν τον ασφαλή διαμοιρασμό των πληροφοριών σε πολλαπλά επίπεδα. Κάθε χρήστης έχει ένα διαφορετικό επίπεδο ασφαλείας ανάλογα με το ρόλο του και την ομάδα στην οποία ανήκει. Επιπλέον, προτάθηκε η ενσωμάτωση ενός καινοτόμου μηχανισμού αναζήτησης πληροφοριών με πολλαπλά κριτήρια, ο οποίος βασίζεται στις αρχές της ελεγχόμενης πλημμύρας μηνυμάτων (flooding), με σκοπό την πλήρη αξιοποίηση των οφελών που προσφέρουν τα δομημένα δίκτυα ομοτίμων κόμβων. Αυτός ο μηχανισμός χαρακτηρίζεται από ένα μικρό χρόνο απόκρισης και ένα χαμηλό επίφορτο

μηνυμάτων (messaging overhead). Παράλληλα, προτείνεται ένα βελτιωμένο ιεραρχικό δίκτυο ομοτίμων κόμβων βασισμένο στην αρχιτεκτονική, τις λειτουργίες και τους μηχανισμούς αναζήτησης πληροφοριών του δικτύου P2Care για την αντιμετώπιση έκτακτων καταστάσεων. Το βελτιωμένο αυτό δίκτυο επιφέρει περαιτέρω μείωση του χρόνου απόκρισης και αναζήτησης των πληροφοριών.

Στο κεφάλαιο 4 προσεγγίζεται το πρόβλημα της καθολικής συνεργασίας με την πρόταση μιας Πλατφόρμα Παροχής Υπηρεσιών Νέας Γενιάς (Next Generation Service Delivery Platform - NG-SDP) για τον χώρο της υγείας. Η προτεινόμενη πλατφόρμα εισάγει καινοτόμες λειτουργίες συλλογής πληροφοριών συγκειμένου με στόχο την ενσωμάτωση της αυτόματης λειτουργίας ενεργοποίησης της σύνθεσης εξατομικευμένων υπηρεσιών με βάση τις τρέχουσες ανάγκες και το προφίλ του ασθενούς. Επιπροσθέτως, προτάθηκε και μια συνεργατική πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα, Ολοκληρωμένη Πλατφόρμα Διαμεσολάβησης (Integrated Broker Platform - IBP), αποτελούμενη από τα κύρια δομικά στοιχεία της NG-SDP, τα οποία είναι υπεύθυνα για την παροχή λειτουργιών μηνυματοδοσίας, ολοκλήρωσης και ανάπτυξης νέων εφαρμογών, έτσι ώστε η προτεινόμενη πλατφόρμα να είναι ανεξάρτητη λειτουργικά από τις διάφορες επιχειρησιακές λύσεις. Η IBP δίνει τη δυνατότητα σε οποιονδήποτε τρίτο πάροχο να αναπτύξει μια Πλατφόρμα Παροχής Υπηρεσιών Νέας Γενιάς (NG-SDP) για τις ανάγκες του είτε με επαναχρησιμοποίηση των πόρων που διαθέτει είτε με ενσωμάτωση των λογισμικών συστημάτων του σε νέες λύσεις που θα προμηθευτεί. Δεδομένης της πολυπλοκότητας της ανάπτυξης μιας NG-SDP, κυρίως από τρίτους παρόχους μικρής κλίμακας, προτάθηκε και η λογική υλοποίησης συνεργατικών σχημάτων με τη χρήση τεχνολογιών νέφους, έτσι ώστε να μπορούν να αναπτύξουν τις δικές τους εξατομικευμένες υπηρεσίες, χωρίς να διαθέτουν τον απαραίτητο εξοπλισμό.

Τέλος, στο κεφάλαιο 5 ολοκληρώνεται η παρούσα εργασία με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων που προκύπτουν από την έρευνα που περιγράφεται στη διατριβή αυτή. Οι ερευνητικές εργασίες, καθώς και οι ετεροαναφορές που προέκυψαν, επιβεβαιώνουν ότι τα προαναφερθέντα συστήματα που προτάθηκαν και αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, είναι εφαρμόσιμα σε διάφορα τηλεπικοινωνιακά συστήματα και δίκτυα.

## 1.5 Ερευνητικές εργασίες και αναφορές που προέκυψαν

Κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσης διδακτορικής διατριβής δημοσιεύθηκαν οι ακόλουθες εργασίες:

### 1.5.1 Ερευνητικές εργασίες σε διεθνή περιοδικά

1. **F. Andriopoulou, K. Birkos, and D. Lymberopoulos, “P2Care: A Dynamic Peer-to-Peer Network for Collaboration in Personalized Healthcare Service Delivery,”** Special Issue on IT for Enhanced Healthcare, Journal of Computers in Industry, Elsevier, October, 2014 (**Current I.F. 1.77, I.F. 5YEARS 2.028**)
  - i) Lee, C. K. M., Ru, C. T. Y., Yeung, C. L., Choy, K. L., & Ip, W. H. (2015). Analyze the healthcare service requirement using fuzzy QFD. Computers in Industry, 74, 1-15.
  - ii) Wang, Z., Chu, D., & Xu, X. (2016, May). Personal Service Eco-Environment (PSE 2): A User-Centric Services Computing Paradigm. In International Conference on Exploring Services Science (pp. 141-154). Springer, Cham.
  - iii) Hossain, A., Mirza, F., Naeem, M. A., & Gutierrez, J. (2017, November). A crowd sourced framework for neighbour assisted medical emergency system. In Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC), 2017 27th International (pp. 1-6). IEEE.
  - iv) Jabeen, F., Hamid, Z., Akhunzada, A., Abdul, W., & Ghouzali, S. (2018). Trust and Reputation Management in Healthcare Systems: Taxonomy, Requirements and Open Issues. IEEE Access, 6, 17246-17263.
  - v) Andrikos, C., Rassias, G., Tsanakas, P., & Maglogiannis, I. G. (2018). An enhanced device-transparent real-time teleconsultation environment for radiologists. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics.
2. **F. Andriopoulou, K. Birkos, and D. Lymberopoulos, “A Novel Hierarchical Group-Based Overlay Healthcare Network”,** International Journal of E-Health and Medical

Communications (IJEHMC), IGI Global, Volume 8, Issue F. Andriopoulou, K. Birkos, and D. Lymberopoulos, “A Novel Hierarchical Group-Based Overlay Healthcare Network”, International Journal of E-Health and Medical Communications (IJEHMC), IGI Global, Volume 8, Issue 4, December, 2017.

### 1.5.2 Ερευνητικές εργασίες σε διεθνή συνέδρια

1. **F. Andriopoulou**, and D. Lymberopoulos, “**A new platform for delivery interoperable Telemedicine services**,” in Proc. Second Int. ICST Conf on Wireless Mobile Communication and Healthcare, pp.181-188, October 5-7, Kos Island, 2011.
  - i) Shaikh, A. ”The impact of SOA on a system design for a telemedicine healthcare system.” Network Modeling Analysis in Health Informatics and Bioinformatics 4.1 (2015): 15.
  - ii) Piergiorgio Annicchiarico, ”Esperienze e prospettive di ATS: l’importanza di un approccio architetturale”, Telemedicina per la sostenibilità dei programmi regionali e di governo assistenziale, ATSSardegna, Agianda Tutela Salute, 2017.
2. **F. Andriopoulou**, N. Lazarou, and D. Lymberopoulos, “**A proposed Next Generation Service Delivery Platform (NG-SDP) for eHealth domain**,” in Proc. 34th Annual Int. Conf of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, August 28-September 1, San Diego, California, USA.
3. **F. Andriopoulou**, and D. Lymberopoulos, “**Future SDP through Cloud Architectures**,” in Proc. of 2nd Artificial Intelligence Applications in Biomedicine Workshop (AIAB 2012), IFIP Advances in Information and Communication Technology, SpringerLink, Volume 382, pp 1-15, 2012.
4. **F. Andriopoulou**, L. Kolovou and D. Lymberopoulos, “**An Integrated Broker Platform for open eHealth domain**”, in Proc. of 3rd Intern. Conf. on Wireless Mobile Communication and Healthcare- MobiHealth 2012, November 21-23, Paris, France, 2012.

- i) Andriopoulou, F., Dagiuklas, T., & Orphanoudakis, T. (2017). Integrating IoT and fog computing for healthcare service delivery. In *Components and Services for IoT Platforms* (pp. 213-232). Springer, Cham.
- 5. **F. Andriopoulou, K. Birkos, and D. Lymperopoulos, “u-MCHC: A predictive framework for ubiquitous management of exacerbations in chronic diseases.”** in *Proc. of 35th Annual Intern. Conf. of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, July 3-7, Osaka, Japan, 2013.
- 6. **F. Andriopoulou, K. Birkos, and D. Lymperopoulos, “P2Care: A Dynamic Self-Organized Healthcare Network for Ubiquitous Healthcare Environment”,** in *Proc. of 15th IEEE International Conference on e-Health Networking, Application & Services (IEEE Healthcom 2013)*, Portugal, October, 2013.
  - i) De Rolt, C. R., Montanari, R., Brocardo, M. L., Foschini, L., & da Silva Dias, J. (2016, June). COLLEGA middleware for the management of participatory mobile health communities. In *Computers and Communication (ISCC), 2016 IEEE Symposium on* (pp. 999-1005). IEEE.
  - ii) Bellavista, P., De Benedetto, J., De Rolt, C. R., Foschini, L., & Montanari, R. (2017, May). LTE proximity discovery for supporting participatory mobile health communities. In *Communications (ICC), 2017 IEEE International Conference on* (pp. 1-6). IEEE.
  - iii) Andrikos, C., Rassias, G., Tsanakas, P., & Maglogiannis, I. G. (2018). An enhanced device-transparent real-time teleconsultation environment for radiologists. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*.
- 7. **F. Andriopoulou, K. Birkos, and D. Lymberopoulos, “Ef-Zin: A hybrid framework for ubiquitous management of comorbidity and multimorbidity in chronic diseases”,** in *Proc. of 13th IEEE International Conference on BioInformatics and BioEngineering (IEEE BIBE 2013)*, Greece, November, 2013.



## **Κεφάλαιο 2**

### **Δομή Προτεινόμενου Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων (Context Decision Making Framework) για πρόβλεψη και διαχείριση επεισοδίων παρόξυνσης (exacerbations) σε χρόνιες παθήσεις.**

#### **2.1 Εισαγωγή**

Ο όρος χρόνιες παθήσεις (Chronic Diseases) αναφέρεται σε προβλήματα υγείας που απαιτούν "συνεχή διαχείριση και παρακολούθηση σε μια περίοδο ετών ή δεκαετιών". Αυτό σημαίνει ότι οι χρόνιες παθήσεις δεν μπορούν να θεραπευτούν, αλλά εφόσον αντιμετωπιστούν σωστά και παρασχεθεί η σωστή φροντίδα, η πάθηση αυτή πλέον δεν αποτελεί άμεσο κίνδυνο για την υγεία του ασθενούς, ο οποίος μπορεί να συνεχίσει κανονικά τη ζωή του και να συμμετέχει σε όλες τις κοινωνικές δραστηριότητες. Στόχος της φροντίδας των χρόνιων παθήσεων αποτελεί η ενίσχυση της λειτουργικής κατάστασης του ασθενούς και η βελτίωση της ποιότητας της ζωής του. Αυτά επιτυγχάνονται μέσα από τη συνεργασία του ασθενούς και του θεράποντα ιατρού έτσι ώστε ο ασθενής να λαμβάνει τη θεραπεία που χρειάζεται για την αποφυγή επεισοδίων παρόξυνσης (exacerbations) που οδηγούν σε επιβάρυνση της κλινικής του εικόνας [3],[25].

Ως παρόξυνση ή έξαρση της νόσου ορίζεται ένα οξύ γεγονός που προκαλεί οξεία επιδείνωση της υγείας του ασθενούς και επιδείνωση των συμπτωμάτων της νόσου πέραν

της καθημερινής διακύμανσης [3]. Οι παροξύνσεις αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που καθορίζουν την πορεία της νόσου και την ποιότητα ζωής του ασθενούς διότι: (α) σχετίζονται με την επιδείνωση της κατάστασης της υγείας του που πολλές φορές χρειάζεται να περάσουν αρκετές εβδομάδες μέχρις ότου ανακάμψει, (β) επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα ζωής του αλλά και των οικείων του, (γ) συνδέονται με αυξημένο κίνδυνο θνησιμότητας, τέλος, (δ) έχουν υψηλό κοινωνικο-οικονομικό κόστος καθώς παρατηρούνται συχνότερες εισαγωγές στο νοσοκομείο για νοσηλεία [26]. Κατά συνέπεια, οι παροξύνσεις χαρακτηρίζονται ως γεγονότα ζωτικής σημασίας για την έκβαση και πρόληψη των χρόνιων καταστάσεων, ή ακόμα και για την πρόβλεψη των επιπλοκών ή της κλινικής κατάστασης του ασθενούς.

Η γνώση του κινδύνου παροξύνσεων (exacerbation risk) παρέχει τη δυνατότητα στους επαγγελματίες υγείας να προβλέψουν πιθανές επιπλοκές στην υγεία του ασθενούς, να ενημερώσουν τους ασθενείς σχετικά με τη σοβαρότητα της υγείας τους και να παράσχουν πρόωμη θεραπεία που στοχεύει στην άμεση ανάρρωση και βελτιώνει την ποιότητα ζωής του ασθενούς.

Εκτός από τα επεισόδια παροξύνσεων, παρατηρείται συχνά σε ασθενείς που πάσχουν από χρόνιες παθήσεις να εμφανίζουν συνοδά νοσήματα (comorbidities) ή πολλαπλά νοσήματα (multimorbidities). Η ύπαρξη συνοδών ή πολλαπλών νοσημάτων αυξάνεται αναλογικά με την αύξηση της ηλικίας του ασθενούς και την εμφάνιση μιας ή περισσότερων πρόσθετων χρόνιων παθήσεων [3]. Αξίζει να αναφερθεί ότι 125 εκατομμύρια άτομα στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής πάσχουν από χρόνιες παθήσεις, ενώ 60 εκατομμύρια από αυτούς είτε πάσχουν από πολλαπλές χρόνιες παθήσεις είτε εμφανίζουν συνοδά νοσήματα. Ο αριθμός αυτός αναμένεται να αυξηθεί σε 157 και 81 εκατομμύρια αντίστοιχα έως το έτος 2020, με ποσοστό 95% για τους ενήλικες άνω των 65 ετών [27].

Η ύπαρξη συνοδών και πολλαπλών νοσημάτων και τα αρνητικά αποτελέσματα που επιφέρουν αποτελούν σύνθετο φαινόμενο και επηρεάζουν μια τεράστια μερίδα ασθενών που πάσχουν από χρόνιες παθήσεις. Η πιο σημαντική αρνητική επίπτωση της άγνοιας ύπαρξης συνοδών ή πολλαπλών νοσημάτων είναι η αύξηση των ιατρικών λαθών (διαγνωστική αβεβαιότητα). Η διαγνωστική αβεβαιότητα αυξάνει τα επεισόδια παροξύνσης της κλινικής εικόνας του ασθενούς και τον κίνδυνο θνησιμότητας.

Σε απάντηση των ανωτέρω προκλήσεων και των κινδύνων, απαιτείται ένα νέο μοντέλο φροντίδας προσανατολισμένο στις ανάγκες του εκάστοτε ασθενούς. Το ασθενοκεντρικό (patient-centric) αυτό μοντέλο επιτάσσει οι ιατροί να συνεργάζονται και να αλληλεπιδρούν με άλλους επαγγελματίες υγειονομικής περίθαλψης (π.χ. νοσηλευτές, ιατρούς άλλων ειδικοτήτων, κλπ), οι οποίοι παραδοσιακά είναι διαχωρισμένοι ανάλογα με τον οργανισμό υγειονομικής περίθαλψης που ανήκουν και απουσιάζει εντελώς κάθε συνεργασία και συντονισμός στις ενέργειές τους.

Το ασθενοκεντρικό μοντέλο (patient-centric) φροντίδας αναμένεται να επιφέρει πολλαπλά οφέλη στους επαγγελματίες υγειονομικής υγείας, οι οποίοι θα μπορούν να συνεργάζονται και να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους έτσι ώστε να αποκτούν μια καθολική εικόνα της ιατρικής κατάστασης του ασθενούς και να τον ενημερώνουν για την σοβαρότητα της υγείας του και τις θεραπευτικές μεθόδους και την αγωγή που θα πρέπει να ακολουθήσει. Παράλληλα, θα επιτρέπει στους ασθενείς να διαχειρίζονται μόνοι τους την κατάσταση της υγείας τους και να ζουν ανεξάρτητοι, αυξάνοντας την ποιότητα της ζωής τους. Τέλος, θα υπάρξουν και κοινωνικοοικονομικά οφέλη μέσω της μείωσης του κόστους νοσηλείας και ιατρικών εξόδων καθώς μεγάλο ποσοστό επεισοδίων θα προλαμβάνεται και θα αντιμετωπίζεται εγκαίρως χωρίς να χρειαστεί η παραμονή του ασθενούς σε νοσοκομειακές κλίνες.

Σ' αυτό το κεφάλαιο, η παρούσα διδακτορική διατριβή εισάγει ένα ολοκληρωμένο ασθενοκεντρικό (patient-centric) μοντέλο ιατρικής φροντίδας στον τομέα της έγκαιρης πρόληψης των επεισοδίων παρόξυνσης και της ελαχιστοποίησης της διαγνωστικής αβεβαιότητας. Ειδικότερα, προτάθηκαν δύο πρωτότυπα πλαίσια για την απομακρυσμένη διαχείριση και παρακολούθηση των ασθενών που πάσχουν από χρόνιες παθήσεις. Το πρώτο αναφέρεται ως u-MCHC (ubiquitous Management of Chronic Care) [16] και το δεύτερο με την ονομασία Ef-Zin [17]. Τα προτεινόμενα πλαίσια διαφοροποιούνται σημαντικά από τα ήδη υπάρχοντα, τα οποία αναλύονται εκτενώς στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου 3.2. Το u-MCHC [16] προβλέπει και προλαμβάνει επεισόδια παροξύνσεων που είναι κρίσιμα για την υγεία του ασθενούς και παρέχει προσωποποιημένες θεραπευτικές υπηρεσίες, ενώ το Ef-Zin [17] λαμβάνει υπόψη του την ύπαρξη πολλαπλών και συνοδών νοσημάτων κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Τα δύο αυτά πλαίσια αναπτύχθηκαν ξεχωριστά

στα πλαίσια της διατριβής αυτής καθώς το ένα οδήγησε στην περαιτέρω μελέτη και ανάπτυξη του δευτέρου. Το δεύτερο πλαίσιο, ουσιαστικά, αποτελεί μια βελτιωμένη έκδοση του u-MCHC που βασίζεται στην κύρια λειτουργία του και ενσωματώνει επιπλέον λειτουργίες που του επιτρέπουν να λαμβάνει αποφάσεις για περισσότερες από μια παθήσεις έτσι ώστε να παρέχει υπηρεσίες ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο των ιατρικών λαθών που προκύπτουν από τη διαγνωστική αβεβαιότητα.

Το πλαίσιο u-MCHC συλλέγει βιοσήματα από αισθητήρες πραγματικού χρόνου και χρησιμοποιεί επιπροσθέτως συμπτωματική διάγνωση για να κατηγοριοποιήσει τους ασθενείς σε ομάδες ανάλογα με την τρέχουσα κατάσταση της υγείας τους. Το u-MCHC αξιολογεί τα δεδομένα που συνέλεξε από τους αισθητήρες και τα συμπτώματα που ανέφεραν οι ίδιοι ασθενείς ότι είχαν κατά τη διάρκεια της ημέρας και με τη χρήση αλγορίθμων τυχαίας αναζήτησης δέντρου (Random Forest) εντοπίζει και προβλέπει την πιθανότητα εμφάνισης επεισοδίων παρόξυνσης. Ο κίνδυνος εμφάνισης επεισοδίων παρόξυνσης υπολογίζεται με την εκτίμηση του επιπέδου σοβαρότητας της κατάστασης της υγείας του ασθενούς σε σχέση με την αξιολόγηση των συμπτωμάτων και το ιστορικό των επεισοδίων παρόξυνσης. Η ανάλυση αυτών των δεδομένων και ο υπολογισμός του κινδύνου εμφάνισης παροξύνσεων ενεργοποιεί την παροχή των κατάλληλων προσωποκεντρικών υπηρεσιών για τον εκάστοτε ασθενή. Μέσω του πλαισίου u-MCHC, κάθε ασθενής είναι σε θέση να παρακολουθεί την πορεία της ασθένειάς του και να κανονίζει συνεδρίες με τον θεράποντα ιατρό του εκτός προγράμματος. Το πλαίσιο u-MCHC αναπτύχθηκε με σκοπό τη μελέτη και παρακολούθηση ασθενών που πάσχουν από Χρόνια Αποφρακτική Πνευμονοπάθεια (ΧΑΠ) (Chronic Obstructive Pulmonary Disease - COPD).

Το πλαίσιο Ef-Zin βελτιώνει περαιτέρω τον αλγόριθμο λήψης αποφάσεων που υλοποιήθηκε από το πλαίσιο u-MCHC λαμβάνοντας επιπλέον βιοσήματα από τους ασθενείς, τα οποία έως τώρα αποτελούσαν αντικείμενο μελέτης άλλων παθήσεων και δεν αξιολογούνταν. Το πλαίσιο Ef-Zin συσχετίζει αυτά τα βιοσήματα με την τρέχουσα κατάσταση της υγείας του ασθενούς και αναλαμβάνει να ενεργοποιήσει ένα σύνολο από υπηρεσίες και να συντονίσει ένα σύνολο από επαγγελματίες του χώρου της υγείας μέσω του δικτύου P2Care που θα αναλυθεί εκτενώς στο κεφάλαιο 3. Το πλαίσιο λήψης αποφάσεων Ef-Zin αναπτύχθηκε για ασθενείς που πάσχουν από ΧΑΠ, υπέρταση και διαβήτη.

Ένα πρότυπο εφαρμογής (prototype) υλοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής με σκοπό να καταδείξει τις βασικές δυνατότητες και την αποτελεσματικότητα των προτεινόμενων πλαισίων σε πραγματικές συνθήκες. Οι μηχανισμοί λήψης αποφάσεων αξιολογήθηκαν από ιατρούς πνευμονολόγους και γενικούς ιατρούς. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης παρουσιάζουν την αποτελεσματικότητα και την αναγκαιότητα των καινοτόμων πλαισίων για την έγκαιρη διάγνωση επεισοδίων παρόξυνσης και την ελαχιστοποίηση των διαγνωστικών σφαλμάτων.

Το υπόλοιπο του κεφαλαίου είναι οργανωμένο ως εξής: η ενότητα 2.2 παρουσιάζει τις συναφείς εργασίες και εξηγεί περαιτέρω τα κίνητρα που οδήγησαν σε αυτή την έρευνα. Η ενότητα 2.3 παρουσιάζει την αρχιτεκτονική των προτεινόμενων δύο πλαισίων. Η ενότητα 2.4, παρέχει τις λεπτομέρειες της υλοποίησης και της ανάλυσης των αλγορίθμων λήψης αποφάσεων που ενσωματώθηκαν στα ανωτέρω πλαίσια. Στην ενότητα 2.5 αξιολογείται η αποτελεσματικότητα και η αποδοτικότητα των αλγορίθμων που υλοποιήθηκαν σε πραγματικές συνθήκες. Τέλος, η ενότητα 2.6 παρουσιάζει τα σημαντικότερα συμπεράσματα από την εισαγωγή των δύο νέων πλαισίων.

## **2.2 Συναφείς ερευνητικές εργασίες**

Το πρώτο μοντέλο ιατρικής φροντίδας για τη διαχείριση χρόνιων παθήσεων ήταν ένα εννοιολογικά τεκμηριωμένο πλαίσιο που ονομάζεται Μοντέλο Χρόνιας Φροντίδας (Chronic Care Model - CCM) [28]. Το CCM μοντέλο παρουσιάζει τη δομή οργάνωσης της υγειονομικής περίθαλψης με σκοπό τη βελτίωση των αποτελεσμάτων παρακολούθησης ασθενών που πάσχουν από χρόνια νοσήματα. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) πρότεινε το πλαίσιο παροχής Καινοτόμων Υπηρεσιών Υγειονομικής Περίθαλψης (Innovative Care for Chronic Conditions (ICCC)) για χρόνιες παθήσεις που ενισχύει το CCM μοντέλο φροντίδας προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες της διεθνούς κοινότητας [3].

Με την εξέλιξη των τεχνολογιών της πληροφορικής, των τηλεπικοινωνιών και της ευφυούς νοσημοσύνης, τα προαναφερθέντα μοντέλα φροντίδας υιοθετήθηκαν σαν πρότυπο για την ανάπτυξη συστημάτων φροντίδας στο περιβάλλον του χρόνια πάσχοντα ασθενούς

(ambient intelligence - AmI). Αυτά τα μοντέλα φροντίδας, ενσωματώνουν πληροφορίες από το συγκείμενο (context) του ασθενούς και παρέχουν μια πλατφόρμα υπηρεσιών φιλική προς τον τελικό χρήστη. Με βάση αυτά τα μοντέλα, αρκετές εμπορικές και ερευνητικές λύσεις έχουν προταθεί και έχουν συμβάλει στην ανάπτυξη υπηρεσιών απομακρυσμένης παρακολούθησης και υποστήριξης ηλικιωμένων ατόμων. Εμπορικές λύσεις όπως είναι η Health-buddy της Bosch [29] και η Careinnovations της Intel Corporation [30] παρέχουν υπηρεσίες αυτοδιαχείρισης της κατάστασης της υγείας του ασθενούς μέσω εξειδικευμένων συσκευών που συλλέγουν τα βιοσήματα και τα προωθούν στην αρμόδια ιατρική ομάδα παρακολούθησης.

Παράλληλα, αρκετά συστήματα προτάθηκαν στα πλαίσια ερευνητικών εργασιών. Το CareMedia [31] είναι ένα σύστημα παρακολούθησης ηλικιωμένων ατόμων το οποίο χρησιμοποιεί πολυμεσικές (multimedia) τεχνολογίες για να εντοπίζει την ακριβή θέση σε έναν κλειστό χώρο και τις δραστηριότητες που εκτελούν άτομα που πάσχουν από άνοια (dementia). Στην εργασία [32], οι συγγραφείς προτείνουν ένα σύστημα παρακολούθησης του ασθενούς σε νοσοκομειακό περιβάλλον. Πολυμεσικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται για να καταγράψουν την κίνηση των νοσηλευτών σε δωμάτιο που νοσηλεύονται πολλοί ασθενείς και να στείλουν στο νοσηλευτή την απαραίτητη θεραπευτική αγωγή για κάθε έναν ασθενή. Οι συγγραφείς Sarela, Whittaker και Korhonen [33] προτείνουν ένα μοντέλο παρακολούθησης της κατάστασης του ασθενούς με σκοπό την αποκατάστασή του έπειτα από καρδιακή προσβολή. Η παρακολούθηση του ασθενούς επιτυγχάνεται με τη χρήση κινητών τηλεφώνων και διαδικτυακών εφαρμογών οι οποίες καταγράφουν την πρόοδό του. Στην εργασία [34], οι συγγραφείς παρουσιάζουν ένα σύστημα απομακρυσμένης παροχής υπηρεσιών υγείας. Ο ασθενής βρίσκεται στο σπίτι του και μέσω μιας διαδικτυακής εφαρμογής παρέχονται υπηρεσίες τηλεδιάσκεψης ή καταγραφής των βιοσημάτων του και αποστολής τους σε έναν ιατρό. Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος ERMHAN [6], προτάθηκε ένα σύστημα απομακρυσμένης παρακολούθησης της κλινικής εικόνας του ασθενούς και παροχής υπηρεσιών ειδοποίησης σχετικά με τις ενέργειες που πρέπει να εκτελέσει μέσω πολυμεσικών εφαρμογών. Ωστόσο, ως επί το πλείστον τα προαναφερθέντα συστήματα βασίζονται σε εφαρμογές και λύσεις που μπορούν να παρέχουν υπηρεσίες αποκλειστικά εντός της οικίας του ασθενούς και δεν είναι προσανατολισμένες στην παροχή

διάχυτων υπηρεσιών. Ως εκ τούτου, τα συστήματα αυτά δεν επιτρέπουν στον ασθενή να συνεχίσει τις κοινωνικές του δραστηριότητες.

Άλλα ερευνητικά έργα, όπως για παράδειγμα τα CHRONIOUS [5], AUDABE [35], LifeGuard [36], LifeShirt [37], EMPOWER [38] και ARMOR Project [39], υποστηρίζουν τη δυνατότητα παροχής διάχυτων υπηρεσιών τηλεϊατρικής και απομακρυσμένης παρακολούθησης των ιατρικών βιοσημάτων με τη χρήση ασύρματων αισθητήρων μέσω εφαρμογών που αναπτύσσονται για φορητά τερματικά όπως το κινητό τηλέφωνο ή οι ταμπλέτες (tablets). Τα βιοσήματα που συλλέγονται συνήθως προωθούνται σε επαγγελματίες του χώρου της υγείας για επεξεργασία και αξιολόγηση. Τα συστήματα αυτά αν και αναπτύχθηκαν για την παρακολούθηση και την φροντίδα κάποιας χρόνιας πάθησης αποτυγχάνουν να ανταποκριθούν πλήρως στις απαιτήσεις των χρόνιων παθήσεων και ιδίως των φαινομένων παροξύνσεων. Βασικός λόγος είναι ότι δεν παρέχουν μηχανισμούς πρόβλεψης και πρόληψης για την έγκαιρη αντιμετώπιση κρίσιμων καταστάσεων όπως είναι τα επεισόδια παρόξυνσης τα οποία επιβαρύνονται με την συνύπαρξη παράλληλων χρόνιων παθήσεων. Τα προαναφερθέντα συστήματα δεν παρέχουν μηχανισμούς πρόβλεψης και δεν λαμβάνουν αποφάσεις έχοντας ως γνώμονα την παράλληλη παρακολούθηση πολλαπλών και συνοδών νοσημάτων και την συνολική εκτίμηση της τρέχουσας κατάστασης και την εξέλιξη της συνολικής πορείας της υγείας του ασθενούς.

Οι ερευνητικές εργασίες που σχετίζονται με την μελέτη των συνοδών και πολλαπλών νοσημάτων (comorbidities and multimorbidities) είναι ελάχιστες και το αντικείμενό τους περιορίζεται στη θεωρητική μελέτη και ανάλυση των παραγόντων που οδηγούν στην εμφάνιση των συνοδών και πολλαπλών νοσημάτων (comorbidities and multimorbidities). Τέτοιοι παράγοντες μπορεί να είναι η ηλικία, το φύλλο, το ιστορικό του ασθενούς, η κληρονομικότητα, κ.α. Οι συγγραφείς της εργασίας [27] μελετούν το πλήθος των πολλαπλών νοσημάτων που μπορεί να εμφανιστούν και το πώς αυτές επηρεάζουν τον ασθενή ανάλογα με την ηλικία, το φύλλο, την εθνικότητα και άλλα χαρακτηριστικά. Στην μελέτη [40], μια χρόνια ασθένεια αξιολογείται με τη χρήση του μέτρου συνοδών νοσημάτων Elixhauser, το οποίο παρουσιάζει πώς η ύπαρξη των συνοδών νοσημάτων επηρεάζει τη νοσηλεία και τη θνησιμότητα.

Στο παρόν κεφάλαιο της διατριβής, προτείνονται δύο καινοτόμα και πρωτότυπα πλαίσια λήψης αποφάσεων, το u-MCHC και το Ef-Zin, για την απομακρυσμένη διαχείριση και παρακολούθηση ασθενών που πάσχουν από χρόνιες παθήσεις. Τα προτεινόμενα πλαίσια διαφοροποιούνται από τα ήδη υπάρχοντα καθώς προβλέπουν και προλαμβάνουν επεισόδια παροξύνσεων που είναι κρίσιμα για την υγεία του ασθενούς, λαμβάνουν υπόψη τους την ύπαρξη πολλαπλών και συνοδών νοσημάτων κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων και παρέχουν προσωποποιημένες υπηρεσίες για την παρακολούθηση και τη θεραπεία του ασθενούς.

## **2.3 Η αρχιτεκτονική του Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων (Context Decision Making Framework)**

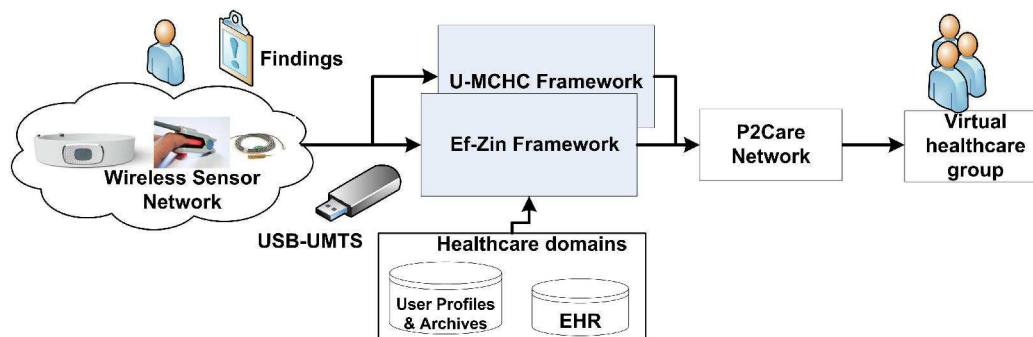
### **2.3.1 Επισκόπηση**

Το διάχυτο περιβάλλον του χρήστη-ασθενή αποτελείται από: (α) αισθητήρες που συλλέγουν βιοσήματα, (β) αισθητήρες περιβάλλοντος και (γ) συσκευές και εφαρμογές απομακρυσμένης τηλεπίλωσης και παρακολούθησης (monitoring) των ασθενών.

Το Πλαίσιο Λήψης Αποφάσεων συλλέγει, επεξεργάζεται και αναλύει τα βιοσήματα του ασθενούς τα οποία συσχετίζονται με πληροφορίες που ανασύρει από το συγκεκριμένο και τον ιατρικό φάκελο του ασθενούς. Από αυτήν την ανάλυση της πληροφορίας προσδιορίζεται η τρέχουσα κλινική εικόνα του ασθενούς, η ένταση των συμπτωμάτων, οι ασθένειες που μπορεί να συνυπάρχουν και οι επιπτώσεις τους στην κατάσταση της υγείας του ασθενούς. Σε περίπτωση ασθενειών που εξελίσσονται γρήγορα κατά τη διάρκεια του χρόνου και μπορεί να θέσουν άμεσα σε κίνδυνο τη ζωή του ασθενούς όπως για παράδειγμα η συμφορητική καρδιακή ανεπάρκεια και ο διαβήτης, υπολογίζεται η πιθανότητα εμφάνισης κάποιου περιστατικού παρόξυνσης. Με βάση αυτή την πιθανότητα και τη σοβαρότητα της κατάστασης του ασθενούς, το Πλαίσιο Λήψης Αποφάσεων λαμβάνει αποφάσεις για τις υπηρεσίες και/ή τους επαγγελματίες του χώρου της υγείας που θα πρέπει να ειδοποιηθούν έτσι ώστε να παρασχεθεί στον ασθενή η κατάλληλη φροντίδα και θεραπεία.

Το λογισμικό του Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων μπορεί να βρίσκεται εγκατεστημένο είτε στην πλευρά του χρήστη σε κάποια κεντρική μονάδα (home-gateway, set-top-box,

PC, κ.α.) είτε σε κάποιο απομακρυσμένο σημείο χρησιμοποιώντας τις τεχνολογίες νέφους (cloud computing). Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζεται μια γενική εικόνα του συστήματος.

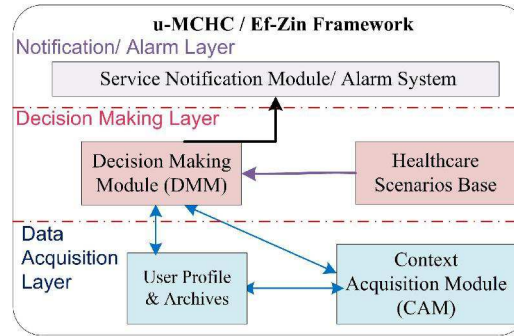


Σχήμα 2.1: Επισκόπηση του συστήματος.

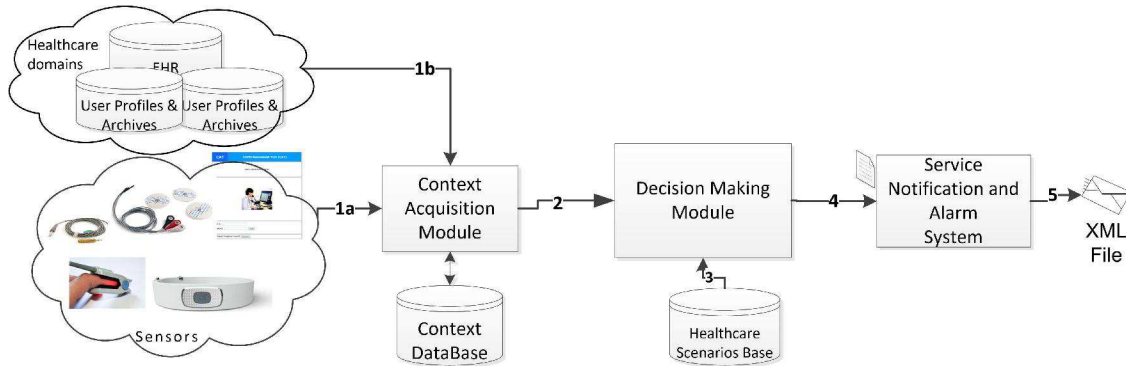
### 2.3.2 Αρχιτεκτονική του Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων

Το προτεινόμενο Πλαίσιο Λήψης Αποφάσεων, είναι ένα γενικού σκοπού πλαίσιο το οποίο εύκολα μπορεί να εφαρμοστεί και να επεκταθεί για την υλοποίηση λύσεων για πολλές διαφορετικές ασθένειες στο χώρο της υγείας. Το κύριο δομικό του στοιχείο είναι το Δομοστοιχείο Λήψης Αποφάσεων (Decision Making Module - DMM), το οποίο λαμβάνει αποφάσεις και η υλοποίηση του οποίου θα πρέπει να τροποποιείται ανάλογα με την εκάστοτε ασθένεια.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου 2, θα παρουσιαστεί η δομή του προτεινόμενου πλαισίου για την αντιμετώπιση της νόσου ΧΑΠ όταν υπάρχουν συνοδά και πολλαπλά νοσήματα (υπέρταση και ο σακχαρώδης διαβήτης). Το πλαίσιο αυτό συνδυάζει τις δομές u-MCHC και Ef-Zin. Το σχήμα 2.2 παρουσιάζει τη γενική αρχιτεκτονική του Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων, τα επίπεδα (layers) και τα κυριότερα δομικά του στοιχεία (components) κάθε επιπέδου που είναι υπεύθυνα για τη συλλογή, επεξεργασία και λήψη των αποφάσεων. Το σχήμα 2.3 παρουσιάζει το διάγραμμα ροής των εργασιών του Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων για τη συλλογή, επεξεργασία, αξιολόγηση των δεδομένων και ενεργοποίηση της κατάλληλης υπηρεσίας.



Σχήμα 2.2: Αρχιτεκτονική του Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων.



Σχήμα 2.3: Διάγραμμα Ροής Εργασιών του Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων.

### 2.3.2.1 Επίπεδο Συλλογής Δεδομένων - Data Acquisition Layer

Το Επίπεδο Συλλογής Δεδομένων αποτελείται από το δομοστοιχείο συλλογής δεδομένων συγκεκριμένου (Context Acquisition Module - CAM), το προφίλ του ασθενούς και τις βάσεις δεδομένων με το συγκεκριμένο (context) και τον ιατρικό φάκελο του ασθενούς (User Profile & Archives).

Το Δομοστοιχείο Συλλογής Συγκεκριμένου (CAM) συλλέγει τα βιοσήματα και τις πληροφορίες του περιβάλλοντος από αισθητήρες (π.χ. υγρασία, θερμοκρασία δωματίου, φωτεινότητα, κ.α) καθώς και πληροφορίες από διάφορες Υπηρεσίες Ιστού (π.χ. καιρός, ερωτηματολόγια, κίνηση σε δρόμους) (Σχ.2.3 βήμα 1a). Οι πληροφορίες αυτές αποθηκεύεται σε μια βάση δεδομένων που ονομάζεται Βάση Δεδομένων Συγκεκριμένου (Context

DataBase) για μελλοντική χρήση ή σε περιπτώσεις απώλειας της πληροφορίας ως αντίγραφο ασφαλείας. Ταυτόχρονα το CAM στέλνει ένα αίτημα στις βάσεις δεδομένων με το συγκεκριμένο και τον ιατρικό φάκελο του ασθενούς έτσι ώστε να ανακτήσει πληροφορίες που επηρεάζουν την αξιολόγηση των κλινικών ευρημάτων όπως το ιστορικό των παροξύνσεων, τον αριθμό προηγούμενων νοσηλείων, την ηλικία, τις συνήθειες του ασθενούς, τα συνοδά νοσήματα, τη φαρμακευτική αγωγή που έχει χορηγηθεί, κ.α. (Σχ. 2.3 βήμα 1b).

Η πληροφορία που έχει συλλεχθεί από το CAM και από τις βάσεις δεδομένων συγκομίζεται και του ιατρικού φακέλου του ασθενούς, αποστέλλονται στο Δομοστοιχείο Λήψης Αποφάσεων (DMM) του Επιπέδου Λήψης Αποφάσεων με σκοπό την επεξεργασία και την αξιολόγησή τους (Σχ. 2.3 βήμα 2).

### **2.3.2.2 Επίπεδο Λήψης Αποφάσεων - Decision Making Layer**

Το Επίπεδο Λήψης Αποφάσεων ενεργοποιείται από το Επίπεδο Συλλογής Δεδομένων και αποτελείται από το Δομοστοιχείο Λήψης Αποφάσεων (Decision Making Module - DMM) και τη Βάση Δεδομένων με ιατρικές πληροφορίες και τα σενάρια αντιμετώπισης του εκάστοτε επεισοδίου (Healthcare Scenarios Base). Στόχος του επιπέδου αυτού είναι η επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν από το CAM, η εκτίμηση της τρέχουσας κατάστασης της υγείας του ασθενούς, ο υπολογισμός της πιθανότητας εμφάνισης παροξύνσεων και η λήψη αποφάσεων για τις υπηρεσίες που θα πρέπει να ενεργοποιηθούν με βάση την πιθανότητα αυτή.

Η λειτουργία του DMM περιλαμβάνει δύο διακριτές φάσεις. Η πρώτη φάση περιλαμβάνει την αξιολόγηση των δεδομένων που συλλέγονται από τους βιο-αισθητήρες (π.χ. τον καρδιακό ρυθμό, την αρτηριακή πίεση, το σφυγμό κορεσμού του οξυγόνου του αίματος, τους καρδιακούς παλμούς, κ.α.) και την επεξεργασία και συσχέτιση των δεδομένων αυτών με τη χρήση αλγορίθμων που βασίζονται σε κανόνες (rule-based algorithms). Κάθε ασθένεια αντιπροσωπεύεται από διαφορετικές ενδείξεις, συνεπώς, η ανάλυση γίνεται με σύγκριση της κάθε μίας τιμής εξόδου από τις μετρήσεις που συλλέχθηκαν από τους αισθητήρες βιοσημάτων με προκαθορισμένες τιμές που αντιστοιχούν στις χαμηλότερες ή υψηλότερες επιτρεπτές τιμές (τιμές κατωφλίου) που είναι αποδεκτές ως φυσιολογικές

τιμές. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δείχνουν την απόκλιση των μετρήσεων από τις φυσιολογικές τιμές και καθορίζουν την πιθανότητα ύπαρξης μιας νέας ασθένειας ή την επιβάρυνση της κλινικής εικόνας του ασθενούς. Σε αυτή τη φάση παράγονται ειδοποιήσεις και συναγερμοί (alarms) με την εμφάνιση μη φυσιολογικών (abnormal) τιμών των παραμέτρων των ζωτικών σημάτων (βιοσημάτων) του ασθενούς. Τα κατώφλια για τις φυσιολογικές και τις μη φυσιολογικές τιμές λαμβάνονται από τη Βάση Δεδομένων με ιατρικές πληροφορίες (Healthcare Scenarios Base) (Σχ. 2.3 βήμα 3).

Παρ' όλα αυτά, οι μεμονωμένες τιμές από έναν αισθητήρα μέτρησης δεν επαρκούν για τη λήψη αποφάσεων και δεν αποτελούν ενδείξεις ύπαρξης ή επιβάρυνσης μιας νόσου. Η ύπαρξη, η σοβαρότητα και η επίδραση της νόσου στην κατάσταση της υγείας του ασθενούς υπολογίζονται σε συνάρτηση με τις περιβαλλοντικές παραμέτρους και τα δεδομένα από το συγκείμενο του ασθενή (contextual data). Αυτό γίνεται κατά τη δεύτερη φάση ανάλυσης των δεδομένων. Το DMM χρησιμοποιεί αλγορίθμους τυχαίας αναζήτησης δέντρου (Random Forest) και μηχανισμούς εκμάθησης μηχανής (machine learning techniques) προκειμένου να ταξινομήσει τους ασθενείς σε ομάδες ανάλογα με το επίπεδο σοβαρότητας της νόσου, να υπολογίσει την πιθανότητα εμφάνισης επεισοδίων παρόξυνσης και τέλος να υπολογίσει την τρέχουσα κατάσταση της υγείας του ασθενούς. Η τρέχουσα κατάσταση της υγείας του και η πιθανότητα προσδιορισμού εμφάνισης επεισοδίων παρόξυνσης εκμαιεύονται από τη Βάση Δεδομένων με ιατρικές πληροφορίες (Healthcare Scenarios Base) (Σχ. 2.3 βήμα 3).

Επιπροσθέτως, η Βάση Δεδομένων με ιατρικές πληροφορίες (Healthcare Scenarios Base) είναι υπεύθυνη για την αντιστοίχιση της τρέχουσας κατάστασης της υγείας του ασθενούς με το ιατρικό σενάριο που θα πρέπει να υλοποιηθεί. Το σενάριο αυτό περιλαμβάνει πλήθος από υπηρεσίες, ενέργειες και λίστες επαγγελματιών του χώρου της υγείας που θα πρέπει να ενεργοποιηθούν και να ενημερωθούν με σκοπό την παροχή υπηρεσιών και για την αντιμετώπιση των επεισοδίων.

Με την ολοκλήρωση των παραπάνω βημάτων παράγεται ένα XML μήνυμα το οποίο περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικές με το συμβάν και με τις υπηρεσίες και το απαραίτητο ιατρικό και παραϊατρικό προσωπικό που θα πρέπει να ενεργοποιηθεί για την αντιμετώπιση της τρέχουσας κατάστασης της υγείας του ασθενούς (Σχ. 2.3 βήμα 4).

### 2.3.2.3 Επίπεδο Ειδοποίησης - Notification Alarm Layer

Το επίπεδο Ειδοποίησης αποτελείται από ένα σύστημα ειδοποιήσεων το οποίο (α) επεξεργάζεται κάθε XML μήνυμα που λαμβάνει από το Επίπεδο Λήψης Αποφάσεων, (β) προωθεί ειδοποιήσεις ή ενεργοποιεί υπηρεσίες που ζητήθηκαν και (γ) εγκαθιστά συνόδους με σκοπό τη φροντίδα και την παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών στον ασθενή (Σχ. 2.3 βήμα 5). Σε περίπτωση που δεν μπορεί να εντοπίσει το κατάλληλο ιατρικό και παραϊατρικό προσωπικό που ζητήθηκε, στέλνει ένα αίτημα στο P2Care δίκτυο που θα αναλυθεί εκτενώς στο Κεφάλαιο 3, έτσι ώστε να βρεθεί το διαθέσιμο ανθρώπινο δυναμικό το οποίο θα τους αντικαταστήσει.

Στο τέλος της όλης διαδικασίας, τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί αποθηκεύονται πάλι στη Βάση Δεδομένων Συγκειμένου (Context DataBase) για μελλοντική χρήση καθώς αποτελούν το ανανεωμένο ιστορικό του ασθενούς.

## 2.4 Υλοποίηση του Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων

Το προτεινόμενο Πλαίσιο Λήψης Αποφάσεων είναι ένα πλαίσιο γενικού σκοπού το οποίο εύκολα μπορεί να εφαρμοστεί και να επεκταθεί για την αξιολόγηση και τη διαχείριση πολλών διαφορετικών παθήσεων. Το κύριο δομικό του στοιχείο που διαφοροποιείται ανάλογα με την εκάστοτε πάθηση είναι το Δομοστοιχείο Λήψης Αποφάσεων (DMM). Το DMM παραμετροποιείται ανάλογα για την εκάστοτε πάθηση έτσι ώστε να λαμβάνει τις κατάλληλες αποφάσεις αξιολογώντας με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις διαφορετικές παραμέτρους και τις απαιτήσεις κάθε πάθησης. Για το λόγο αυτό τα πλαίσια u-MCHC και Ef-Zin θα παρουσιαστούν ταυτόχρονα ως ένα ενιαίο πλαίσιο και μόνο το DMM θα παρουσιαστεί ξεχωριστά.

Για την υλοποίηση του πλαισίου u-MCHC και Ef-Zin, μελετήσαμε διεξοδικά τη νόσο ΧΑΠ και συγκεκριμένα επικεντρωθήκαμε στη διαχείριση και την πρόβλεψη του κινδύνου εμφάνισης επεισοδίων παρόξυνσης καθώς και στη διαχείριση των ασθενών με πολλαπλά και συνοδά νοσήματα τα οποία εμφανίζονται ή είναι απόρροια της ύπαρξης της ΧΑΠ. Η ΧΑΠ χαρακτηρίζεται από μόνιμη μη αναστρέψιμη ή σύμφωνα με τις νεότερες έρευνες μερικώς αναστρέψιμη, απόφραξη των αεραγωγών (βρόγχων) με αποτέλεσμα να

αδειάζουν δύσκολα οι πνεύμονες κατά την εκπνοή. Η εκτίμηση και η αξιολόγηση του κινδύνου εμφάνισης παροξύνσεων γίνεται με βάση: (α) την εκτίμηση της τρέχουσας κλινικής εικόνας του ασθενούς, (β) την αξιολόγηση της έντασης των συμπτωμάτων και (γ) την αξιολόγηση συνοδών παθήσεων από το αναπνευστικό (π.χ. πνευμονία) ή από άλλα συστήματα (π.χ. καρδιακή ανεπάρκεια) καθώς και το ιστορικό προηγούμενων παροξύνσεων και νοσηλείων. Η υπέρταση (hypertension) και ο διαβήτης (diabetes) αποτελούν τα συνηθέστερα συνοδά νοσήματα της ΧΑΠ, η ύπαρξη των οποίων απαιτεί την άμεση συνεργασία μεταξύ των ειδικών, προκειμένου να προσφερθεί μια αποτελεσματική θεραπεία χωρίς περιττές εισαγωγές στο νοσοκομείο ή την επιδείνωση της υγείας του ασθενούς.

Συνήθως σε έναν ασθενή με ΧΑΠ, η εμφάνιση υπερτασικού επεισοδίου θα πρέπει να αντιμετωπίζεται με υψηλή προτεραιότητα καθώς αποτελεί ζωτικής σημασίας παράγοντα για την πορεία του ασθενούς. Αντίστοιχα στην περίπτωση των διαβητικών ασθενών με ΧΑΠ (πολυνοσηρότητα), οι αποδεκτές ως φυσιολογικές τιμές της αρτηριακής πίεσης δεν είναι οι προκαθορισμένες. Ανάλογα λοιπόν με την βαρύτητα της παρόξυνσης ο ασθενής μπορεί να αντιμετωπιστεί στο σπίτι (ήπια παρόξυνση) ή στο νοσοκομείο (σοβαρή παρόξυνση). Για την αντιμετώπιση της παρόξυνσης απαιτείται είτε τροποποίηση της θεραπείας του ασθενούς (αύξηση δόσεων ή αύξηση της συχνότητας λήψης αυτών) είτε χορήγηση αντιβίωσης ή κορτιζόνης από το στόμα, αφού πρώτα αξιολογηθεί από τον πνευμονολόγο. Σε ασθενείς με σοβαρή παρόξυνση, εκτός από τη φαρμακευτική αγωγή προστίθεται και η οξυγονοθεραπεία ή η φυσικοθεραπεία με σκοπό την ταχύτερη πνευμονική αποκατάσταση.

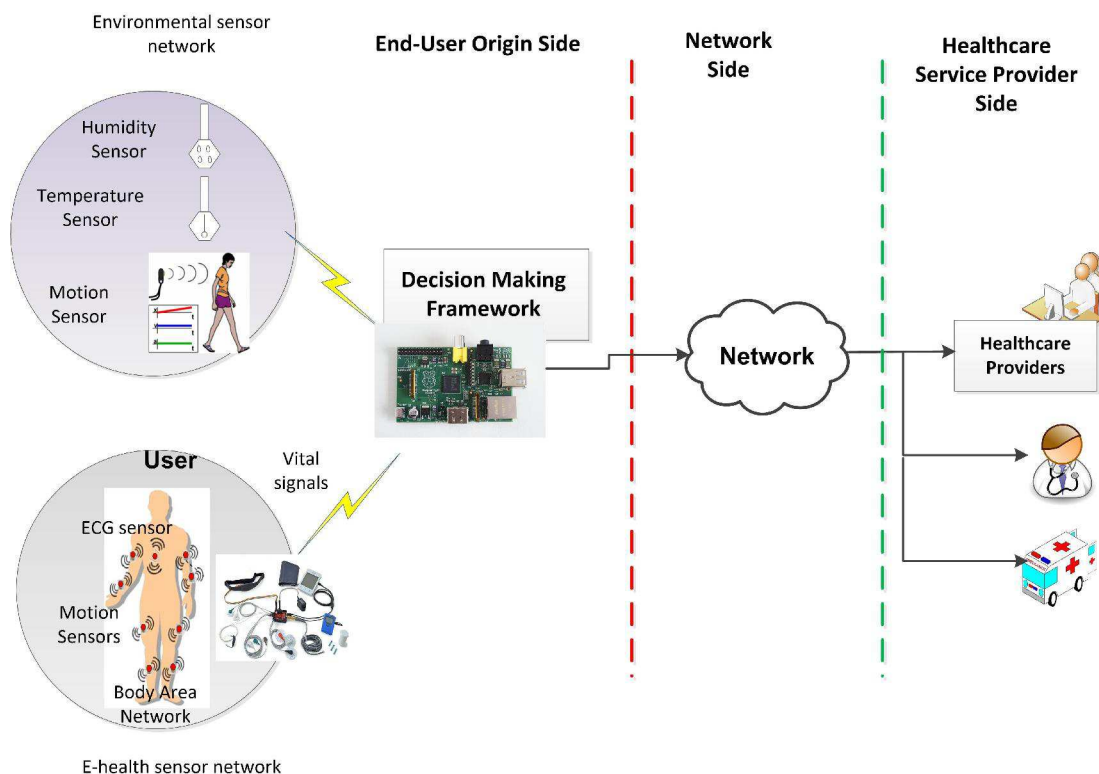
Η σπιρομέτρηση είναι η συνηθέστερη εξέταση που διενεργείται στα πλαίσια του λειτουργικού ελέγχου της αναπνευστικής λειτουργίας. Χρησιμεύει τόσο στη διάγνωση όσο και στην παρακολούθηση της ΧΑΠ. Κατά τη διάρκεια της σπιρομέτρησης μετράται η συγκέντρωση του όγκου του αέρα στους πνεύμονες και η επάρκεια του αερισμού κατά τις διάφορες φάσεις της αναπνοής. Για να είναι αξιόπιστη η εξέταση της σπιρομέτρησης, θα πρέπει να έχουν περάσει περισσότεροι από 12 μήνες από την προηγούμενη εξέταση και η εξέταση να έχει εκτελεστεί από επαγγελματία πνευμονολόγο. Παρόλα αυτά, για την αποτελεσματική πρόβλεψη και διαχείριση των παροξύνσεων, η σπιρομέτρηση δεν είναι αρκετή και πολλές φορές είναι μη ενδεδειγμένη μέθοδος για άτομα που παρουσιάζουν

ασταθή καρδιαγγειακή κατάσταση,θωρακικά, κοιλιακά ή εγκεφαλικά ανευρύσματα, κ.α. Σε αυτήν την περίπτωση, ενδείκνυται η παρακολούθηση του ασθενούς σε καθημερινή βάση με τη χρήση αισθητήρων που συλλέγουν βιοσήματα πραγματικού χρόνου.

#### **2.4.1 Παρουσίαση της διάταξης του προτεινόμενου Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων (System Set-up)**

Το Σχήμα 2.4 παρουσιάζει τη διάταξη και το περιβάλλον λειτουργίας του προτεινόμενου Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων. Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής χρησιμοποιήθηκαν ενσύρματους αισθητήρες όπως ένα οξύμετρο (pulsioximeter) που μετράει τους καρδιακούς παλμούς και τη συγκέντρωση οξυγόνου στο αίμα, έναν αισθητήρα που μετράει τη θερμοκρασία του σώματος (body temperature), έναν αισθητήρα που μετράει τη συστολική και τη διαστολική πίεση του αίματος (blood pressure), ένα επιταχυνσιόμετρο που προσδιορίζει την θέση του ασθενούς (accelerometer), έναν αισθητήρα που μετράει τη ροή του αέρα κατά τη διαδικασία της αναπνοής (airflow sensor) και αισθητήρες που μετρούν τους καρδιακούς παλμούς (ECG sensor) [41]. Οι αισθητήρες στέλνουν τα βιοσήματα σε μια υπολογιστική μονάδα (π.χ. laptop, PC, single-board computer) στην οποία αναπτύσσεται το Πλαίσιο Λήψης Αποφάσεων. Το Πλαίσιο Λήψης Αποφάσεων συλλέγει, αναλύει, αξιολογεί και λαμβάνει τις απαραίτητες αποφάσεις για τις υπηρεσίες και το ιατρικό και παραϊατρικό προσωπικό που θα πρέπει να ενεργοποιηθεί έτσι ώστε να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά το επεισόδιο παρόξυνσης της υγείας του ασθενούς. Το Πλαίσιο Λήψης Αποφάσεων αναπτύχθηκε λογισμικό για τη συλλογή και την επεξεργασία των δεδομένων από τους αισθητήρες υλοποιήθηκε με τη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού C++.

Επιπλέον, υλοποιήθηκε μια γραφική διεπαφή (GUI) φιλική προς το χρήστη με τη χρήση PHP η οποία επιτρέπει στους ασθενείς να συνδέονται στο σύστημα, να παρακολουθούνται απομακρυσμένα και να καταγράφονται τα δεδομένα από τους αισθητήρες που διαθέτουν καθώς και να υποβάλλουν ένα καθημερινό ερωτηματολόγιο που παρουσιάζει



**Σχήμα 2.4:** Η διάταξη της υλοποίησης του προτεινόμενου Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων.

την ένταση των συμπτωμάτων, το πώς αισθάνονται (αν υπήρξε βελτίωση ή χειροτέρευση της κατάστασης τους), κ.α. Τα δεδομένα τα οποία παρέχονται για επεξεργασία και αποθηκεύονται σε μια MySQL βάση δεδομένων.

#### 2.4.2 Υλοποίηση του Δομικού Στοιχείου Συλλογής Δεδομένων Συγκειμένου (Context Acquisition Module - CAM)

Ο ασθενής παρακολουθείται σε καθημερινή βάση και λαμβάνονται από τους αισθητήρες βιοσήματα δύο φορές την ημέρα, πρωί και απόγευμα. Οι μετρήσεις αποθηκεύονται προσωρινά στο CAM και έπειτα συσχετίζονται με πληροφορίες που ανακτώνται από τον ηλεκτρονικό φάκελο του ασθενούς (EHR) και το προφίλ του ασθενούς. Για την παρακολούθηση της νόσου και την πρόβλεψη των παροξύνσεων, κάθε ασθενής καλείται να συμπληρώσει ένα εξειδικευμένο ερωτηματολόγιο για τη νόσο ΧΑΠ.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| <b>CAT</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>COPD Assesment Test (CAT)</b> |
| <a href="#">Back</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                  |
| <b>TAKE YOUR DAILY TEST</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                  |
| <p>For each question below, click your mouse (from 0-5) to place a mark in the box that best describes your current health status.</p> <p>Cough: <input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5</p> <p>I have no plegm (mucus) in my chest at all: <input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5</p> <p>My chest does not feel tight at all (no chest pain): <input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5</p> <p>When I walk up a hill or one flight of stairs I am not breathless: <input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5</p> <p>I am not limited doing any activities at home: <input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5</p> <p>I am confident leaving my home despite my lung condition: <input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5</p> <p>I sleep soundly: <input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5</p> <p>I have lots of energy: <input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5</p> <p>Check the correctness of your personal info and click "Submit" to complete the test.</p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Submit"/></p> |                                  |

**Σχήμα 2.5:** Το ερωτηματολόγιο CAT για την αξιολόγηση της ΧΑΠ.

Το ερωτηματολόγιο αυτό περιέχει ένα σύνολο από οχτώ ερωτήσεις οι οποίες περιγράφουν την ένταση των συμπτωμάτων και είναι δομημένο με βάση το Τεστ Αξιολόγησης της ΧΑΠ (COPD Assessment Test (CAT)) [42] και τις συστάσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας [3], [43]. Κάθε ερώτηση αντιστοιχεί και σε ένα διαφορετικό σύμπτωμα της νόσου και η αντίστοιχη απάντηση υποδεικνύει την ένταση του συμπτώματος με βάση μια κλίμακα από το 0-5. Κατά την υποβολή του ερωτηματολογίου υπολογίζεται ένα συνολικό σκορ που ονομάζεται CAT score. Όλες οι μεταβλητές έχουν την ίδια βαρύτητα για τον υπολογισμό του συνολικού CAT σκορ. Το Σχήμα 2.5 παρουσιάζει τις οχτώ ερωτήσεις του ερωτηματολογίου που σχετίζονται με τα συμπτώματα της νόσου ΧΑΠ, όπως για παράδειγμα ο βήχας, το φλέγμα και ο πόνος στο στήθος. Οι απαντήσεις καθώς και το συνολικό

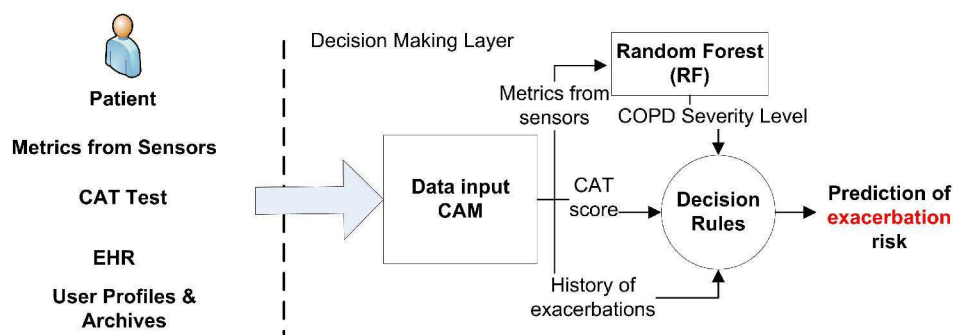
σκορ αποθηκεύονται σε μια MySQL βάση δεδομένων με σκοπό να αξιοποιηθούν κατά τη διαδικασία της πρόβλεψης καθώς και για την ανανέωση του προφίλ του ασθενούς.

#### **2.4.3 Υλοποίηση του u-MCHC Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων**

Η ύπαρξη ενός κοινού κρυολογήματος ή ενός αναπνευστικού ή καρδιαγγειακού επεισοδίου επηρεάζουν άμεσα τον κορεσμό του οξυγόνου ( $SpO_2$ ), τον καρδιακό και αναπνευστικό ρυθμό και εισάγουν λάθη στην αξιολόγηση και την εκτίμηση του κινδύνου εμφάνισης παρόξυνσης αυξάνοντας τα ιατρικά λάθη και θέτοντας τη ζωή των ασθενών σε κίνδυνο. Για τον πιο ακριβή υπολογισμό και την εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης παροξύνσεων, εκτός από το CAT score και τη συλλογή και αξιολόγηση των βιοσημάτων, συνυπολογίζεται και το ιστορικό επεισοδίων παρόξυνσης του ασθενούς. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για την υλοποίηση του πλαισίου λήψης αποφάσεων u-MCHC δεν λάβαμε υπόψη μας την επίδραση που επιφέρει η συνύπαρξη και άλλων νοσημάτων στη λήψη των αποφάσεων για την πρόβλεψη των επεισοδίων παρόξυνσης, όπως για παράδειγμα ο σακχαρώδης διαβήτης, ο καρκίνος του πνεύμονα, η αγχώδης διαταραχή και άλλα. Η αντιμετώπιση και η θεραπεία αυτών των συνθηκών έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της έντασης των συμπτωμάτων και ως εκ τούτου τη μείωση του CAT σκορ.

Σύμφωνα με τις συστάσεις της Παγκόσμιας Πρωτοβουλίας για τη Χρόνια Αποφρακτική Πνευμονοπάθεια [44], [1], μείωση του CAT σκορ παρατηρείται έπειτα από 14 μέρες από την ημέρα εμφάνισης του επεισοδίου παρόξυνσης. Αυτός είναι και ο ελάχιστος χρόνος που παρατηρούνται μεταβολές κατά 2 μονάδες στο CAT σκορ μεταξύ συνεχόμενων μετρήσεων. Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα από το CAT σκορ αξιολογούνται κάθε 14 μέρες. Αυτό συνεπάγεται ότι η πιθανότητα εμφάνισης επεισοδίου παρόξυνσης εκτιμάται για τις επόμενες 14 ημερολογιακές ημέρες. Παρόλα αυτά, το CAT σκορ υπολογίζεται σε καθημερινή βάση και η εξέλιξη της έντασης των συμπτωμάτων χρησιμοποιείται για την παροχή των κατάλληλων υπηρεσιών στους ασθενείς όπως φαρμακευτική αγωγή, ψυχολογική υποστήριξη, προτεινόμενη διατροφή και άσκηση.

Το Σχήμα 2.6 παρουσιάζει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των λειτουργικών οντοτήτων που εμπλέκονται στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.



Σχήμα 2.6: Η διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Για την υλοποίηση του πλαισίου λήψης αποφάσεων u-MCHC, αρχικά, κατηγοριοποιούμε τους ασθενείς σε ομάδες με βάση την τρέχουσα κατάσταση της υγείας τους υπολογίζοντας το COPD επίπεδο σοβαρότητας (severity level) (ήπιο, μέτριο, σοβαρό, πολύ σοβαρό - GOLD 1, 2, 3, και 4 αντίστοιχα). Το επίπεδο σοβαρότητας ορίζεται από την αξιολόγηση των δεδομένων πραγματικού χρόνου που λαμβάνονται από τους αισθητήρες. Η ταξινόμηση του επιπέδου σοβαρότητας προκύπτει με τη χρήση αλγορίθμων απόφασης που βασίζονται στην τυχαία αναζήτηση δέντρου (Random Forest -RF) [45]. Τα δεδομένα εκπαίδευσης που συλλέξαμε από πολλούς ασθενείς χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των δέντρων λήψης αποφάσεων. Κάθε ένα από αυτά τα δέντρα τροφοδοτείται με ένα υποσύνολο από τις μεταβλητές (π.χ. από τα βιοσήματα) και υπολογίζεται το επίπεδο GOLD. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι ένα σύνολο από κανόνες λήψης αποφάσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση του επιπέδου σοβαρότητας της νόσου ΧΑΠ.

Με βάση το εκτιμώμενο επίπεδο σοβαρότητας και τα CAT score, οι ασθενείς κατηγοριοποιούνται περαιτέρω σε τέσσερις διακριτές ομάδες με τις ονομασίες A, B, C, και D. Κάθε ομάδα προσδιορίζει την απαραίτητη φαρμακευτική αγωγή που θα πρέπει να λάβει ο ασθενής όπως αυτό προτείνεται από την παγκόσμια πρωτοβουλία διαχείρισης και αντιμετώπισης της νόσου ΧΑΠ [1]. Ο πίνακας 2.1 παρουσιάζει τη συσχέτιση μεταξύ των ομάδων των ασθενών (Patient Group), του επιπέδου σοβαρότητας της νόσου ΧΑΠ (COPD Severity level) και των συμπτωμάτων [1].

**Πίνακας 2.1:** Συσχέτιση μεταξύ των ομάδων των ασθενών (Patient Group), του επιπέδου σοβαρότητας της νόσου ΧΑΠ (COPD Severity level) και των συμπτωμάτων [1]

| Ομάδα<br>Ασθενών | Κίνδυνος<br>νόσου | Συμπτώματα | Επίπεδο σοβα-<br>ρότητας νόσου<br>ΧΑΠ | CAT σκορ |
|------------------|-------------------|------------|---------------------------------------|----------|
| A                | Χαμηλός           | Λίγα       | GOLD 1,2                              | <10      |
| B                | Χαμηλός           | Πολλά      | GOLD 1,2                              | ≥10      |
| C                | Υψηλός            | Λίγα       | GOLD 3,4                              | <10      |
| D                | Υψηλός            | Πολλά      | GOLD 3,4                              | ≥10      |

**Πίνακας 2.2:** Κανόνες λήψης αποφάσεων και σενάρια για την παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών υγείας.

| Κανόνες Λήψης Αποφάσεων                                                                                | Απόφαση Παροχής Υπηρεσιών                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>EAN patientGroup=A ΚΑΙ historyExac&lt;1 TOTE</b>                                                    | Άσκηση                                                                                                                           |
| <b>EAN patientGroup=A ΚΑΙ historyExac≥2 TOTE</b>                                                       | Ραντεβού με πνευμονολόγο την επόμε-<br>νη εβδομάδα                                                                               |
| <b>EAN patientGroup=B ΚΑΙ historyExac≤1 TOTE</b>                                                       | Ασκήσεις ενδυνάμωσης                                                                                                             |
| <b>EAN patientGroup=B ΚΑΙ historyExac≥2 ΚΑΙ PaO2 ≤55mmHg TOTE</b>                                      | Θεραπεία με οξυγόνο και ραντεβού με<br>τον πνευμονολόγο την επόμενη εβδο-<br>μάδα                                                |
| <b>EAN patientGroup=C ΚΑΙ historyExac≥2 ΚΑΙ historyHosp≤1 TOTE</b>                                     | Άσκηση και ενδυνάμωση των ανα-<br>πνευστικών μυών                                                                                |
| <b>EAN patientGroup=C ΚΑΙ historyExac≥2 ΚΑΙ historyHosp≥2 TOTE</b>                                     | Ραντεβού με τον πνευμονολόγο μέσα<br>σε 48 ώρες και/ή νοσηλεία σε νοσοκο-<br>μείο                                                |
| <b>EAN patientGroup=D ΚΑΙ historyExac≥2 ΚΑΙ historyHosp≤1 TOTE</b>                                     | Άσκηση και ενδυνάμωση των ανα-<br>πνευστικών μυών και ενημέρωση για<br>την αλλαγή φαρμακευτικής αγωγής                           |
| <b>EAN patientGroup=D ΚΑΙ historyExac<sup>36</sup>≥2 ΚΑΙ 55&lt;PaO2 ≤60mmHg ΚΑΙ historyHosp≥2 TOTE</b> | Θεραπεία με οξυγόνο και άμεση επι-<br>κοινωνία/ραντεβού με τον πνευμονο-<br>λόγο μέσα σε 48 ώρες και/ή νοσηλεία<br>σε νοσοκομείο |

Για την αποτελεσματική πρόβλεψη και αντιμετώπιση των επεισοδίων παρόξυνσης, προτείνεται η συσχέτιση της ομάδας των ασθενών με το ιστορικό των επεισοδίων παρόξυνσης και το ιστορικό νοσηλείας κατά τη διάρκεια των τελευταίων 12 μηνών [1]. Ο πίνακας 2.2 παρουσιάζει τους κανόνες λήψης αποφάσεων και τα σενάρια για την παροχή εξοπλισμένων υπηρεσιών υγείας καθώς και τους συμμετέχοντες που θα πρέπει να εμπλακούν για την αντιμετώπιση αυτών των επεισοδίων.

#### **2.4.4 Υλοποίηση του Ef-Zin Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων**

Για την αποτελεσματική πρόβλεψη του κινδύνου εμφάνισης παρόξυνσης, εκτός από το ερωτηματολόγιο και το ιστορικό των επεισοδίων παρόξυνσης, είναι απαραίτητη και η γνώση της ύπαρξης άλλων συνοδών ή πολλαπλών νοσημάτων. Στην παρούσα διατριβή μελετήθηκε το πιο σύνηθες συνοδό νόσημα που εμφανίζεται παράλληλα με τη ΧΑΠ σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, την υπέρταση [43], [3]. Για την αξιολόγηση της υπέρτασης χρησιμοποιείται η μέτρηση της συστολικής και της διαστολικής πίεσης με χρήση του πιεσόμετρου. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η υπέρταση συνήθως συνυπάρχει με άλλα νοσήματα (συνοδά νοσήματα) όπως καρδιαγγειακά νοσήματα (π.χ. έμφραγμα, ισχαιμικό εγκεφαλικό επεισόδιο), χρόνια νεφρική ανεπάρκεια και το διαβήτη [3], [27], [46]. Η ύπαρξη συνοδών νοσημάτων εισάγει λάθη κατά τη διαδικασία αξιολόγησης της συστολικής και της διαστολικής πίεσης και θέτει τη ζωή των ασθενών σε άμεσο κίνδυνο. Για το λόγο αυτό, στην παρούσα εργασία συνυπολογίστηκαν στην εκτίμηση του κινδύνου εμφάνισης παρόξυνσης οι παράγοντες κινδύνου που συνδέονται με την ύπαρξη καρδιαγγειακών νοσημάτων (π.χ. παχυσαρκία, κάπνισμα, ιστορικό διαβήτη και καρδιακής ανεπάρκειας). Η πληροφορία αυτή αντλείται από το ιστορικό του ασθενούς που είναι είτε αποθηκευμένο σε ιατρικούς ηλεκτρονικούς φακέλους είτε στο προφίλ του.

Η λειτουργία του Δομοστοιχείου Λήψης Αποφάσεων του πλαισίου Ef-Zin χωρίζεται σε δύο διακριτές φάσεις. Στην πρώτη φάση, αξιολογούνται τα βιοσήματα τα οποία σχετίζονται άμεσα με την υπέρταση, καθώς η μη διαχείριση της υπέρτασης επιφέρει άμεσες συνέπειες στη ζωή του ασθενούς και ως εκ τούτου πρέπει να αντιμετωπιστεί με μεγαλύτερη βαρύτητα. Στη δεύτερη φάση, τα δεδομένα της πρώτης φάσης συσχετίζονται και

**Πίνακας 2.3:** Συσχέτιση μεταξύ της αρτηριακής πίεσης (Blood Pressure), των παραγόντων κινδύνου (Risk Factors) και του επιπέδου σοβαρότητας (Severity level) για τη μελέτη της υπέρτασης

|                                                          |                   |                |                |                |                |
|----------------------------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Αρτηριακή Πίεση</b>                                   | <b>Συστολική</b>  | <b>130-139</b> | <b>140-159</b> | <b>160-179</b> | <b>&gt;180</b> |
|                                                          | <b>Διαστολική</b> | <b>80-89</b>   | <b>90-99</b>   | <b>100-109</b> | <b>&gt;110</b> |
| <b>Παράγοντες<br/>επικινδυνότητας<br/>(Risk factors)</b> | Χωρίς ενδείξεις   | φυσιολογικό    | ήπιο           | μέτριο         | σοβαρό         |
|                                                          | 1-2 ενδείξεις     | ήπιο           | μέτριο         | μέτριο         | σοβαρό         |
|                                                          | >3 ή Διαβήτης     | σοβαρό         | σοβαρό         | σοβαρό         | σοβαρό         |
|                                                          | ή Νεφροπάθεια     |                |                |                |                |

αξιολογούνται με τα δεδομένα από όλους τους αισθητήρες περιβάλλοντος και ιατρικούς, το CAT σκορ, το ιστορικό επεισοδίων παρόξυνσης και νοσηλείας κατά τη διάρκεια των τελευταίων 12 μηνών.

#### 2.4.4.1 Πρώτη Φάση Λήψης Αποφάσεων

Στην πρώτη φάση, αξιολογούνται με τη χρήση κανόνων λήψης αποφάσεων τα βιοσημάδια τα οποία σχετίζονται άμεσα με την υπέρταση δηλαδή η συστολική και η διαστολική πίεση [46]. Για τον υπολογισμό του κινδύνου σοβαρότητας (severity level) της υπέρτασης (κανονικός, ήπιος, μέτριος, σοβαρός) με μεγαλύτερη ακρίβεια ανακτώνται: (α) από τους ιατρικούς φακέλους του ασθενούς ο αριθμός των καρδιαγγειακών παραγόντων κινδύνου (cardiovascular risk factors) (β) πληροφορίες από το προφίλ του ασθενούς που σχετίζονται με την κληρονομικότητα ή τη γνώση ύπαρξης συνοδών νοσημάτων όπως είναι ο σακχαρώδης διαβήτης και η χρόνια νεφρική ανεπάρκεια καθώς και (γ) οι μετρήσεις που λάβαμε από τους αισθητήρες μέτρησης των βιοσημάτων (Πίνακας 2.3).

Με βάση την ταξινόμηση των επιπέδων σοβαρότητας της υπέρτασης και των μετρήσεων της αρτηριακής πίεσης ταυτοποιούνται οι ασθενείς και ενεργοποιούνται οι ειδοποιήσεις με στόχο την παροχή των κατάλληλων υπηρεσιών και τον συντονισμό των εμπλεκόμενων ιατρικών και παραϊατρικών οντοτήτων για την αντιμετώπιση της τρέχουσας κατάστασης του ασθενούς μέσα από το P2Care δίκτυο [18] και σύμφωνα με τα αποτελέσματα του αλγορίθμου 1 και του πίνακα συσχέτισης 2.4.

---

**Algorithm 1** Πρώτη φάση αλγορίθμου λήψης αποφάσεων

---

**loop**

    πάρε τις μετρήσεις της συστολικής και διαστολικής πίεσης

**if** το επίπεδο σοβαρότητας ΔΕΝ είναι κανονικό **then**

**if** το επίπεδο σοβαρότητας είναι ήπιο **then**

            ενεργοποίησε την Υπηρεσία 1 και την Υπηρεσία 2

**else if** το επίπεδο σοβαρότητας είναι μέτριο **then**

            ενεργοποίησε την Υπηρεσία 1 και την Υπηρεσία 3

**else if** το επίπεδο σοβαρότητας είναι σοβαρό **then**

            ενεργοποίησε την Υπηρεσία 4 και την Υπηρεσία 5

**end if**

**end if**

    Πήγαινε στη δεύτερη φάση εκτέλεσης του αλγορίθμου λήψης αποφάσεων

**end loop**

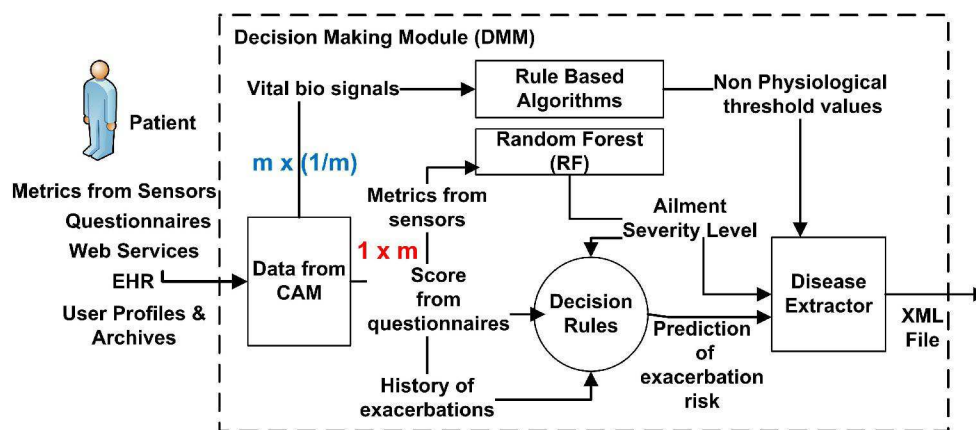
---

**Πίνακας 2.4:** Συσχέτιση Υπηρεσιών και Ειδοποιήσεων σε Επαγγελματίες του χώρου υγείας και των ασθενών

| Υπηρεσίες | Ενέργειες/Δράσεις                                                                                                                                                                                                                                             | Ειδοποιήσεις στο P2CARE δίκτυο για εξειδικευμένο προσωπικό                  |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 1         | <b>SMS</b> στον <b>ασθενή και ένα μέλος της οικογένειας του</b> με συστάσεις για δίαιτα και άσκηση                                                                                                                                                            | Ασθενής, Μέλος της οικογένειας, παραϊατρικό προσωπικό                       |
| 2         | Κανόνισε <b>2 ραντεβού</b> με έναν <b>καρδιολόγο</b> κατά τη διάρκεια του έτους<br>Εάν <b>BMI&gt;25</b> κανόνισε <b>1 ραντεβού</b> με ένα <b>διαβητολόγο</b>                                                                                                  | Ασθενής, Καρδιολόγος<br>διαβητολόγο                                         |
| 3         | Κανόνισε <b>4 ραντεβού</b> με έναν <b>καρδιολόγο</b> στη διάρκεια του έτους<br>Κανόνισε <b>2 ραντεβού</b> με ένα <b>διαβητολόγο</b> στη διάρκεια του έτους                                                                                                    | Ασθενής<br>Καρδιολόγος<br>Διαβητολόγος                                      |
| 4         | Κανόνισε <b>άμεσα 3 ραντεβού</b> με έναν <b>καρδιολόγο</b> κατά τη διάρκεια της εβδομάδας<br><b>VoIP</b> συνεδρία με <b>καρδιολόγο και διαβητολόγο</b><br><b>SMS</b> σε μια <b>νοσοκόμα για την παρακολούθηση του ασθενούς</b> και αξιολόγηση των συμπτωμάτων | Ασθενής<br>Μέλος της οικογένειας<br>Καρδιολόγος<br>Διαβητολόγος<br>Νοσοκόμα |
| 5         | <b>Υπηρεσία Ασθενοφόρου</b><br><br><b>Νοσοκομειακή νοσηλεία</b>                                                                                                                                                                                               | Πάροχος Υπηρεσιών Ασθενοφόρου<br>Νοσοκομείο                                 |

#### 2.4.4.2 Δεύτερη Φάση Λήψης Αποφάσεων

Αφού γίνει αξιολόγηση και εκτίμηση της κατάστασης σοβαρότητας του ασθενούς σε ότι αφορά την υπέρταση, η οποία πρέπει να αντιμετωπιστεί άμεσα και θεωρείται πιο σοβαρή για την εξέλιξη της υγείας του ασθενούς διότι θέτει τη ζωή του σε άμεσο κίνδυνο, ακολουθεί η δεύτερη φάση αξιολόγησης των δεδομένων που σχετίζονται με τη νόσο ΧΑΠ. Σε αυτή τη φάση γίνεται αξιολόγηση των βιοσημάτων και των δεδομένων που ανακτώνται από το CAM με πληροφορίες σχετικές με τις μετρήσεις των αισθητήρων, τις βαθμολογίες που συγκεντρώθηκαν από το CAT ερωτηματολόγιο, το ιστορικό των επεισοδίων έξαρσης και της νοσηλείας κατά τη διάρκεια των τελευταίων 12 μηνών. Το επίπεδο σοβαρότητας της ΧΑΠ υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τεχνικές τυχαίας αναζήτησης δέντρου - RF. Σύμφωνα με το επίπεδο σοβαρότητας, το CAT σκορ και το ιστορικό επεισοδίων παρόξυνσης ή νοσηλείας, προσδιορίζεται η τρέχουσα κατάσταση της υγείας του ασθενούς και υπολογίζεται η πιθανότητα εμφάνισης ενός επεισοδίου παρόξυνσης με τη χρήση αλγορίθμων που βασίζονται σε κανόνες (rule-based algorithms). Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης οδηγούν σε υπηρεσίες ειδοποίησης και σε ένα σύνολο από δράσεις με στόχο την κατάλληλη παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών και ειδοποίησης των εμπλεκόμενων συμμετεχόντων όπως αναλύεται στον πίνακα 2.2 [16]. Στο Σχήμα 2.7 απεικονίζεται η ροή των διαδικασιών της πρώτης και δεύτερης φάσης αξιολόγησης του πλαισίου λήψης αποφάσεων Ef-Zin.



**Σχήμα 2.7:** Η ροή των διαδικασιών κατά τη διάρκεια της πρώτης και δεύτερης φάσης λήψης αποφάσεων του πλαισίου Ef-Zin.

## **2.5 Αξιολόγηση του Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων**

Για τη σωστή πρόβλεψη και αντιμετώπιση των επεισοδίων παρόξυνσης, ο ασθενής πρέπει να παρακολουθείται άμεσα μετά το πρώτο επεισόδιο νοσηλείας που αναφέρεται στη νόσο ΧΑΠ διότι η πιθανότητα εμφάνισης ενός δεύτερου επεισοδίου ή μιας νοσηλείας είναι κρίσιμη για την πορεία της υγείας του και την ποιότητα της ζωής του. Επιπλέον, επιβάλλεται η διακοπή καπνίσματος σε όλους τους ασθενείς που πάσχουν από ΧΑΠ ανεξαρτήτως του επιπέδου σοβαρότητας της νόσου.

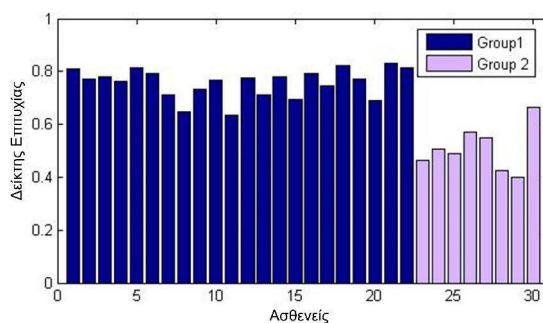
Για την αξιολόγηση και παρουσίαση της αποτελεσματικότητας των προτεινόμενων πλαισίων λήψης αποφάσεων u-MCHC και Ef-Zin, αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής, ένα πρότυπο εφαρμογής (prototype). Το πρότυπο εφαρμογής αναπτύχθηκε σε συνεργασία με εξειδικευμένους ιατρούς για την παρακολούθηση, πρόβλεψη και αντιμετώπιση των επεισοδίων παρόξυνσης για τη νόσο ΧΑΠ και την υπέρταση.

Στα πλαίσια του προτύπου εφαρμογής, 30 ασθενείς που πάσχουν από ΧΑΠ και άλλα συνοδά (υπέρταση) ή πολλαπλά νοσήματα (υπέρταση και σακχαρώδης διαβήτης) παρακολουθούνται απομακρυσμένα με τη χρήση αισθητήρων και του προτύπου λήψης αποφάσεων. Τα δεδομένα αυτά συλλέγονται, καταγράφονται και αξιολογούνται σε καθημερινή βάση κατά τη διάρκεια ενός έτους.

### **2.5.1 Αξιολόγηση του u-MCHC Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων**

Προκειμένου να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα του πλαισίου λήψης αποφάσεων u-MCHC, οι 30 ασθενείς κατηγοριοποιήθηκαν σε 2 ομάδες ως εξής: (1) η Ομάδα 1 περιλαμβάνει 22 ασθενείς για τους οποίους γνωρίζουμε όλες τις απαραίτητες πληροφορίες του συγκείμενου και του προφίλ τους, όπως για παράδειγμα τον ηλεκτρονικό ιατρικό φάκελο του ασθενούς, το ιστορικό των επεισοδίων παρόξυνσης και της νοσηλείας, (2) η Ομάδα 2 περιλαμβάνει 8 ασθενείς για τους οποίους έχουμε ελλιπή στοιχεία του προφίλ τους, δηλαδή συλλέγουμε τις μετρήσεις των βιοσημάτων τους από τους αισθητήρες αλλά είτε δεν έχουμε καθόλου γνώση είτε γνωρίζουμε ένα τμήμα του ηλεκτρονικού ιατρικού φακέλου τους.

Τα δεδομένα που συγκεντρώνονται από τους αισθητήρες αξιολογούνται από το πλαίσιο λήψης αποφάσεων u-MCHC και ενεργοποιούνται οι κατάλληλες υπηρεσίες για την πρόβλεψη και την αντιμετώπιση των επεισοδίων παρόξυνσης. Τα δεδομένα αποστέλλονται ταυτόχρονα και σε έναν ιατρό ο οποίος επαληθεύει την εγκυρότητα ή μη των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από το επίπεδο λήψης αποφάσεων DMM του πλαισίου. Το Σχήμα 2.8 παρουσιάζει το δείκτη επιτυχίας στην ενεργοποίηση των υπηρεσιών για κάθε έναν ασθενή με βάση τους κανόνες λήψης αποφάσεων και το επίπεδο σοβαρότητας της νόσου.



**Σχήμα 2.8:** Αξιολόγηση του πλαισίου λήψης αποφάσεων u-MCHC.

Η τελική εκτίμηση είναι προσανατολισμένη στην πρόληψη εμφάνισης καταστάσεων υψηλότερου κινδύνου. Κατά συνέπεια, οι ψευδώς θετικές ειδοποιήσεις κινδύνου (alarm) που προέκυψαν καθορίζονται λιγότερο σημαντικές από ό,τι οι ψευδώς αρνητικές ειδοποιήσεις κινδύνου και δεν επηρεάζουν την αξιοπιστία του συστήματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ενδυνάμωση των αναπνευστικών μυών και η άσκηση επηρεάζουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων και αυξάνουν προσωρινά το CAT σκορ οδηγώντας πολλές φορές το πλαίσιο λήψης αποφάσεων σε λανθασμένη εκτίμηση του επιπέδου σοβαρότητας του ασθενούς. Παρόλα αυτά, αυτές οι ψευδώς θετικές ειδοποιήσεις κινδύνου δεν επιβαρύνουν την υγεία του ασθενούς και μειώνουν τη συχνότητα και τη σοβαρότητα εμφάνισης των επεισοδίων παρόξυνσης καθώς ενημερώνονται και ο ασθενής και οι συμμετέχοντες στη θεραπεία του και δίνονται οι απαραίτητες συστάσεις και οδηγίες από τους ιατρούς. Η τελική διάγνωση που δόθηκε από τον ιατρό, επιβεβαίωσε ένα μέσο ποσοστό επιτυχίας του

πλαίσιου λήψης αποφάσεων u-MCHC της τάξεως του 75,74% για την Ομάδα 1 (Group 1) και 50,87% για την Ομάδα 2 (Group 2).

Η διαφορά στο ποσοστό επιτυχίας για την Ομάδα 2 δικαιολογείται από την έλλειψη των δεδομένων του ιατρικού φακέλου και του προφίλ του ασθενούς. Η έλλειψη των απαραίτητων δεδομένων για την εκτίμηση του κινδύνου εμφάνισης επεισοδίων παρόξυνσης οδηγεί σε σφάλματα στον τελικό υπολογισμό του επιπέδου σοβαρότητας μέσω RF. Επιπλέον, η παρουσία συνοδών νοσημάτων έχει σημαντικό αντίκτυπο στην πρόληψη και στη διαχείριση των επεισοδίων παρόξυνσης γεγονός που δικαιολογεί και το σχετικά χαμηλό ποσοστό επιτυχίας για την Ομάδα 1.

### **2.5.2 Αξιολόγηση του Ef-Zin Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων**

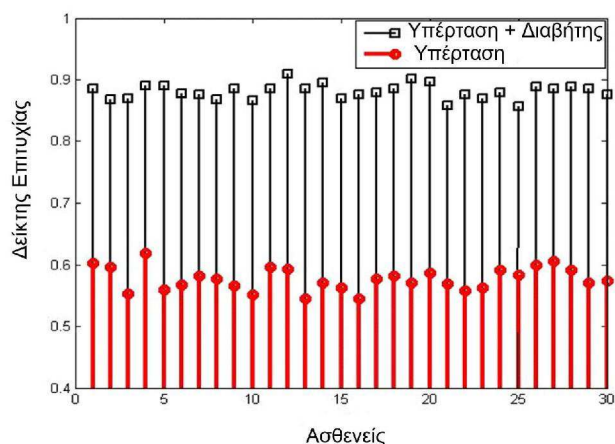
Προκειμένου να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα του πλαισίου λήψης αποφάσεων Ef-Zin, αξιολογήθηκε κάθε φάση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων ξεχωριστά και στην συνέχεια έγινε μια ολική αξιολόγηση του συστήματος.

Για την αξιολόγηση της πρώτης φάσης του DMM, συγκεντρώθηκαν δεδομένα από 30 ασθενείς που πάσχουν από ΧΑΠ και άλλα συνοδά νοσήματα (υπέρταση) ή πολλαπλά νοσήματα (υπέρταση και διαβήτη). Το σχήμα 2.9 απεικονίζει την αναλογία επιτυχίας της λήψης αποφάσεων σε δύο διαφορετικές περιπτώσεις, μόνο υπέρταση και υπέρταση με διαβήτη. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι όσο περισσότερες παραμέτρους και ασθένειες γνωρίζει το πλαίσιο λήψης αποφάσεων, τόσο πιο αποτελεσματικό και αξιόπιστο τείνει να γίνεται στον υπολογισμό του επιπέδου σοβαρότητας της κατάστασης του ασθενούς (90%). Όπως αναφέρθηκε και στην αξιολόγηση του u-MCHC, η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της δεύτερης φάσης του DMM που επιβεβαιώθηκε από έναν ιατρό είναι 75,74% και 50,87% ποσοστό επιτυχίας για την Ομάδα 1 και 2 αντίστοιχα [16].

Η τελική αξιολόγηση του πλαισίου λήψης αποφάσεων Ef-Zin επαληθεύεται από μια ομάδα συνεργασίας από ιατρούς διαφόρων ειδικοτήτων (πνευμονολόγους, γενικούς ιατρούς, καρδιολόγους και διαβητολόγους) και επιβεβαιώνεται η αποτελεσματικότητα του με μέσο ποσοστό επιτυχίας 78,57% (SD  $\pm$  6,43%). Η διαφορά στο ποσοστό επιτυχίας δικαιολογείται από την έλλειψη των δεδομένων από το προφίλ του ασθενούς ή από ψευδείς

ειδοποιήσεις κινδύνου που ενεργοποιούν τους επαγγελματίες του τομέα της υγείας, χωρίς καμία ανάγκη. Αυτό συμβαίνει λόγω (i) της αδυναμίας των ασθενών να ακολουθήσουν τις συστάσεις τους, (ii) από τη χρήση άλλων φαρμάκων τα οποία οι γιατροί δεν γνώριζαν και επηρεάζουν την κατάσταση του ασθενούς και τέλος (iii) από την ύπαρξη διαταραχών άγχους. Τα τελικά αποτελέσματα επιβεβαίωσαν την αποτελεσματικότητα του πλαισίου λήψης αποφάσεων Ef-Zin για την παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών με τη βοήθεια μιας συνεργατικής ομάδας υγειονομικής περίθαλψης.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι εσωτερικές διαδικασίες και οι κανόνες λήψης αποφάσεων στο επίπεδο λήψης αποφάσεων (DMM) μπορούν να προσαρμοστούν σύμφωνα με τις τρέχουσες εξελίξεις στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Επιπλέον, τα προτεινόμενα πλαίσια u-MCHC και Ef-Zin μπορούν εύκολα να παραμετροποιηθούν κατάλληλα και να αναπτυχθούν για διαφορετικές χρόνιες παθήσεις από αυτές που αναλύσαμε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής.



**Σχήμα 2.9:** Αξιολόγηση της πρώτης φάσης του πλαισίου λήψης αποφάσεων Ef-Zin.

## 2.6 Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκαν δύο πρωτότυπα πλαίσια για την απομακρυσμένη διαχείριση και παρακολούθηση των ασθενών που πάσχουν από χρόνιες παθήσεις. Τα πλαίσια αυτά παρουσιάστηκαν ως ενιαία καθώς το ένα οδήγησε στην περαιτέρω μελέτη

και ανάπτυξη του δευτέρου. Το δεύτερο πλαίσιο, ουσιαστικά, αποτελεί μια βελτιωμένη έκδοση του u-MCHC που βασίζεται στην κύρια λειτουργία του και ενσωματώνει επιπλέον λειτουργίες που του επιτρέπουν να λαμβάνει αποφάσεις για περισσότερες από μια παθήσεις.

Τα προτεινόμενα πλαίσια διαφοροποιούνται σχετικά με τα ήδη υπάρχοντα καθώς: (α) κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων λαμβάνουν υπόψη τους παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη της νόσου ΧΑΠ, όπως είναι η ύπαρξη πολλαπλών και συνοδών νοσημάτων, το ιστορικό νοσηλείας και το ιστορικό εμφάνισης επεισοδίων παρόξυνσης, (β) προβλέπουν και (γ) προλαμβάνουν επεισόδια παροξύνσεων που είναι κρίσιμα για την υγεία του ασθενούς μέσω προσωποποιημένων υπηρεσιών οι οποίες παρέχονται από ένα συνεργατικό δίκτυο επαγγελματιών του χώρου της υγειονομικής περίθαλψης.

Ένα πρωτότυπο εφαρμογής (prototype) αναπτύχθηκε και υλοποιήθηκε ξεχωριστά για καθένα από τα προτεινόμενα πλαίσια. Τα πρωτότυπα αξιολογήθηκαν σε πραγματικές συνθήκες από ιατρούς και τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την αποτελεσματικότητα των προτεινόμενων πλαισίων για την παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών με σκοπό την αποφυγή εμφάνισης ή την αντιμετώπιση κρίσιμων επεισοδίων επιβάρυνσης της κλινικής εικόνας του ασθενούς.

Τα δυο αυτά προτεινόμενα πλαίσια λήψης αποφάσεων μπορούν εύκολα να παραμετροποιηθούν και να αναπτυχθούν για οποιαδήποτε νόσο απαιτεί περιοδικές προβλέψεις προκειμένου να αντιμετωπιστούν μελλοντικά επεισόδια εμφάνισης παροξύνσεων. Ως εκ τούτου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ένα πολύτιμο εργαλείο για τους επαγγελματίες του χώρου της υγείας με σκοπό την παροχή ολοκληρωμένης διάγνωσης και αποφυγής ιατρικών λαθών που οφείλονται στη διαγνωστική αβεβαιότητα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η αποτελεσματικότητα των προτεινόμενων πλαισίων οφείλεται και στην άμεση αλληλεπίδρασή τους με το P2Care δίκτυο [18], το οποίο θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο 3, διότι εντοπίζει και συνδέει άμεσα τους εμπλεκόμενους ιατρικούς και παραϊατρικούς συμμετέχοντες στη θεραπεία του ασθενούς με χαμηλούς χρόνους απόκρισης.

## Κεφάλαιο 3

### Ιεραρχικό δίκτυο ομοτίμων κόμβων για δυναμική εγκαθίδρυση συνεργατικών σχημάτων (P2Care).

#### 3.1 Εισαγωγή

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών στο χώρο της υγείας παρατηρείται μια ραγδαία επανάσταση στην παροχή απομακρυσμένων υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης που σχετίζεται άμεσα με τις πρόσφατες εξελίξεις και τις καινοτομίες που σημειώθηκαν στον τομέα των τεχνολογιών της πληροφορίας και της επικοινωνίας. Μια μεγάλη ποικιλία από υπηρεσίες και συστήματα υγειονομικής περίθαλψης έχουν αναπτυχθεί για τους σκοπούς αυτούς και έχουν δώσει τη δυνατότητα σε χιλιάδες ασθενείς να διαχειρίζονται μόνοι τους και να παρακολουθούν την κατάσταση της υγείας τους απομακρυσμένοι από το νοσοκομειακό περιβάλλον.

Έρευνες που διεξήχθησαν από παγκόσμιους φορείς υγείας [3], [27], [47] αναφέρουν ότι το αυξημένο ποσοστό του πληθυσμού που πάσχουν από πολλαπλές χρόνιες παθήσεις σε συσχέτιση με την αύξηση των ασθενών οι οποίοι διαχειρίζονται μόνοι τους την κατάσταση της υγείας τους, οδηγούν σε λάθη κατά τη χορήγηση των φαρμακευτικών σκευασμάτων. Τα λάθη αυτά έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση των περιστατικών εμφάνισης ανεπιθύμητων παρενεργειών και αντιδράσεων από την αλληλεπίδραση των φαρμάκων μεταξύ τους, ιδίως στις περιπτώσεις που αναφερόμαστε σε πολλαπλά συνοδά νοσήματα.

Επιπλέον, τα λάθη που προκύπτουν από τη λανθασμένη χορήγηση των ιατρικών σκευασμάτων επιφέρουν αρνητικές κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις όπως είναι η αύξηση του κόστους περίθαλψης και νοσηλείας. Πιο σημαντικό όμως είναι το γεγονός ότι η κατακερματισμένη θεραπεία και η έλλειψη συνεργασίας μεταξύ των επαγγελματιών του χώρου της υγείας οδηγούν σε ιατρικά λάθη [47] και σε επιπλοκές της υγείας του ασθενούς καθώς στερούνται κάθε διαδικασία πρόβλεψης, πρόληψης και αντιμετώπισης των παροξύνσεων και των κρίσιμων καταστάσεων τα οποία θέτουν τη ζωή των ασθενών συνεχώς σε κίνδυνο και οδηγούν στην αύξηση του ποσοστού θνησιμότητας. Για να αποφευχθούν τα φαινόμενα αυτά, απαιτείται η επίτευξη συνεργασίας μεταξύ των εμπλεκόμενων οντοτήτων (stakeholders) στο σύστημα της υγειονομικής περίθαλψης.

Στην πράξη, έχει αποδειχθεί ότι η επίτευξη συνεργασίας μεταξύ πολλών διαφορετικών ετερογενών παρόχων είναι εγγενώς μια πολύπλοκη διαδικασία και προϋποθέτει την ικανοποίηση ενός συνόλου από απαιτήσεις και την αντιμετώπιση πολλαπλών τεχνικών προκλήσεων για την υλοποίησή της. Οι πιο σημαντικές προκλήσεις, εκτός από την επεκτασιμότητα των δικτύων, σχετίζονται με ζητήματα ευελιξίας και ευρωστίας του δικτύου που δεν μπορούν να ικανοποιηθούν από τις υπάρχουσες κεντρικές αρχιτεκτονικές που έχουν προταθεί για το σκοπό αυτό. Επιπλέον, ζητήματα όπως η ασφάλεια και η προστασία της ιδιωτικότητας του χρήστη είναι σημαντικά προαπαιτούμενα για την παροχή υπηρεσιών υγείας καθώς τα ιατρικά δεδομένα είναι ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα και πρέπει να είναι διαθέσιμα υπο αυστηρούς κανόνες και περιορισμούς μόνο στους εκάστοτε εξουσιοδοτημένους συμμετέχοντες στο συνεργατικό περιβάλλον παροχής υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης.

Η προσέγγιση του δικτύου των ομοτίμων κόμβων (peer-to-peer) φαίνεται να είναι η πιο γόνιμη υπολογιστική προσέγγιση προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι απαιτήσεις και οι προκλήσεις που τίθενται για συνεργασία στα πλαίσια του τομέα παροχής υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης. Τα δίκτυα ομοτίμων κόμβων προσφέρουν τα κατάλληλα επίπεδα ευρωστίας και ανθεκτικότητας δεδομένου ότι μπορούν να αντεπεξέλθουν και να διατηρήσουν τη δομή τους όταν συμβαίνουν αποτυχίες σε πολλαπλά επίπεδα. Για το σκοπό αυτό ενσωματώνουν μηχανισμούς που αντιμετωπίζουν τις αστοχίες που προκαλούνται από τις

αποτυχίες κατά τη διάρκεια αποσύνδεσης των ομοτίμων κόμβων καθώς επίσης και μηχανισμούς αντιγραφής των δεδομένων οι οποίοι εξασφαλίζουν ότι οι ζητούμενες πληροφορίες είναι πάντα διαθέσιμες. Επιπλέον, παρέχουν χαρακτηριστικά αυτο-οργάνωσης και επεκτασιμότητας που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για την ανάπτυξη μεγάλων, κατανεμημένων και δυναμικών συστημάτων υγειονομικής περίθαλψης. Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής ενός σχεδίου θεραπείας, είναι σημαντικό για τους επαγγελματίες της υγείας να έχουν πρόσβαση στο σύνολο των ιατρικών δεδομένων και του προφίλ του ασθενούς με σκοπό να αποκτήσουν πληροφορίες άμεσα και με αξιόπιστο τρόπο. Οι μικροί χρόνοι απόκρισης με εγγυημένη ανάκτηση των πληροφοριών που παρέχονται από τα δίκτυα ομοτίμων κόμβων μπορεί να εξυπηρετήσει το σκοπό αυτό. Είναι προφανές από τα παραπάνω ότι τα βασικά χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής των δικτύων των ομοτίμων κόμβων μπορούν να ωφελήσουν τον τομέα παροχής υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης, δεδομένου ότι οι αλληλεπιδράσεις που παρατηρούνται μεταξύ των πολλαπλών παρόχων και συμμετεχόντων στη διαδικασία παροχής υπηρεσιών υγείας είναι σύμφωνες με τη λογική ανάπτυξης και υλοποίησης τους.

Σ' αυτό το κεφάλαιο, υποκινούμενοι από α) τα αμέτρητα οφέλη για τη δημόσια υγεία που προκύπτουν από την επίτευξη συνεργασίας μεταξύ των ανεξαρτήτων επαγγελματιών του τομέα της υγείας, των μονάδων υγειονομικής περίθαλψης, των παραϊατρικών ομάδων και των ασθενών, β) τα πλεονεκτήματα των δικτύων ομοτίμων κόμβων και την καταλληλότητά τους για την ανάπτυξη κατανεμημένων, εύρωστων και δυναμικών συστημάτων μεγάλης κλίμακας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη μιας ενιαίας συνεργατικής πλατφόρμας καθώς και γ) την έλλειψη στην ακαδημαϊκή κοινότητα και σε εμπορικές λύσεις που συνδυάζουν τα προαναφερθέντα οφέλη στην παροχή υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης, οδηγηθήκαμε στην πρόταση ενός καινοτόμου δικτύου, το οποίο ονομάζεται P2Care, βασισμένου στις αρχές των δικτύων ομοτίμων κόμβων με σκοπό την επίτευξη συνεργασίας για την παροχή υψηλού επιπέδου εξατομικευμένων υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης.

Το δίκτυο P2Care αναπτύσσεται πάνω από ένα ιεραρχικό, δομημένο υπερκείμενο δίκτυο οργανούμενο σε ομάδες, ενσωματώνει μηχανισμούς που επιτρέπουν την αποδοτική

συνεργασία των συμμετεχόντων και διασφαλίζει τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις. Η ιεραρχική δομή σε διακριτά επίπεδα εξασφαλίζει τη διάκριση μεταξύ των διαφόρων ομάδων, διευκολύνει τον σχηματισμό ομάδων και επιτρέπει την εφαρμογή πολιτικών ασφάλειας πολλαπλών επιπέδων. Το δίκτυο διέπεται από ένα σύνολο μηχανισμών ασφαλείας που επιτρέπουν τον ασφαλή διαμοιρασμό των πληροφοριών σε πολλαπλά επίπεδα. Κάθε χρήστης έχει ένα διαφορετικό επίπεδο ασφαλείας ανάλογα με το ρόλο του και την ομάδα στην οποία ανήκει. Επιπλέον, οι ομότιμοι κόμβοι οργανώνονται σε διακριτές ομάδες με βάση τα κοινά τους χαρακτηριστικά όπως για παράδειγμα η κοινή εξειδίκευση που έχουν ή τα ενδιαφέροντα τους. Αυτή η κατηγοριοποίηση σε ομάδες βελτιώνει την απόδοση του συστήματος καθώς τα αιτήματα διαδίδονται σε ένα μικρότερο αριθμό συμμετεχόντων και όχι στο σύνολό τους, επιτυγχάνοντας έτσι χαμηλού χρόνου απόκριση και την αποφυγή εμφάνισης φαινομένων πλημμύρας (flooding) μηνυμάτων στο δίκτυο. Παρόλα αυτά, κάθε δομημένο υπερκείμενο δίκτυο εν γένει δεν υποστηρίζει την αναζήτηση πληροφοριών με πολλαπλά κριτήρια.

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής προτάθηκε η ενσωμάτωση ενός καινοτόμου μηχανισμού αναζήτησης πληροφοριών που βασίζεται στις αρχές της ελεγχόμενης πλημμύρας μηνυμάτων (flooding) και ενσωματώνεται στις λειτουργίες των δομημένων υπερκείμενων δικτύων με σκοπό την πλήρη αξιοποίηση των οφελών που προσφέρουν τα δομημένα δίκτυα ομοτίμων κόμβων. Αυτός ο μηχανισμός χαρακτηρίζεται από ένα μικρό χρόνο απόκρισης και ένα χαμηλό επίφορτο μηνυμάτων (messaging overhead). Η γνώση της θέσης του χρήστη (location awareness) είναι ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό του δικτύου P2Care που βελτιώνει περαιτέρω την απόδοση και την έγκαιρη παροχή των υπηρεσιών. Εφαρμόζεται μέσω της διαίρεσης σε γεωγραφικές ζώνες και της αξιοποίησης της πληροφορίας της θέσης για την αναζήτηση και την ανταλλαγή των πληροφοριών. Η δομή του δικτύου P2Care σε συνδυασμό με τους προηγμένους μηχανισμούς αναζήτησης με πολλαπλά κριτήρια επιτρέπει στους επαγγελματίες του τομέα της υγείας, τους οργανισμούς και τους ασθενείς να ανταλλάσσουν πληροφορίες με αποτελεσματικό τρόπο. Επιπλέον, το δίκτυο είναι ικανό να εντοπίζει τους καταλλήλότερους κάθε φορά ανθρώπινους πόρους και να μεταφέρει τις αναγκαίες πληροφορίες μεταξύ τους, ακόμη και αν δεν έχουν ζητηθεί ρητά. Με σκοπό την περαιτέρω μείωση του ήδη μικρού χρόνου απόκρισης και

ανάκτησης των πληροφοριών προτείνεται η παράλληλη λειτουργία ενός βελτιωμένου υπερκείμενου δικτύου (enhanced P2Care [20]) που αποτελείται από δυο αντί για τέσσερα ιεραρχικά επίπεδα και θα εφαρμόζεται σε περιπτώσεις επειγόντων περιστατικών με σκοπό την άμεση και έγκαιρη επίτευξη συνεργασίας μεταξύ των συμμετεχόντων στη διάγνωση και τη θεραπεία του ασθενούς.

Στα πλαίσια της διατριβής, υλοποιήθηκε ένα πρότυπο εφαρμογής (prototype) υλοποιήθηκε με σκοπό να καταδείξει τις βασικές δυνατότητες και την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου δικτύου σε πραγματικές συνθήκες. Το πρότυπο περιλαμβάνει μια γραφική διεπαφή χρήστη (GUI) μέσω της οποίας ο χρήστης μπορεί να εισέλθει στο δίκτυο, να συνδεθεί με άλλους χρήστες και να αναζητήσει αποθηκευμένες πληροφορίες ή επαγγελματίες του χώρου της υγείας. Μια πλατφόρμα δοκιμών (testbed) δημιουργήθηκε για τον έλεγχο της απόδοσης του προτύπου της εφαρμογής. Επιπροσθέτως, η απόδοση του δικτύου P2Care αξιολογήθηκε μέσω προσομοιώσεων. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης επαληθεύουν την αποτελεσματικότητα όσον αφορά τη σηματοδότηση, το χρόνο απόκρισης και την πολυπλοκότητα των προτεινόμενων μηχανισμών δρομολόγησης πολλαπλών ερωτημάτων σε δομημένα υπερκείμενα δίκτυα, της διατήρησης της ιεραρχικής δομής του υπερκείμενου δικτύου και την εγκαθίδρυση σχέσεων εμπιστοσύνης μεταξύ των συμμετεχόντων. Τέλος, η επεκτασιμότητα και η ευρωστία των δυο παράλληλων προτεινόμενων υπερκείμενων δικτύων για επείγοντα περιστατικά και σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας επαληθεύεται μέσω των προσομοιώσεων.

Το υπόλοιπο της ενότητας του κεφαλαίου αυτού οργανώνεται ως εξής: η ενότητα 3.2 παρουσιάζει τις συναφείς εργασίες και εξηγεί περαιτέρω τα κίνητρα που οδήγησαν σε αυτή την έρευνα. Η ενότητα 3.3 παρουσιάζει την αρχιτεκτονική του δικτύου P2Care. Η ενότητα 3.4, παρέχει λεπτομέρειες υλοποίησης και αναλύσεις των προτεινόμενων μηχανισμών. Στην ενότητα 3.5 περιγράφονται οι λειτουργίες του δικτύου P2Care ενώ στην ενότητα 3.6 αναλύεται το πρότυπο εφαρμογής του δικτύου P2Care που υλοποιήθηκε στα πλαίσια της διατριβής. Στην ενότητα 3.7 αξιολογείται η επίδοση του δικτύου P2Care και η απόδοση του καινοτόμου μηχανισμού που προτάθηκε για την αναζήτηση πληροφοριών

με πολλαπλά κριτήρια συγκριτικά με υπάρχον δίκτυο που εκτελεί παρόμοιους μηχανισμούς. Τέλος, στην ενότητα 3.8 παρουσιάζονται κάποια επι μέρους συμπεράσματα που σχετίζονται με το δίκτυο P2Care.

### **3.2 Συναφείς ερευνητικές εργασίες**

Τα σύγχρονα πληροφοριακά συστήματα και οι ραγδαίες εξελίξεις που παρουσιάστηκαν με την ανάπτυξη των φορητών συσκευών παρακολούθησης και των τεχνολογιών μετάδοσης και λήψης της πληροφορίας, έδωσαν τη δυνατότητα στους ασθενείς να αλληλεπιδρούν με πολλούς επαγγελματίες υγείας από διαφορετικούς οργανισμούς και από διαφορετικές τοποθεσίες. Αυτό οδήγησε στην αποκέντρωση και τον κατακερματισμό των πληροφοριακών συστημάτων υγειονομικής περίθαλψης. Υπό αυτές τις συνθήκες, η κεντριοποιημένη προσέγγιση των υφιστάμενων πληροφοριακών συστημάτων σε σχέση με την κατακερμάτιση και την αποκέντρωση της πληροφορίας και των υπηρεσιών από την πλευρά του πελάτη-διακομιστή δημιουργούν προβλήματα και αστοχίες στην παροχή υπηρεσιών που ο τομέας της υγείας δεν μπορεί να ανεχθεί. Συγκεκριμένα, αυξάνονται οι αστοχίες κατά τη διάρκεια αναζήτησης των πληροφοριών και της εγκαθίδρυσης επικοινωνίας ανάμεσα στους συμμετέχοντες που ανήκουν σε διαφορετικούς οργανισμούς γεγονός που προκαλεί αύξηση των ιατρικών λαθών λόγω των ανακριβών δεδομένων τα οποία θα μπορούσαν να είχαν προβλεφθεί και αντιμετωπιστεί μέσω της συνεργασίας των επαγγελματιών της υγείας και τα οποία θέτουν τη ζωή των ασθενών σε κίνδυνο [47]. Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, η προσέγγιση της λειτουργίας των ομοτίμων κόμβων υιοθετήθηκε στα κατανεμημένα υπολογιστικά συστήματα υγειονομικής περίθαλψης.

Τα οφέλη των δικτύων των ομοτίμων κόμβων στην ανάπτυξη συνεργατικών περιβαλόντων έχουν παρουσιαστεί σε διάφορες εργασίες. Στην [48], οι συγγραφείς παρουσιάζουν ένα σύστημα οργάνωσης σε ομάδες γενικού σκοπού που παρέχει online συνεργασία και εξασφαλίζει ταχεία ανταλλαγή πληροφοριών. Το Open2Edit σύστημα [49] επιτρέπει στους χρήστες να δημοσιεύουν, να επεξεργάζονται και να κατηγοριοποιούν το περιεχόμενο μιας πληροφορίας σύμφωνα με τα προνόμια και τα δικαιώματα της κοινότητας που ανήκει ο χρήστης. Το σύστημα WorkPad [50] παρέχει μια υποδομή ομοτίμων κόμβων

που επιτρέπει τη συνεργασία σε σενάρια έκτακτης ανάγκης. Συγκεκριμένα, στην [51] έχει προταθεί για τον τομέα της παροχής υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης, ο σχεδιασμός ενός ανθρωποκεντρικού πληροφοριακού συστήματος ανάμεσα σε πολλαπλούς οργανισμούς. Οι συγγραφείς αυτής της εργασίας παρέχουν μια αφηρημένη ιδέα των πλεονεκτημάτων που προκύπτουν από τη συνεργασία πολλών ετερογενών παρόχων, αλλά δεν προτείνεται κανένα αρχιτεκτονικό μοντέλο. Οι συγγραφείς στην εργασία [52] προτείνουν μια εφαρμογή βασισμένη σε τεχνολογίες Ιστού που υλοποιεί ένα συνεργατικό περιβάλλον εργασίας για ιατρούς, προκειμένου να ανταλλάξουν ηλεκτρονικά ιατρικά αρχεία - EHRs. Βασίζεται σε ένα υβριδικό δίκτυο ομοτίμων κόμβων που αποτελείται από ένα κεντρικό σύστημα για λόγους ασφάλειας και διαχείρισης των χρηστών και ένα δίκτυο ομοτίμων κόμβων για τους σκοπούς της κοινής χρήσης και του διαμοιρασμού των αρχείων. Αυτό το σύστημα λειτουργεί εντός του πλαισίου εφαρμογής ενός συγκεκριμένου οργανισμού και η πληροφορία αποθηκεύεται σε μια κεντρική μονάδα μέσα στο νοσοκομείο. Ως εκ τούτου, δεν υποστηρίζει τη συνεργασία με άλλους οργανισμούς ή ιδιώτες επαγγελματίες του χώρου. Το δίκτυο VIRGO [53] υλοποιήθηκε με σκοπό τη διευκόλυνση των ιατρών, ασθενών και ακαδημαϊκών ιδρυμάτων προκειμένου να αναζητήσουν πολύπλοκες ιατρικές πληροφορίες. Για το σκοπό αυτό, υιοθετεί τη σημασιολογική προσέγγιση (semantics) για την αναζήτηση των πληροφοριών μέσα στους διανεμημένους πίνακες κατακερματισμού (Distributed Hash Tables - DHTs) διαχωρίζοντας τις πληροφορίες ανάλογα με τον οργανισμό, το τμήμα και το όνομά τους. Βασικός στόχος της εργασίας αυτής είναι η επίτευξη αποτελεσματικής ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ ανεξάρτητων οργανισμών.

Στην εργασία [54] παρουσιάζεται ένα πλαίσιο (framework) που επιτρέπει την συνεργασία μεταξύ των ιατρών και των ασθενών που ανήκουν σε διαφορετικά τμήματα του ίδιου κέντρου υγείας ή νοσοκομειακής κλινικής δημιουργώντας ομάδες συνεργασίας. Οι ασθενείς και οι ιατροί μπορούν να επιλέξουν τους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης με βάση το προφίλ τους και τη γεωγραφική θέση τους. Τα κέντρα υγείας χρησιμοποιούνται ως κεντρικές αρχές και παρέχουν τα ασφαλή διαπιστευτήρια επαλήθευσης της ταυτότητας των χρηστών. Οι συγγραφείς στην εργασία [55] παρουσιάζουν μια αρχιτεκτονική διαχείρισης της ροής των εργασιών που βασίζονται σε Υπηρεσίες Ιστού και βασίζονται στις αρχές των ομοτίμων κόμβων. Η προαναφερθείσα αρχιτεκτονική είναι εφαρμόσιμη σε ποικίλες

περιπτώσεις κατά τις οποίες οι επαγγελματίες του χώρου της υγείας που ανήκουν σε διάφορους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης θα μπορούσαν να συνεργαστούν. Η επιτυχής εγκαθίδρυση ενός ιατρικού συμβουλίου μεταξύ των ιατρών εξετάζεται ως μελέτη υπό περίπτωση (case study). Σε αυτήν την περίπτωση, οι δραστηριότητες που σχετίζονται με το ιατρικό συμβούλιο (medical consultation) κατανέμονται στους συμμετέχοντες ομότιμους κόμβους. Η στρατηγική διαμοιρασμού των διαδικασιών που προτάθηκε προσφέρει αποτελεσματική και έγκαιρη παροχή θεραπείας, ταχύτερη επεξεργασία και μειωμένο κίνδυνο απώλειας των ιατρικών αρχείων. Μια κεντρική οντότητα (central entity) έχει τον καθοριστικό ρόλο της ανάθεσης καθηκόντων στους ομότιμους κόμβους, ενώ δεν υπάρχουν μηχανισμοί για την κατανεμημένη αποθήκευση και ανάκτηση των δεδομένων. Τέλος, στην εργασία [56] παρουσιάζεται μια προσέγγιση βασισμένη σε πλέγματα (grid-based) που πραγματεύεται ζητήματα παροχής υπηρεσιών τηλεϊατρικής. Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, ένα πλέγμα δεδομένων δημιουργείται μεταξύ των νοσοκομείων, των κινητών μονάδων τηλεϊατρικής και των αγροτικών ιατειρών. Οι συμμετέχοντες οργανισμοί υγειονομικής περίθαλψης σχηματίζουν κλειστές ομάδες ανάλογα με τη γεωγραφική τους εγγύτητα, προκειμένου να μειωθεί ο χρόνος απόκρισης σε επείγοντα ιατρικά συμβάντα. Σε αυτήν την εργασία, το προτεινόμενο δίκτυο διαμορφώνεται μόνο με βάση τα γεωγραφικά κριτήρια και εγκαθίσταται μόνο μεταξύ των δημοσίων θεσμικών οργάνων αγνοώντας τους ανεξάρτητους ιδιωτικούς ιατρικούς και παραϊατρικούς επαγγελματίες του χώρου της υγείας. Επίσης, αποκλείει και τη σύμπραξη των ασθενών.

Οι ερευνητικές εργασίες που περιγράφηκαν προηγουμένως υποδεικνύουν ότι τα δίκτυα ομοτίμων κόμβων μπορούν να υποστηρίξουν αποτελεσματικά εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης. Ωστόσο, πολλές από αυτές επικεντρώνονται σε μια μονοδιάστατη έννοια επίτευξης συνεργασίας και δεν λαμβάνουν υπόψη το γεγονός ότι οι συμμετέχοντες κόμβοι έχουν πολλαπλά ενδιαφέροντα και διαφορετικούς ρόλους στην κοινωνία.

Οι ερευνητικές προσπάθειες έχουν δείξει ότι η δημιουργία υπερκείμενων δικτύων με βάση τα κοινωνικά χαρακτηριστικά βελτιώνει την απόδοση των δικτύων ομοτίμων κόμβων. Το σύστημα P2People [57] παρέχει μια μηχανή αναζήτησης και μια πλατφόρμα συνεργασίας που εκμεταλλεύεται την οργάνωση των κόμβων με βάση τα κοινά τους ενδιαφέροντα. Η έννοια των κοινών ενδιαφερόντων χρησιμοποιείται επίσης στην εργασία [58]

για τη δημιουργία μιας συνεργατικής πλατφόρμας ομοτίμων κόμβων για χρήστες κινητών συσκευών. Η ομαδοποίηση των κόμβων σύμφωνα με τα κοινά τους ενδιαφέροντα αυξάνει την αποτελεσματικότητα των μηχανισμών της αναζήτησης και της ανάκτησης των πληροφοριών από τους ομοτίμους κόμβους. Οι συγγραφείς στην εργασία [59] παρουσιάζουν τα θεωρητικά ευρήματα της έρευνάς τους ερμηνεύοντας τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να επιτευχθεί η επιλογή του κατάλληλου ατόμου μέσα από ένα μικρό αριθμό βημάτων σε ένα δίκτυο κοινωνικής δικτύωσης ομοτίμων κόμβων. Στην εργασία [60], επισημαίνεται ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται αποτελεσματική αναζήτηση πληροφοριών με τη χρήση έξυπνων μηχανισμών που χρησιμοποιούν κοινωνικά κριτήρια καθώς ελαττώνεται το σύνολο των βημάτων που απαιτούνται για την εύρεση της πληροφορίας και βελτιώνεται η απόδοση της αναζήτησης μέσα στο δίκτυο των ομοτίμων κόμβων. Ο SPROUT [61] είναι ένας αλγόριθμος δρομολόγησης ομοτίμων κόμβων που χρησιμοποιεί διασυνδέσεις που βασίζονται σε κοινωνικές αλληλεξαρτήσεις με σκοπό να αυξήσει τον αριθμό των αποτελεσμάτων και να μειώσει τις καθυστερήσεις για την εκτέλεση των ερωτημάτων. Η εργασία [62] παρουσιάζει τον τρόπο με τον οποίο η κατηγοριοποίηση με χρήση των γεωγραφικών κριτηρίων και των κοινών ενδιαφερόντων για το διαμοιρασμό των αρχείων, βελτιώνει τους μηχανισμούς αναζήτησης πληροφοριών χωρίς να απαιτείται η ύπαρξη κεντρικών διακομιστών.

Η αναζήτηση και η ανάκτηση των πληροφοριών παραμένει ένα δύσκολο θέμα για τα αποκεντρωμένα κατανεμημένα δίκτυα, όπως τα δίκτυα ομοτίμων κόμβων. Τα δομημένα υπερκείμενα δίκτυα παρέχουν επεκτασιμότητα, σταθερότητα, ευελξία, ευρωστία και αποτελεσματική αναζήτηση των πληροφοριών, απαραίτητα λειτουργικά χαρακτηριστικά για την ανάπτυξη των συστημάτων παροχής υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης. Παρόλα αυτά, λόγω των περιορισμών των δυνατοτήτων του DHT δεν υποστηρίζουν εγγενώς την αναζήτηση πληροφοριών με πολλαπλά κριτήρια [63] [64]. Τα αδόμητα υπερκείμενα δίκτυα, από την άλλη πλευρά, υποστηρίζουν σύνθετα ερωτήματα μέσα από το φαινόμενο της πλημμύρας μηνυμάτων (flooding), το οποίο έχει αποδειχθεί αναποτελεσματικό για συστήματα μεγάλης κλίμακας [65]. Αυτές τις προκλήσεις πραγματεύεται το παρόν κεφάλαιο.

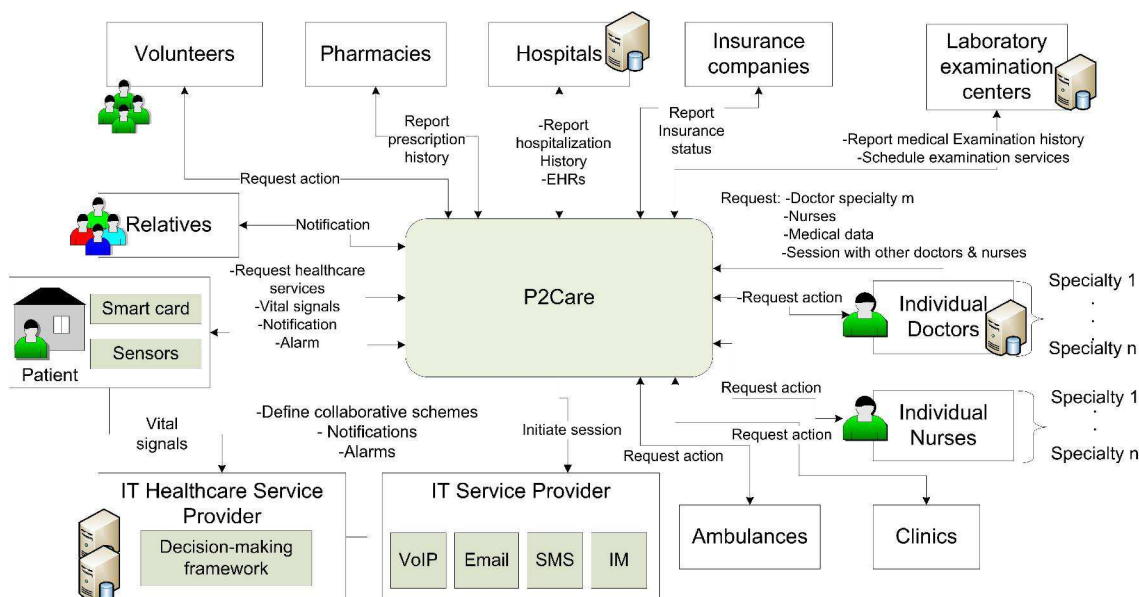
Από τα όσα είναι γνωστά έως τώρα, δεν υπάρχουν άλλες ερευνητικές εργασίες που να καθορίζουν μια αρχιτεκτονική δικτύου στον τομέα της παροχής υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης οι οποίες να εκμεταλλεύονται τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η αρχιτεκτονική των δικτύων ομοτίμων κόμβων και να ενσωματώνουν χαρακτηριστικά των δικτύων κοινωνικής δικτύωσης με στόχο την παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών υγείας με βάση τις τρέχουσες ανάγκες των ασθενών. Η αρχιτεκτονική που προτείνεται στην παρούσα διατριβή, ενσωματώνει μηχανισμούς εμπνευσμένους από τη λειτουργία των δικτύων κοινωνικής δικτύωσης για την οργάνωση των ασθενών, του ιατρικού και παραϊατρικού προσωπικού σε ομάδες ανάλογα με τους κοινούς ρόλους, τις ειδικότητες και τη γεωγραφική θέση στην οποία ανήκουν. Παράλληλα προτείνεται η λειτουργία ενός υπερκείμενου δικτύου για επείγοντα περιστατικά που περιορίζει τον αριθμό των μεταβάσεων για την έγκαιρη και αποτελεσματική αναζήτηση των κατάλληλων δεδομένων και οντοτήτων μειώνοντας περαιτέρω το χρόνο απόκρισης και τον αριθμό των μηνυμάτων που πρόκειται να σταλούν για την επιτυχή ανάκτηση της επιθυμητής πληροφορίας. Επιπλέον, εισάγει ένα υβριδικό καινοτόμο μηχανισμό που υποστηρίζει την αναζήτηση πληροφοριών με πολλαπλά κριτήρια στα δομημένα δίκτυα ομοτίμων κόμβων αξιοποιώντας τη λειτουργικότητα του DHT και την υπάρχουσα δομή του υπερκείμενου δικτύου για την ασφαλή διαχείριση και διατήρηση του δικτύου επιτρέποντας αποτελεσματική αναζήτηση πληροφοριών.

### **3.3 Η αρχιτεκτονική του δικτύου P2Care**

#### **3.3.1 Επισκόπηση του δικτύου P2Care**

Ο κύριος στόχος του δικτύου P2Care είναι η παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών υγείας μέσα από ένα συνεργατικό σχήμα μεταξύ των ενδιαφερόμενων εμπλεκόμενων οντοτήτων (stakeholder) που λαμβάνουν μέρος στο σύστημα της υγειονομικής περίθαλψης. Οι ενδιαφερόμενες εμπλεκόμενες οντότητες (stakeholder) λειτουργούν ταυτόχρονα και ως καταναλωτές και ως πάροχοι των πληροφοριών και των φυσικών πόρων με σκοπό την παροχή και τη λήψη των υπηρεσιών. Ως ενδιαφερόμενες εμπλεκόμενες οντότητες (stakeholder) θεωρούμε το ιατρικό και παραϊατρικό προσωπικό όπως είναι για παράδειγμα οι ιατροί, οι νοσηλεύτες, τα φαρμακεία, οι εθελοντές. κ.α.

Το δίκτυο P2Care επιτρέπει την αποδοτική συνεργασία, υποστηρίζοντας πολλαπλές και σύνθετες μορφές αλληλεπιδράσεων μεταξύ πολλαπλών εμπλεκόμενων φορέων για την κατάλληλη εξατομικευμένη παροχή υπηρεσιών, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1.



**Σχήμα 3.1:** Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ πολλών παρόχων του δικτύου P2Care.

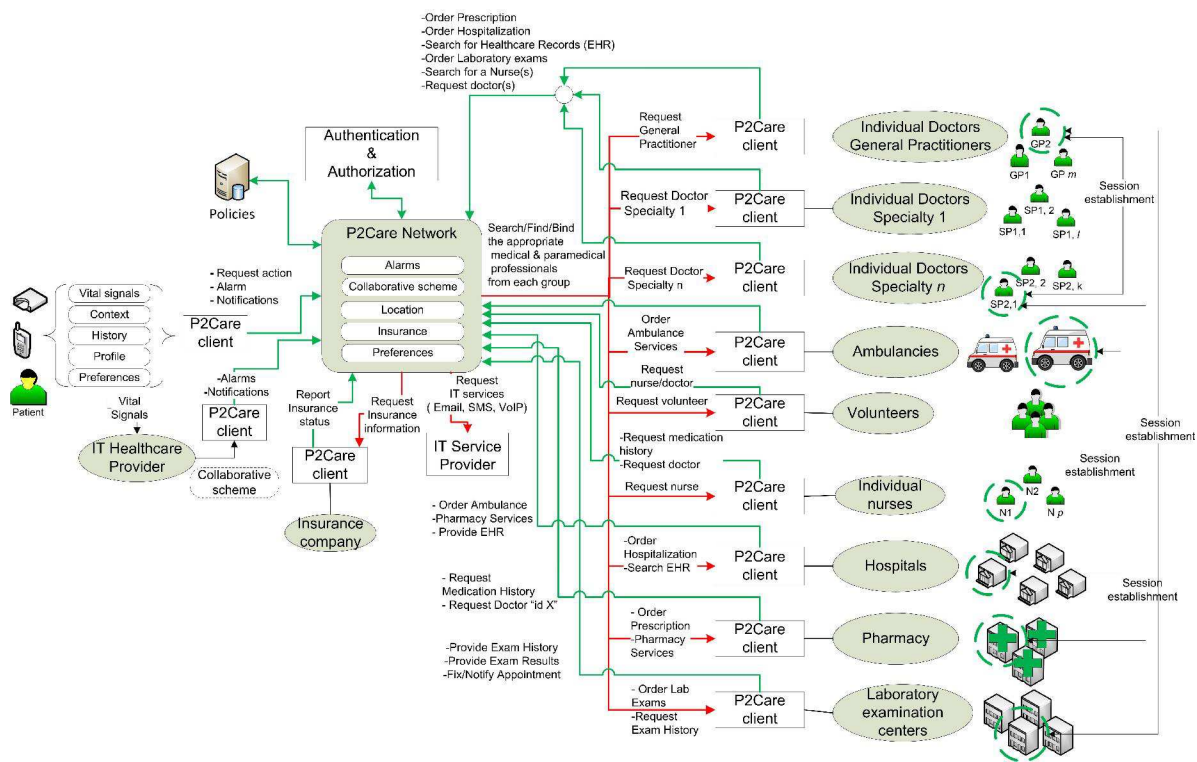
Οι ασθενείς μπορούν να έχουν πρόσβαση στο δίκτυο P2Care μέσω μιας φιλικής προς αυτούς διεπαφής που χρησιμοποιείται για την ανάκτηση πληροφοριών και για την σύσταση καναλιών επικοινωνίας με το ιατρικό και παραϊατρικό προσωπικό. Σύμφωνα με τα κριτήρια που τίθενται από τον ασθενή, το δίκτυο P2Care βρίσκει και προωθεί τα αιτήματα στον αρμόδιο φορέα κατά περίπτωση. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι ο ασθενής βρίσκεται στο σπίτι του και αιτείται να βρει ένα φαρμακείο στη γεωγραφική θέση που ανήκει. Ο ασθενής αλληλεπιδρά με το δίκτυο P2Care και διαβιβάζει το αίτημά του συμπληρώνοντας μια φόρμα σε μια εφαρμογή Υπηρεσιών Ιστού που αντιστοιχεί στα προκαθορισμένα κριτήρια, όπως η διεύθυνση, το όνομα, η κοινωνική του ασφάλιση, η τοποθεσία, οι προτιμήσεις, κλπ. Το δίκτυο P2Care ανταποκρίνεται σε αυτό το αίτημα, παρέχοντας την πληροφορία με το φαρμακείο που ικανοποιεί αυτά τα κριτήρια.

Ωστόσο, η πολυπλοκότητα της παροχής υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης που υποστηρίζει το δίκτυο P2Care δεν περιορίζεται στην αναζήτηση, επεξεργασία και ανάκτηση των πληροφοριών. Το δίκτυο P2Care υποστηρίζει αποτελεσματικά πιο σύνθετες και πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις επιτρέποντας την αυτόματη ροή πληροφοριών που δεν ζητήθηκε άμεσα από τους εμπλεκόμενους φορείς, προκειμένου να προβλέψει και να αντιμετωπίσει επεισόδια παροξύνσεων (exacerbations) της κλινικής εικόνας του ασθενούς που θέτουν τη ζωή του σε κίνδυνο.

Στον τομέα της παροχής υπηρεσιών υγείας είναι σύνηθες φαινόμενο οι ασθενείς που πάσχουν από χρόνιες ασθένειες να είναι εγγεγραμμένοι σε έναν ή περισσότερους παρόχους υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης για τη λήψη υπηρεσιών απομακρυσμένης παρακολούθησης (telemonitoring). Στην περίπτωση αυτή, τα βιοσήματα που έχουν συλλεχθεί από τους αισθητήρες, επεξεργάζονται και αξιολογούνται με τη χρήση ενός πλαισίου λήψης αποφάσεων (decision support framework) προκειμένου να αξιολογηθεί η τρέχουσα κατάσταση της υγείας του ασθενούς. Το αποτέλεσμα της αξιολόγησης που προέκυψε από το πλαίσιο λήψης αποφάσεων (όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 2, δηλαδή με χρήση των πλαισίων u-MCHC και Ef-Zin) ενεργοποιεί (trigger) το δίκτυο P2Care με στόχο την αναζήτηση και την εύρεση των κατάλληλων διαθέσιμων οντοτήτων του ιατρικού και παραϊατρικού προσωπικού, σύμφωνα με το σχήμα θεραπείας που προτείνεται από το πλαίσιο λήψης αποφάσεων. Η απόφαση για τους συμμετέχοντες στο σχήμα συνεργασίας λαμβάνεται από το δίκτυο P2Care σύμφωνα με την αξιολόγηση των προτιμήσεων του ασθενούς και τη διαθεσιμότητα των προτιμώμενων οντοτήτων του ιατρικού και παραϊατρικού προσωπικού που εξήχθησαν από το προφίλ του ασθενούς.

Στην περίπτωση που ο προσωπικός ιατρός του ασθενούς δεν είναι διαθέσιμος, το δίκτυο P2Care εξουσιοδοτείται να αναζητήσει αυτόματα έναν άλλο γενικό ιατρό ανάλογα με τις προτιμήσεις του ασθενούς που είναι αποθηκευμένες στο συγκείμενο του ασθενούς. Αν δεν υπάρχει αποθηκευμένη αυτή η πληροφορία, το δίκτυο P2Care εκτελεί μια αναζήτηση με πολλαπλά κριτήρια τα οποία μπορεί να περιέχουν πληροφορίες σχετικές με την κοινωνική ασφάλιση και τη γεωγραφική θέση του ασθενούς, ώστε να παράσχει αυτόματα υπηρεσίες τηλεδιάσκεψης με τον πρώτο διαθέσιμο ιατρό που πληρεί τα προαναφερθέντα κριτήρια.

Μία σύνοδος επικοινωνίας (session) εγκαθίσταται μεταξύ της συνεργατικής ομάδας του ιατρικού και παραϊατρικού προσωπικού που δημιουργήθηκε μέσω του δικτύου P2Care. Κάθε ένας από τους συμμετέχοντες στο συνεργατικό σύστημα υγειονομικής περίθαλψης είναι σε θέση να ζητήσει ένα σύνολο από διεργασίες έτσι ώστε να παρασχεθούν στον ασθενή υψηλής ποιότητας υπηρεσίες υγείας επιλέγοντας την καλύτερη δυνατή θεραπευτική αγωγή με βάση τις ανάγκες, το ιατρικό ιστορικό και το προφίλ του ασθενούς. Το δίκτυο P2Care διαχειρίζεται όλες αυτές τις αλληλεπιδράσεις που αναφέρθηκαν ανωτέρω όπως παρουσιάζεται μέσα από ένα γενικευμένο πλαίσιο ροής της πληροφορίας που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.2.



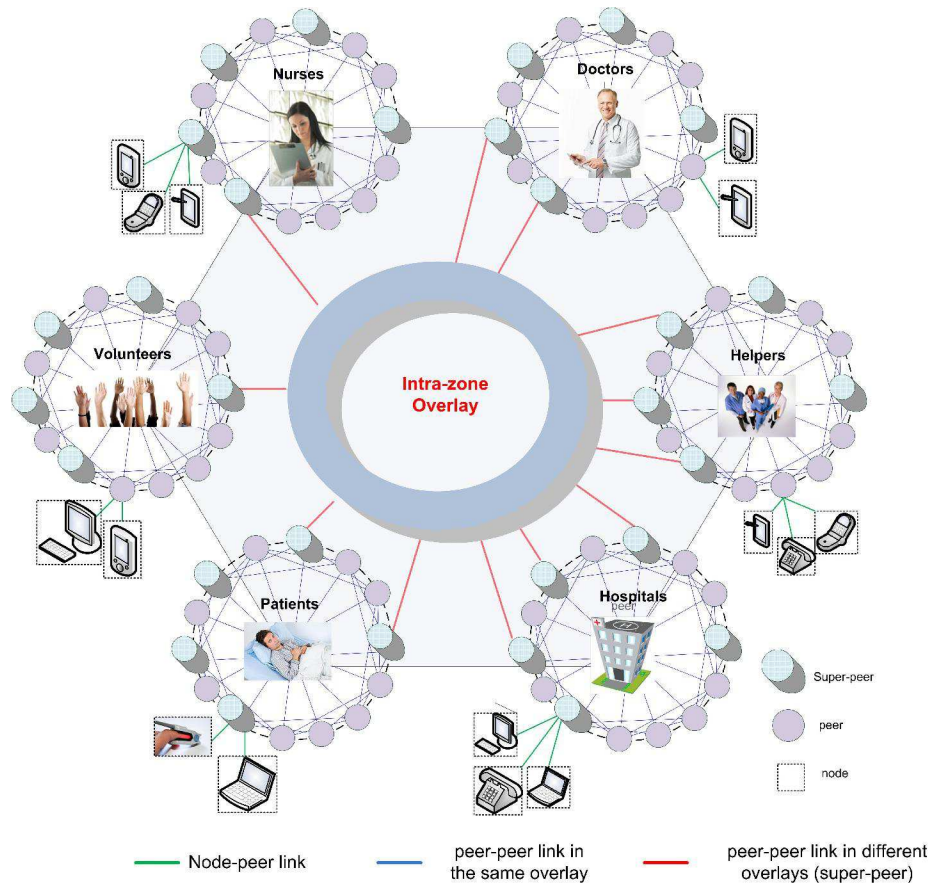
Σχήμα 3.2: Γενικευμένο διάγραμμα ροής πληροφοριών.

### 3.3.2 Διάρθρωση του δικτύου P2Care βασικής λειτουργίας (daily regular use)

Το δίκτυο P2Care αποτελεί μια συνεργατική πλατφόρμα αναπτυγμένη πάνω από ένα ιεραρχικό δομημένο υπερκείμενο δίκτυο ομοτίμων κόμβων. Υιοθετεί το πρότυπο κατηγοριοποίησης σε ομάδες (clustering) με τρόπο πανομοιότυπο με τα δίκτυα κοινωνικής δικτύωσης, με σκοπό να οργανώσει τους χρήστες (επαγγελματίες του χώρου της υγείας, παραϊατρικούς επαγγελματίες και ασθενείς) σε ομάδες με κοινά χαρακτηριστικά. Η ιεραρχική δομή του δικτύου P2Care παρέχει έναν ευέλικτο και επεκτάσιμο τρόπο αλληλεπίδρασης και επικοινωνίας μεταξύ των προαναφερθέντων ομάδων χρηστών. Με βάση την κατηγοριοποίηση σε ομάδες, η αναζήτηση πληροφοριών εκτελείται με μικρό χρόνο απόκρισης και αυξάνεται η πιθανότητα ανάκτησης σπάνιων πληροφοριών. Κατά συνέπεια, η δρομολόγηση στο εσωτερικό του δικτύου είναι πιο αποτελεσματική και βελτιώνεται η ποιότητα της παροχής των υπηρεσιών.

Στην προσέγγιση που έγινε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, οι ομάδες χρηστών του δικτύου P2Care διαιρούνται περαιτέρω και κατηγοριοποιούνται σε υπερκείμενα δίκτυα (overlays). Οι κόμβοι (peers) που βρίσκονται μέσα σε μια κοινή γεωγραφική ζώνη δημιουργούν υπο-ομάδες από υπερκείμενα δίκτυα (sub-overlays) με βάση τα κοινά τους χαρακτηριστικά, όπως είναι ο ρόλος τους (π.χ. ιατροί, νοσηλευτές, νοσοκομεία, φαρμακεία, ασθενείς, εθελοντές, κ.λπ.), η εξειδίκευσή τους (ιατροί, νοσηλευτές με διαφορετική ειδικότητα), οργανισμοί (νοσοκομεία, κλινικές, κέντρα φροντίδας) και τα ενδιαφέροντα που έχουν (ασθενείς που πάσχουν από διαφορετικές χρόνιες παθήσεις και επιθυμούν να λάβουν εξατομικευμένη θεραπεία). Ένας κόμβος μπορεί να συνδεθεί στο υπερκείμενο δίκτυο μέσα από μια ποικιλία συσκευών, που ονομάζονται κόμβοι *nodes* (π.χ. smartphones, προσωπικοί υπολογιστές, φορητοί υπολογιστές, PDAs, αισθητήρες, βιο-αισθητήρες, κλπ). Οι κόμβοι με αυξημένες υπολογιστικές δυνατότητες και πόρους δικτύου, ονομάζονται *super-peers*, είναι υπεύθυνοι για την εγκαθίδρυση επικοινωνίας και διαχείρισης των αιτημάτων μεταξύ των κόμβων που ανήκουν σε διαφορετικές ομάδες προκειμένου να παράσχουν λειτουργίες εξισορρόπησης φορτίου (load balancing) και παρακολούθησης του δικτύου. Προσωρινές αποσυνδέσεις που προκύπτουν από τη δυναμική

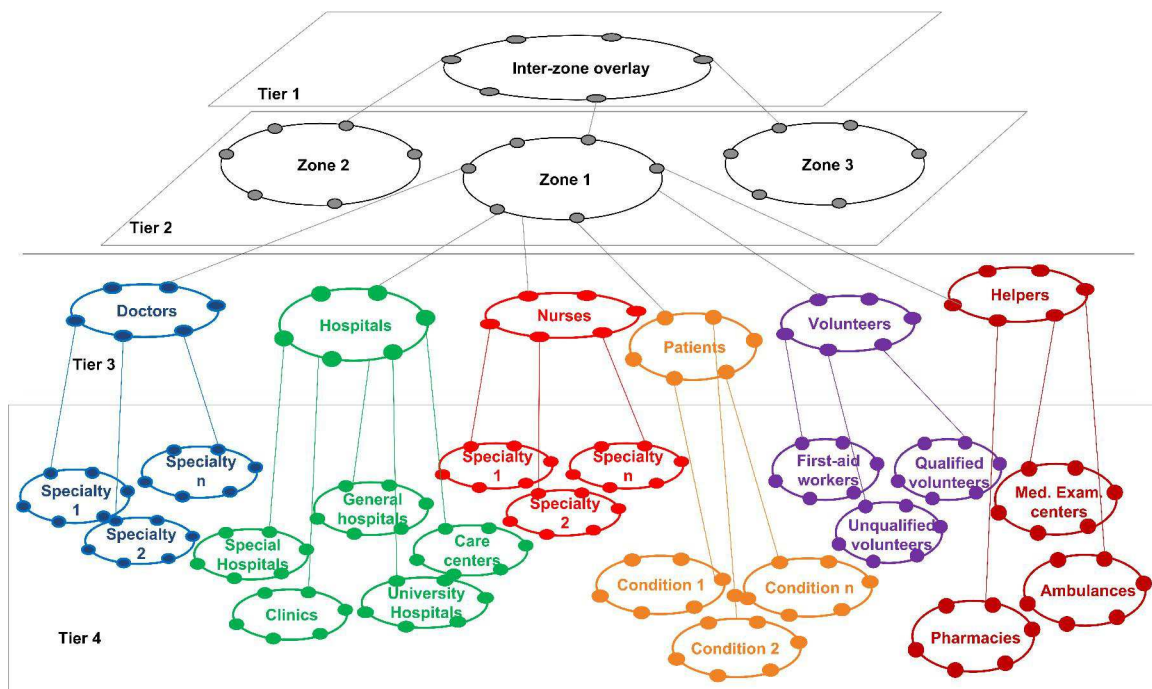
φύση των κόμβων καθώς εισέρχονται ή εξέρχονται από το δίκτυο δεν δημιουργούν μοναδιαία σημεία αποτυχιών (single points of failure) και εξυπηρετούνται από τους super-peers με μηχανισμούς ανάκαμψης στο εσωτερικό ενός υπερκείμενου δικτύου. Το Σχήμα 3.3 παρουσιάζει τη δομή του P2Care δικτύου που χρησιμοποιείται στα πλαίσια της βασικής - καθημερινής λειτουργίας.



Σχήμα 3.3: Η δομή του δικτύου P2Care.

Το δίκτυο P2Care αποτελείται από πολλαπλά επίπεδα ή βαθμίδες (*tiers*). Στην παρούσα διατριβή ορίστηκαν τέσσερα διακριτά επίπεδα που προσεγγίζουν τις διαφορετικές ανάγκες του συστήματος υγειονομικής περίθαλψης. Κάθε ένα από αυτά περιλαμβάνει ανεξάρτητα σύνολα από υπερκείμενα δίκτυα που παρέχουν: (i) μια σειρά από λογικές συνδέσεις μεταξύ των εμπλεκόμενων οντοτήτων (π.χ άτομα ή φορείς), (ii) έναν κατακευκτισμένο μηχανισμό αποθήκευσης και (iii) λειτουργίες δρομολόγησης του υπερκείμενου δικτύου.

Το σχήμα 3.4 παρουσιάζει την ιεραρχική δομή του δικτύου P2Care που χαρακτηρίζεται από πολλαπλές διακριτές και ανεξάρτητες βαθμίδες και υπερκείμενα δίκτυα.



Σχήμα 3.4: Η ιεραρχική δομή του δικτύου P2Care.

Η βαθμίδα 3 (Tier 3) περιλαμβάνει βασικές κατηγορίες των φροντιστών υγείας οι οποίοι είναι οργανωμένοι σε ξεχωριστά υπερκείμενα δίκτυα ανάλογα με το διακριτό ρόλο που διαδραματίζουν στον τομέα της παροχής υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης. Αυτές οι κατηγορίες περιλαμβάνουν: α) τους ασθενείς, β) τα νοσοκομεία, γ) τους ιατρούς, δ) τους νοσηλευτές, ε) τους βοηθούς και στ) τους εθελοντές. Αυτά τα υπερκείμενα δίκτυα διαιρούνται περαιτέρω σε υπο-ομάδες (Tier 4) όπου οι κόμβοι έχουν τον ίδιο ρόλο, αλλά διαφέρουν ως προς (α) την εξειδίκευση (σε ότι αφορά τους φροντιστές) ή (β) την πάθηση (σε ότι αφορά τους ασθενείς). Σε κάποιους κόμβους από κάθε εξειδικευμένο τομέα ανατίθεται ο ρόλος του super-peer (υπερ-κόμβου) στη βαθμίδα 4 και αποτελούν τους κόμβους από τους οποίους σχηματίζεται το υπερκείμενο δίκτυο της βαθμίδας 3.

Για παράδειγμα, το υπερκείμενο δίκτυο των ιδιωτών ιατρών (Tier 3) αποτελείται από πολλά επιμέρους υπερκείμενα δίκτυα (Tier 4) ανάλογα με την περιοχή εξειδίκευσης, όπως

για παράδειγμα παθολόγους, καρδιολόγους, πνευμονολόγους, κλπ ιατρούς. Αυτή η μορφή κατηγοριοποίησης επιτρέπει: (α) οι ασθενείς να αναζητούν ιατρούς αποτελεσματικά, (β) οι ιατροί να παραπέμπουν τους ασθενείς σε άλλους ιατρούς κυρίως στην περίπτωση που υπάρχουν συνοδά ή πολλαπλά νοσήματα όπου εξειδικευμένοι ιατροί από διαφορετικούς επιστημονικούς τομείς θα πρέπει να συνεργαστούν για την αποτελεσματική διαχείριση της θεραπείας και της χορήγησης φαρμακευτικών σκευασμάτων στον ασθενή και (γ) οι ιατροί να παραπέμπουν τους ασθενείς σε άλλες ομάδες φροντίδας όπως τα νοσοκομεία και τα κέντρα εργαστηριακών εξετάσεων για νοσηλεία ή εκτέλεση περαιτέρω ιατρικών εξετάσεων αντίστοιχα.

Το υπερκείμενο δίκτυο των νοσοκομείων διαιρείται στα επιμέρους υπερκείμενα δίκτυα των: α) γενικών νοσοκομείων, β) εξειδικευμένων νοσοκομείων, γ) πανεπιστημιακών νοσοκομείων, δ) στις κλινικές και ε) στα κέντρα υγείας. Στα υπερκείμενα δίκτυα των νοσοκομείων, το ιατρικό και παραϊατρικό προσωπικό συνδέονται ως προσωρινοί κόμβοι (nodes) και όχι ως ομότιμοι κόμβοι (peers) στα αντίστοιχα υπερκείμενα δίκτυα που καθένας ανήκει, δεδομένου ότι είναι διαθέσιμοι για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, μέσω των οργανισμών αυτών. Επιπλέον, ο ρόλος τους περιορίζεται στην σύσταση και παροχή βοήθειας σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης ή ενεργούν ως σύμβουλοι σε περίπτωση που τους ζητηθεί από κάποιον άλλο τομέα ή οργανισμό. Κάθε νοσοκομειακή μονάδα αποτελεί ανεξάρτητο όργανο και έχει τη δικαιοδοσία και εξουσιοδότηση να διαχειρίζεται εσωτερικά τους ανθρώπινους πόρους από τους οποίους αποτελείται με τον τρόπο που η ίδια ορίζει και θεωρεί βέλτιστο.

Ομοίως με τα προαναφερθέντα υπερκείμενα δίκτυα σχηματίζονται και τα ακόλουθα υπερκείμενα δίκτυα των νοσηλευτών, των εθελοντών, των βοηθών καθώς και τα επιμέρους υπερκείμενα δίκτυά τους (sub-overlays). Το υπερκείμενο δίκτυο των εθελοντών περιλαμβάνει τους εργαζομένους στις πρώτες βοήθειες, εξειδικευμένους και ανειδίκευτους εθελοντές. Τέλος, το υπερκείμενο δίκτυο των βοηθών περιλαμβάνει τους παραϊατρικούς παρόχους υγείας (δηλαδή τα φαρμακεία, τα ασθενοφόρα και τα κέντρα εργαστηριακών εξετάσεων) που επικουρούν τους επαγγελματίες του τομέα της υγείας.

Το υπερκείμενο δίκτυο των ασθενών διαιρείται στα επιμέρους υπερκείμενα δίκτυα (sub-overlays) σύμφωνα με τους διαφορετικούς τύπους ασθενειών (χρόνιες παθήσεις). Οι

ασθενείς με την ίδια πάθηση οργανώνονται στο ίδιο υπερκείμενο δίκτυο προκειμένου να: (α) ενημερωθούν και να ανταλλάζουν απόψεις σχετικά με τους διαθέσιμους εξειδικευμένους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης και (β) διαμοιράσουν πληροφορίες σχετικά με τους παραϊατρικούς παρόχους και βοηθούς που παρέχουν εξειδικευμένα φάρμακα (π.χ. ομοιοπαθητικά, φυτικά, κ.α.), εξοπλισμό κατάλληλο για την ασθένειά τους ή παρέχουν ειδικές προσφορές και εκπτώσεις.

Το δεύτερο επίπεδο της ιεραρχίας (Tier 2) αποτελείται από υπερκείμενα δίκτυα που ανήκουν σε διαφορετικές γεωγραφικές ζώνες επικάλυψης (zone). Ένα υπερκείμενο δίκτυο μιας γεωγραφικής ζώνης αποτελείται από τους υπερ-κόμβους (super-peers) του Tier 3 και είναι υπεύθυνο για τη διασύνδεση των υπερ-κόμβων (super-peers) από τις διαφορετικές ομάδες στην ίδια γεωγραφική περιοχή, όπως για παράδειγμα διασυνδέει τους ιατρούς με τις νοσοκόμες, τα νοσοκομεία με τα ασθενοφόρα και τις υπηρεσίες πρώτων βοηθειών, τους γιατρούς με τα κέντρα εργαστηριακών εξετάσεων, κ.λ.π. Στην κορυφή του δικτύου P2Care (Tier 1), βρίσκεται ένα υπερδίκτυο υπερκειμένων δικτύων (hyper-overlay) το οποίο συνδέει διαφορετικά υπερκείμενα δίκτυα που ανήκουν σε διαφορετικές γεωγραφικές ζώνες επικάλυψης. Η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων που ανήκουν σε διαφορετικές γεωγραφικές ζώνες είναι απαραίτητη σε πολλές περιπτώσεις. Για παράδειγμα, ένας ασθενής μπορεί να ζητήσει ιατρική συμβουλή από ένα εξειδικευμένο νοσοκομείο για συγκεκριμένη πάθηση σε διαφορετική γεωγραφική ζώνη σε περίπτωση που δεν υπάρχει αντίστοιχο στην γεωγραφική περιοχή του ή δεν εφημερεύει.

Η ύπαρξη πολλών υπερ-κόμβων (super-peers) σε κάθε υπερκείμενο δίκτυο αποτελεί έναν άμεσο μηχανισμό ανάκαμψης (backup mechanism) από σφάλματα που μπορεί να συμβούν και εξασφαλίζει ότι τα διαφορετικά υπερκείμενα δίκτυα δεν θα αποσυνδεθούν έπειτα από αστοχίες που μπορεί να οφείλονται στην συνδεσιμότητα του κάθε κόμβου ξεχωριστά. Η ύπαρξη πολλών υπερ-κόμβων (super-peers) διασφαλίζει ότι η δομή του υπερκειμένου δικτύου θα παραμείνει σταθερή και θα παράσχει τις απαραίτητες λειτουργίες για την αναζήτηση και ανάκτηση των πληροφοριών. Τούτο επί της ουσίας σημαίνει ότι εάν ένας υπερ-κόμβος (super-peer) αποτύχει να συνδεθεί ή να στείλει τα ερωτήματα προς τα άλλα υπερκείμενα δίκτυα, τα ερωτήματα δρομολογούνται και αποστέλλονται διαμέσου των υπολοίπων υπερ-κόμβων (super-peers) χωρίς να απορρίπτονται. Σε κάθε υπερκείμενο

δίκτυο, ένας αφιερωμένος (dedicated) ομότιμος κόμβος που ονομάζεται *Bootstrap*, είναι υπεύθυνος για τη διατήρηση της δομής του υπερκείμενου δικτύου, παρέχοντας τις διαθέσιμες ελεύθερες θέσεις για τη δέσμευση και τη σύνδεση των κόμβων κατά την εισαγωγή τους στο δίκτυο ή διατηρεί πληροφορίες για την κατάσταση του κάθε κόμβου του υπερκείμενου δικτύου ενημερώνοντας τους εμπλεκόμενους κόμβους για τις αποσυνδέσεις που συμβαίνουν. Ο *Bootstrap* είναι μια αξιόπιστη οντότητα που εξασφαλίζει την ασφάλεια του δικτύου και τηρεί τους κανόνες πολιτικής ενάντια στις εξωτερικές επιθέσεις ή στις κακόβουλες δραστηριότητες των συμμετεχόντων.

### **3.3.3 Διάρθρωση του δικτύου P2Care σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης (emergency case)**

Οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης χρήζουν άμεσης ενεργοποίησης και διευθέτησης των επειγόντων περιστατικών διότι θέτουν σε κίνδυνο τη ζωή των ασθενών ιδίως όσων διατρέχουν υψηλό κίνδυνο (high severity level) εμφάνισης παροξύνσεων, αυξάνουν το ποσοστό θνησιμότητας και το κόστος της παροχής υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης, λόγω της νοσηλείας των ασθενών για μεγάλο χρονικό διάστημα στο νοσοκομείο. Ως εκ τούτου, έχουν υψηλή προτεραιότητα στο σύστημα υγειονομικής περίθαλψης και απαιτούν την άμεση και έγκαιρη απόκριση σε ερωτήματα που τίθενται για αναζήτηση δεδομένων και φυσικών πόρων.

Για την αντιμετώπιση των ανοιχτών αυτών ερευνητικών ζητημάτων που προκύπτουν στα πλαίσια της παροχής εξ' αποστάσεως υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης, στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, προτάθηκε η παράλληλη λειτουργία ενός υπερκείμενου δικτύου έκτακτης ανάγκης αποτελούμενο από όλους τους *Bootstrap* όλων των ομάδων. Το υπερκείμενο δίκτυο των *Bootstrap* βασίζεται στις αρχές, τη λειτουργία και τη δομή του P2Care δικτύου με σκοπό να λειτουργεί παράλληλα και συμπληρωματικά με το δίκτυο P2Care σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης με σκοπό να δρομολογεί ακόμα πιο άμεσα και αποτελεσματικά τα ερωτήματα στο αντίστοιχο υπερκείμενο δίκτυο παρακάμπτοντας προσωρινά την ιεραρχική δομή των ενδιάμεσων υπερ-κόμβων (super-peers) πολλαπλών επιπέδων με τις τέσσερις βαθμίδες και ορίζοντας δύο επίπεδα ιεραρχίας.

Το μοντέλο λειτουργίας σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης αποτελείται από δύο επίπεδα ιεραρχίας αποτελούμενα από ομότιμους κόμβους (peers), υπερ-κόμβους (super-peers) και τους Bootstrap κόμβους. Οι Bootstrap κόμβοι έχουν τον κύριο ρόλο όχι μόνο στη διαχείριση αλλά και στη λειτουργία του συστήματος και ενεργούν ως super-peers με αυξημένες αρμοδιότητες. Αυτό δεν συνεπάγεται ότι απουσιάζει η λειτουργία των υπερ-κόμβων (super-peers). Οι υπερ-κόμβοι (super-peers) είναι υπεύθυνοι να διαβιβάζουν τα αιτήματα από τους ομότιμους κόμβους στον Bootstrap κόμβο του υπερκείμενου δικτύου στον οποίο ανήκουν έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η μεταφορά και αποστολή των αιτημάτων και των δεδομένων με ασφαλή τρόπο δεδομένου ότι τα δεδομένα περιέχουν ευαίσθητες ιατρικές πληροφορίες. Επιπλέον, οι υπερ-κόμβοι (super-peers) επιβεβαιώνουν ότι ο αιτών ομότιμος κόμβος είναι εξουσιοδοτημένος χρήστης και έχει τη δικαιοδοσία να ανακτήσει τις πληροφορίες σύμφωνα με τις πολιτικές ορθής χρήσης των δεδομένων και τους κανόνες προστασίας της ιδιωτικότητας των πολιτών.

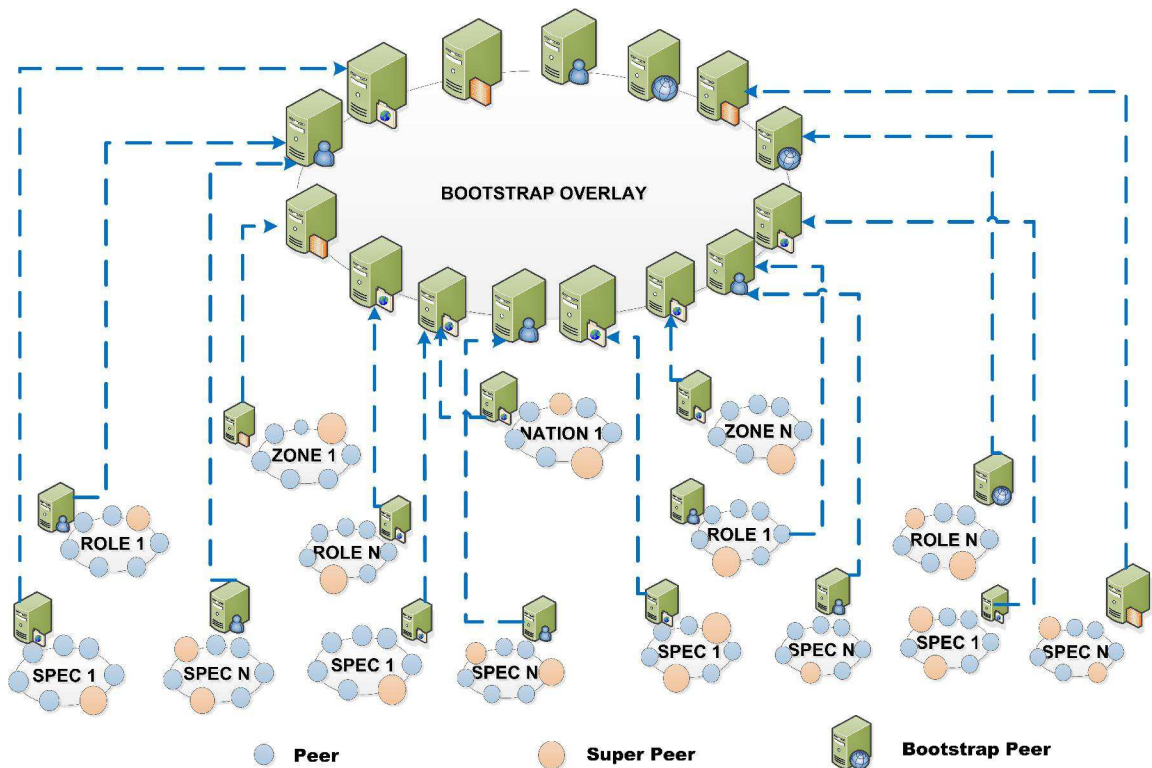
Όπως αναφέρθηκε και στο μοντέλο της βασικής λειτουργίας του δικτύου P2Care, το πρώτο επίπεδο (Tier 1) αποτελείται από τα υπερκείμενα δίκτυα του χαμηλότερου επιπέδου της ιεραρχίας τα οποία κατηγοριοποιούνται σε ομάδες ανάλογα με την περιοχή εξειδίκευσης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν: (α) τα υπερκείμενα δίκτυα των ασθενών οργανωμένα με βάση τις διαφορετικές παθήσεις, (β) τα υπερκείμενα δίκτυα των ιατρών που έχουν διαφορετική εξειδίκευση όπως για παράδειγμα οικογενειακοί ιατροί, γενικοί παθολόγοι, καρδιολόγοι, κ.α., (γ) τα υπερκείμενα δίκτυα των νοσηλευτών με διαφορετική εξειδίκευση, (δ) ένα σύνολο από υπερκείμενα δίκτυα από οργανισμούς που παρέχουν υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης, δηλαδή νοσοκομεία, κέντρα υγείας, κλινικές, (ε) τα υπερκείμενα δίκτυα των παρόχων παραϊατρικών υπηρεσιών αποτελούμενα από τα υπερκείμενα δίκτυα των φαρμακείων, των κέντρων που διεξάγονται ιατρικές εξετάσεις, των παρόχων που προσφέρουν υπηρεσίες μεταφοράς με ασθενοφόρα, κ.τ.λ. Για κάθε υπερκείμενο δίκτυο παρέχεται ένα σύνολο από υπερ-κόμβους (super-peers) οι οποίοι υποστηρίζουν την επικοινωνία μεταξύ των διαφορετικών ομάδων (cluster). Για κάθε ένα από αυτά τα υπερκείμενα δίκτυα υπάρχει ένα σύνολο από Bootstrap κόμβους.

Οι Bootstrap κόμβοι από κάθε ένα υπερκείμενο δίκτυο στην πρώτη ιεραρχική βαθμίδα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, συνθέτουν τη δεύτερη βαθμίδα της ιεραρχίας (Tier 2), η

οποία απεικονίζεται στο Σχήμα 3.5. Οι Bootstrap κόμβοι δημιουργούν μεταξύ τους ένα αφιερωμένο, αποκλειστικό (dedicated) δομημένο υπερκείμενο δίκτυο (structured overlay) στο οποίο κάθε Bootstrap κόμβος έχει τη δυνατότητα να ξεκινήσει ένα αίτημα για αναζήτηση δεδομένων και φυσικών πόρων του συστήματος διαδίδοντας ένα ερώτημα με σκοπό να βρεί τον αρμόδιο Bootstrap κόμβο, ανάλογα με το που απευθύνεται το περιεχόμενο του αιτήματος (συστήματα υγείας (ανά κράτος), ζώνη, ρόλος και εξειδίκευση), και να αναζητήσει άμεσα από το αρμόδιο υπερκείμενο δίκτυο την πληροφορία. Ο Bootstrap κόμβος που ικανοποιεί τις απαιτήσεις του αιτήματος προωθεί περαιτέρω το ερώτημα στους δικούς του υπερ-κόμβους (super-peers) του υπερκείμενου δικτύου στην πρώτη βαθμίδα (Tier 1), έτσι ώστε να διαδοθεί το ερώτημα και να ανακτήσει τις αποθηκευμένες πληροφορίες. Η απάντηση διαβιβάζεται στον αρχικό αιτούντα υπερ-κόμβο (super-peer) που ζήτησε την πληροφορία και η απάντηση προωθείται μέσω της αντίστροφης πορείας στον κόμβο ο οποίος ξεκίνησε τη διαδικασία αναζήτησης. Ο κόμβος που ξεκίνησε τη διαδικασία αναζήτησης ενημερώνεται απευθείας από τον υπερ-κόμβο (super-peer) του υπερκείμενου δικτύου στο οποίο ανήκει.

Αυτό το ιεραρχικό μοντέλο δύο επιπέδων που βασίζεται στη λειτουργία των Bootstrap κόμβων ενσωματώνει τα οφέλη του βασικού μοντέλου λειτουργίας του δικτύου P2Care των τεσσάρων επιπέδων δηλαδή προσφέρει αποτελεσματικούς μηχανισμούς αναζήτησης πληροφοριών με μικρό χρόνο ανταπόκρισης, σταθερότητα και επεκτασιμότητα. Εντούτοις, η παράλειψη των ενδιάμεσων βαθμίδων μετάβασης για την δρομολόγηση των αιτημάτων μέσω των υπερ-κόμβων (super-peers) παρέχει έναν αξιοσημείωτο μικρό χρόνο απόκρισης που είναι ζωτικής σημασίας για τη διαχείριση του ασθενούς. Επιπροσθέτως, μειώνει τον αριθμό των ερωτήσεων και των μεταβάσεων (hops) μέχρι την πρώτη επιτυχημένη ανίχνευση και ανάκτηση των ζητούμενων πληροφοριών.

Παρόλο που το ιεραρχικό μοντέλο των δύο επιπέδων φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματικό στη δρομολόγηση των μηνυμάτων και επιτρέπει ανάκτηση δεδομένων με χαμηλό χρόνο απόκρισης, δεν συνιστάται ως αυτόνομη λύση για τα δίκτυα μεγάλης κλίμακας, όπως τα δίκτυα παροχής υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι Bootstrap κόμβοι είναι υπεύθυνοι για τη διατήρηση της σταθερότητας και της ασφάλειας της δομής του υπερκείμενου δικτύου και για το λόγο αυτό δεν θα πρέπει να



Σχήμα 3.5: Η ιεραρχική δομή του δικτύου P2Care σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

επιβαρύνονται με λειτουργίες αναζήτησης. Αν και η ιεραρχική αρχιτεκτονική των δύο επιπέδων που προτάθηκε δεν αυξάνει σημαντικά το φορτίο της κίνησης (traffic load), εάν χρησιμοποιηθεί ως βασική αρχιτεκτονική για γενικούς σκοπούς, θα δημιουργήσει ένα αρκετά ασταθές δίκτυο. Αυτός είναι και ο λόγος που προτάθηκε να λειτουργεί παράλληλα με το βασικό μοντέλο του δικτύου P2Care μόνο σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης που υπάρχει έντονη ανάγκη για επικοινωνία, παροχή υπηρεσιών και αναζήτηση δεδομένων και διαθέσιμων φυσικών πόρων.

### 3.4 Υλοποίηση του δικτύου P2Care

#### 3.4.0.1 Ασφάλεια

Το δίκτυο P2Care διαθέτει μηχανισμούς ασφαλείας που βασίζονται στην παροχή ψηφιακών πιστοποιητικών με τη χρήση συμμετρικής και ασύμμετρης κρυπτογραφίας. Για

να είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει το δίκτυο, κάθε χρήστης θα πρέπει αρχικά να έχει εγγραφεί σε μια Κεντρική Αρχή που φιλοξενείται από τον Εθνικό Οργανισμό Υγείας. Η Κεντρική Αρχή παρέχει στο χρήστη ένα σύνολο από ασφαλή διαπιστευτήρια (credentials) που αποτελούνται από: α) ένα ψηφιακό πιστοποιητικό υπογεγραμμένο από μια αρχή έκδοσης πιστοποιητικών τρίτων, β) ένα συμμετρικό δημόσιο κλειδί και γ) ένα ζεύγος δημόσιων /ιδιωτικών κλειδιών. Το ψηφιακό πιστοποιητικό περιέχει πληροφορίες σχετικές με το όνομα χρήστη -userID (σαν όνομα χρήστη θεωρείται στα πλαίσια της παρούσας εργασίας ο Αριθμός Μητρώου Κοινωνικής Ασφάλισης (Α.Μ.Κ.Α) στην περίπτωση των ασθενών ή ο αριθμός μητρώου του επαγγελματία για τους ιατρούς και τους ιατρικούς φορείς) καθώς επίσης παρέχεται και ο μυστικός κωδικός πρόσβασης - password. Το όνομα χρήστη και ο κωδικός πρόσβασης χρησιμοποιούνται για λόγους πιστοποίησης και εξουσιοδότησης. Το ζεύγος δημόσιου/ιδιωτικού κλειδιού χρησιμοποιείται για την κρυπτογράφηση των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται με τα συμμετέχοντα μέλη του δικτύου, καθώς επίσης και για την κρυπτογράφηση των πληροφοριών που είναι αποθηκευμένες στον DHT κάθε κόμβου. Επιπλέον, για τη σύνδεση στο δίκτυο P2Care είναι απαραίτητο οι συμμετέχοντες κόμβοι να έχουν προμηθευτεί το δημόσιο κλειδί και την IP διεύθυνση του Bootstrap κόμβου στον οποίο ανήκουν.

Σε κάθε υπερκείμενο δίκτυο, οι υπερ-κόμβοι (super-peers) και ο Bootstrap κόμβος είναι εξουσιοδοτημένες οντότητες ασφαλείας οι οποίες τοποθετούνται σε ασφαλείς ΤΠΕ υποδομές και είναι υπεύθυνες για τη διανομή και διατήρηση των κλειδιών ψηφιακής κρυπτογράφησης με ασφαλή τρόπο. Ο Bootstrap είναι υπεύθυνος για την παραγωγή, ανανέωση και την παροχή των κλειδιών στους υπερ-κόμβους (super-peers). Κάθε υπερ-κόμβος (super-peer) είναι εξουσιοδοτημένος για τη διανομή των κλειδιών σε ένα υποσύνολο από κόμβους του υπερκείμενου δικτύου για τους οποίους είναι υπεύθυνος.

Κάθε κόμβος ανάλογα με το επίπεδο του υπερκείμενου δικτύου στο οποίο ανήκει, έχει πρόσβαση και δικαιώματα εισόδου (privileges) σε συγκεκριμένες προσφερόμενες υπηρεσίες και δεδομένα ανάλογα με το ρόλο που έχει στο δίκτυο P2Care. Όταν ένας κόμβος συνδέεται στο δίκτυο P2Care, ο Bootstrap κόμβος ελέγχει την εγκυρότητα των ψηφιακών πιστοποιητικών. Επιπλέον, το αίτημα για σύνδεση που στάλθηκε από τον κόμβο στο

Bootstrap κόμβο κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σύνδεσης κρυπτογραφείται με το συμμετρικό κλειδί του υπερκείμενου δικτύου. Ως εκ τούτου, η επιτυχής αποκρυπτογράφηση του μηνύματος αίτησης για σύνδεση συνεπάγεται ότι ο κόμβος έχει το σωστό συμμετρικό κλειδί άρα είναι πιστοποιημένος χρήστης και η σύνδεση είναι ασφαλής. Η χρήση διαφορετικού συμμετρικού κλειδιού στα διαφορετικά υπερκείμενα δίκτυα διασφαλίζει ότι κάθε ομότιμος κόμβος δεν θα μπορεί να εκτελέσει λειτουργίες σε άλλα υπερκείμενα δίκτυα για τα οποία δεν είναι πιστοποιημένος χρήστης και δεν έχει εξουσιοδότηση.

Κάθε φορά που ένας κόμβος συνδέεται επιτυχώς στο δίκτυο λαμβάνει από το Bootstrap κόμβο τα δημόσια κλειδιά των πιστοποιημένων κόμβων με τους οποίους είναι γείτονas και οι οποίοι είναι οι επιτυχόντες του (successor), δηλαδή με τους οποίους έχει λογικές ζεύξεις. Τα δεδομένα και τα μηνύματα που ανταλλάσσονται μεταξύ οποιουδήποτε ζεύγους κόμβων κρυπτογραφούνται με το δημόσιο κλειδί του παραλήπτη. Ο παραλήπτης του μηνύματος αποκρυπτογραφεί το μήνυμα με το ιδιωτικό του κλειδί. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται σχέσεις εμπιστοσύνης μεταξύ των λογικά συνδεδεμένων κόμβων. Η ασύμμετρη κρυπτογραφία αποτρέπει τους χρήστες με κακόβουλες προθέσεις να συμμετάσχουν στη δημιουργία του υπερκείμενου δικτύου και να έχουν πρόσβαση στους μηχανισμούς αναζήτησης πληροφοριών.

Όταν ο Bootstrap κόμβος επιλέξει έναν συγκεκριμένο κόμβο να γίνει super-peer, δανέμει σ' αυτόν ένα νέο συμμετρικό κλειδί και νέο ζευγάρι δημόσιου/ιδιωτικού κλειδιού. Αυτά τα διαπιστευτήρια είναι απαραίτητα για την πιστοποίηση και την κρυπτογράφηση στο υπερκείμενο δίκτυο του ανωτέρου επιπέδου στο οποίο ο super-peer συμμετέχει ως απλός ομότιμος κόμβος. Το συμμετρικό κλειδί παρέχει πρόσβαση στο Bootstrap κόμβο του νέου υπερκείμενου δικτύου ενώ το νέο ζευγάρι δημόσιου/ιδιωτικού κλειδιού χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή πληροφοριών με τους άλλους κόμβους του ανωτέρου υπερκείμενου δικτύου στο οποίο θα ανήκει.

Ένα σύνολο από πολιτικές ασφαλείας απαιτούνται προκειμένου να καθοριστούν οι κανόνες που επιτρέπουν την πρόσβαση σε πολλαπλά υπερκείμενα δίκτυα. Στο δίκτυο P2Care, τα διαφορετικά υπερκείμενα δίκτυα εφαρμόζουν διαφορετικά επίπεδα ασφαλείας ανάλογα με το ρόλο των συμμετεχόντων κόμβων. Για παράδειγμα, οι ασθενείς δεν μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ιατρικά αρχεία και οι νοσηλευτές επιτρέπεται να έχουν

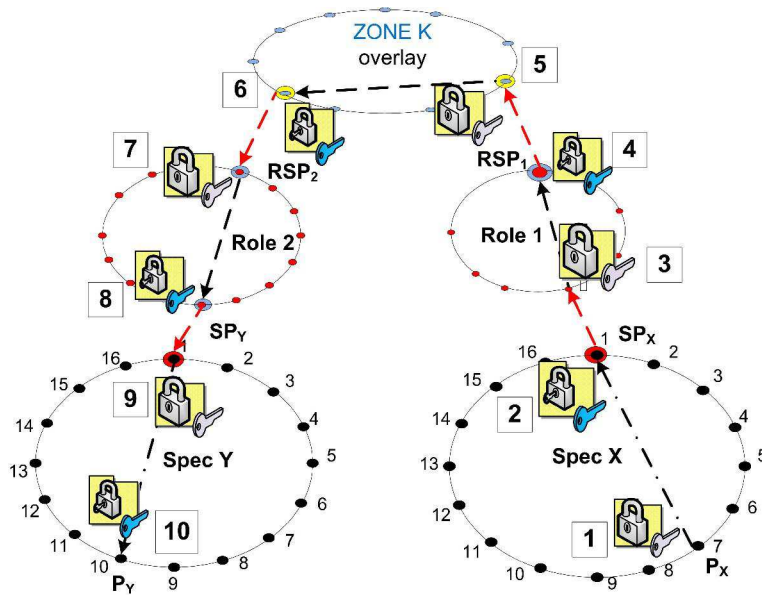
πρόσβαση να διαβάζουν τα αρχεία με τις φαρμακευτικές αγωγές, ενώ δεν είναι εξουσιοδοτημένοι να συνταγογραφούν νέα φαρμακευτική αγωγή και φαρμακευτικά σκευάσματα.

Το Σχήμα 3.6 παρουσιάζει ένα παράδειγμα ανταλλαγής μηνυμάτων μεταξύ διαφορετικών υπερκείμενων δικτύων. Ένας κόμβος  $P_X$  από το υπερκείμενο δίκτυο με την εξειδίκευση  $X$  ( $Spec\ X$ ) επιθυμεί να στείλει ένα μήνυμα στον κόμβο  $P_Y$  στο υπερκείμενο δίκτυο με την εξειδίκευση  $Y$  ( $Spec\ Y$ ). Για το σκοπό αυτό στέλνει ένα μήνυμα στον υπερ-κόμβο (super-peer)  $SP_X$  κρυπτογραφημένο με το δημόσιο κλειδί του  $SP_X$ . Ο  $SP_X$  κόμβος αποκρυπτογραφεί το μήνυμα με το ιδιωτικό του κλειδί και το κρυπτογραφεί πάλι χρησιμοποιώντας το δημόσιο κλειδί του υπερ-κόμβου (super-peer)  $RSP_1$  για το υπερκείμενο δίκτυο με ρόλο 1 και το στέλνει στο  $RSP_1$ . Αντίστοιχα, ο  $RSP_1$  αποκρυπτογραφεί το μήνυμα με το ιδιωτικό του κλειδί και το κρυπτογραφεί με το δημόσιο κλειδί του υπερ-κόμβου (super-peer)  $RSP_2$  από το υπερκείμενο δίκτυο με ρόλο 2 και στη συνέχεια το στέλνει στον  $RSP_2$  μέσω του υπερκείμενου δικτύου της γεωγραφικής περιοχής  $K$  (Zone  $K$ ). Η ίδια διαδικασία κρυπτογράφησης/αποκρυπτογράφησης ακολουθείται και κατά τη διαδικασία που το μήνυμα διαδίδεται προς τον προορισμό του, κόμβο  $P_Y$  καθώς και στην αντίστροφη διαδικασία από τον κόμβο  $P_Y$  στον κόμβο  $P_X$  που ξεκίνησε το αίτημα για την λήψη της απάντησης.

Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφορετικών υπερκείμενων δικτύων για την ανάκτηση των πληροφοριών, την επεξεργασία και την αποθήκευση απαιτούν μια ασφαλή βάση δεδομένων και μια ασφαλή Υπηρεσία Ιστού προκειμένου να επαληθεύεται ότι ο αιτών ομότιμος κόμβος έχει το δικαίωμα να εκτελέσει την επιθυμητή λειτουργία. Η δημιουργία μιας υποδομής δημοσίων ψηφιακών κλειδιών με πολλαπλά επίπεδα ασφαλείας δεν εμπίπτει στο πεδίο έρευνας της παρούσας διατριβής.

### 3.4.1 Δομή του υπερκείμενου δικτύου

Το δίκτυο P2Care χρησιμοποιεί ένα υπερκείμενο δίκτυο της μορφής Chord με βελτιωμένα καινοτόμα χαρακτηριστικά:



**Σχήμα 3.6:** Ασφαλής ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ διαφορετικών υπερκείμενων δικτύων.

- Πολλαπλοί Διανεμημένοι Πίνακες Κατακερματισμού (DHTs): κάθε κόμβος διαχειρίζεται πολλαπλούς DHTs, έναν για κάθε τύπο πληροφορίας π.χ. ιατροί, νοσηλεύτες, νοσοκομεία, κ.α. Αυτή η κατηγοριοποίηση της πληροφορίας δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να συμμετέχουν στο σύστημα με πολλαπλούς ρόλους. Επιπροσθέτως, διευκολύνει την επίβλεψη της διατήρησης της ιδιωτικότητας των χρηστών και της ορθής χρήσης των κανόνων της πολιτικής που εφαρμόζεται καθώς κάθε ρόλος έχει διαφορετικά δικαιώματα εισόδου.
- Ανανέωση των δεδομένων: ένας συνδεδεμένος κόμβος μπορεί να ανανεώσει τα δεδομένα και τα αρχεία που αποθηκεύει ή να τροποποιήσει το προσωπικό του προφίλ, όπως προσωπικές πληροφορίες και κατάσταση διαθεσιμότητας. Οποτεδήποτε συμβαίνει μια τροποποίηση, διαδίδεται σε όλους τους συσχετιζόμενους ομότιμους κόμβους οι οποίοι ανανεώνουν τους DHTs τους.
- Υποστήριξη ερωτημάτων με πολλαπλά κριτήρια: ερωτήματα με πολλαπλά κριτήρια δεν υποστηρίζονται εγγενώς από τα δομημένα υπερκείμενα δίκτυα ομοτίμων

κόμβων. Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής προτάθηκε ένας καινοτόμος βελτιωμένος μηχανισμός δρομολόγησης ερωτημάτων που υποστηρίζει τη χρήση ερωτημάτων με πολλαπλά κριτήρια και εμποδίζει την εμφάνιση φαινομένων πλημμύρας μηνυμάτων (flooding).

Όπως συμβαίνει και στη δομή του υπερκείμενου δικτύου Chord, οι κόμβοι στο δίκτυο P2Care έχουν ένα μοναδικό αναγνωριστικό που ονομάζεται `Peer_ID` και τοποθετούνται σε ένα κυκλικό δακτύλιο με βάση τον αύξοντα αναγνωριστικό αριθμό τους. Οι κόμβοι σχηματίζουν λογικές συνδέσεις ανάλογα με τη σειρά που τοποθετήθηκαν στον κυκλικό δακτύλιο. Κάθε κόμβος συνδέεται με έναν αριθμό ομοτίμων κόμβων που ονομάζονται *επιτυχόντες* (*successors*). Η απόσταση μεταξύ ενός κόμβου και του  $i$ -οστού του επιτυχόντα είναι  $2^i$  λογικά βήματα. Αν το υπερκείμενο δίκτυο έχει συνδεδεμένους κόμβους, κάθε κόμβος πρέπει να διατηρεί τουλάχιστον  $\log N$  επιτυχόντες για τη σταθερότητα του δικτύου και την αποτελεσματικότητα της δρομολόγησης. Τα δεδομένα που είναι αποθηκευμένα στο DHT έχουν μοναδικά αναγνωριστικά που ονομάζονται κλειδιά και μοιράζονται τον ίδιο χώρο με τα αναγνωριστικά των κόμβων `Peer_ID`. Τα δεδομένα διανέμονται μεταξύ των ομοτίμων κόμβων σύμφωνα με τον ακόλουθο κανόνα: κάθε κόμβος αποθηκεύει ένα αντικείμενο/δεδομένο εάν το κλειδί του είναι μεγαλύτερο ή ίσο από το δικό του αναγνωριστικό `Peer_ID` και μικρότερο από το αναγνωριστικό `Peer_ID` του πρώτου του επιτυχόντα. Κάθε κόμβος διατηρεί έναν πίνακα δρομολόγησης (Routing Table) για την αποθήκευση των πληροφοριών που σχετίζονται με τους επιτυχόντες του. Εκτός από τους επιτυχόντες, ένας κόμβος μπορεί να είναι συνδεδεμένος με άλλους κόμβους των οποίων τα αναγνωριστικά `Peer_ID` είναι σε κοντινή απόσταση από το δικό του ID και οι κόμβοι αυτοί ονομάζονται *γειτονικοί κόμβοι*. Αυτοί οι κόμβοι αποθηκεύονται σε έναν πίνακα με γείτονες (Neighbor Table). Ο πίνακας δρομολόγησης και ο πίνακας με τους αποθηκευμένους γειτονικούς κόμβους συγχωνεύονται στον πίνακα εκτέλεσης (Finger Table).

### 3.4.2 Σχηματισμός και Διατήρηση του Υπερκείμενου Δικτύου

Ο σχηματισμός και η διατήρηση του υπερκείμενου δικτύου υλοποιείται μέσω διαδικασιών σύνδεσης, αποσύνδεσης και ανανέωσης των κόμβων. Όλες οι οντότητες: κόμβοι,

#### 3.4.2.1 Διαδικασία Σύνδεσης

```

sequenceDiagram
    participant JP as Joining Peer (JP)
    participant B as Bootstrap (B)
    participant NP as Neighbor Peer (NP)
    participant RP as Routing Peer (RP)
    participant SP as Super Peer (SP)

    JP->>B: JOIN_REQ
    Note over B: Calculate new Finger Tables
    B-->>JP: ACCEPT_RESP
    JP->>NP: FRW_ACCEPT_RESP
    NP->>JP: CONNECT_REQ
    JP-->>NP: CONNECT_RESP
    JP->>RP: CONNECT_REQ
    RP-->>JP: CONNECT_RESP
    JP->>SP: CONNECT_REQ
    SP-->>JP: CONNECT_RESP
  
```

Ένας κόμβος συνδέεται στο σύστημα με την αποστολή ενός μηνύματος σύνδεσης *JOIN\_REQ* στον Bootstrap κόμβο του υπερκείμενου δικτύου στον οποίο ανήκει. Ο Bootstrap κόμβος με τη χρήση μιας συνάρτησης κατακερματισμού (hash function) παράγει το μοναδικό αναγνωριστικό *Peer\_ID* του κόμβου που επιθυμεί να συνδεθεί στο υπερκείμενο δίκτυο. Αυτό το αναγνωριστικό *Peer\_ID* αντιπροσωπεύει τη θέση που θα τοποθετηθεί ο νεοεισαχθείς κόμβος στον κυκλικό δακτύλιο του υπερκείμενου δικτύου. Κάθε φορά που ένας νέος κόμβος στέλνει ένα αίτημα σύνδεσης *JOIN\_REQ*, ο Bootstrap κόμβος ανανεώνει τη λίστα με τους συνδεδεμένους κόμβους, υπολογίζει εκ νέου και στέλνει τον πίνακα

εκτέλεσης (Finger Table) του κόμβου που επιθυμεί να συνδεθεί (JP) καθώς και ένα σύνολο από super-peers μέσω ενός μηνύματος αποδοχής σύνδεσης *ACCEPT\_RESP*. Ταυτόχρονα, υπολογίζει τους πίνακες εκτέλεσης των κόμβων που επηρεάζονται από τη νέα άφιξη, όπως είναι για παράδειγμα οι κόμβοι δρομολόγησης (RPs) και οι γειτονικοί κόμβοι (NPs). Ο Bootstrap προωθεί τους ενημερωμένους πίνακες εκτέλεσης μέσω μηνυμάτων προώθησης αποδοχής σύνδεσης *FRW\_ACCEPT\_RESP*. Οι υπερ-κόμβοι (super-peers) επίσης ενημερώνονται σχετικά με την εισαγωγή του νέου κόμβου. Από τη στιγμή που ο κόμβος λαμβάνει το μήνυμα αποδοχής σύνδεσης *ACCEPT\_RESP* από το Bootstrap, στέλνει ένα αίτημα σύνδεσης *CONNECT\_REQ* σε κάθε επιτυχόντα (successor), γείτονα και super-peer του. Στη συνέχεια, οι κόμβοι ελέγχουν και ανανεώνουν την κατάσταση των πινάκων τους. Ο ακόλουθος ψευδοκώδικας 2 παρουσιάζει τη διαδικασία σύνδεσης των κόμβων.

---

**Algorithm 2** Εισαγωγή νέου κόμβου

---

Bootstrap listens for messages

Peer sends *Join Request* to Bootstrap

Bootstrap receives *Join Request*

Bootstrap checks Digital Certificate and Public Key(joining peer)

**if** credentials not valid **then**

    Bootstrap rejects the request

**end if**

Bootstrap assigns new Peer.ID = hash(*Peer.IPaddress*, *Peer.Port*);

Calculate *number\_of\_successors*;

**for** each online peer *i* **do**

**for** each successor *j* **do**

        Calculate *Finger\_Table[i,j]*;

**end for**

**for** each neighbor *k* **do**

        Calculate *Neighbor\_Table[i,k]*;

**end for**

    Send *Finger\_Table[i,:]* to online peer *i*

    Send *Neighbor\_Table[i,:]* to online peer *i*

**end for**

Sort online peers according to descending order of capabilities

Calculate *number\_of\_super\_peers*;

**for** *s=1: number\_of\_super\_peers* **do**

    Set  $s^{th}$  peer of the list as super peer in *SuperPeers\_Table[s]*

    Inform peer *s*

**end for**

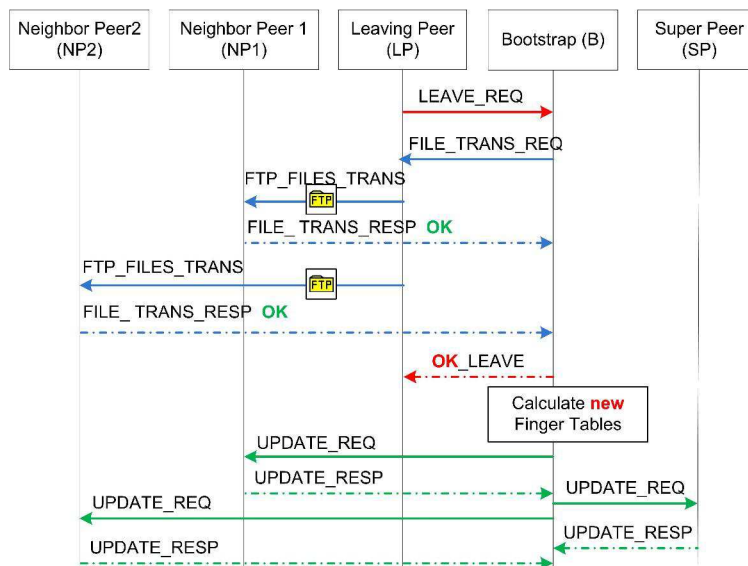
Replicate *Finger\_Table[]*, *Neighbor\_Table[]* and *SuperPeers\_Table[]* at the backup  
    Boostraps

---

### 3.4.2.2 Διαδικασία Αποσύνδεσης

Η διαδικασία αποσύνδεσης είναι παρόμοια με τη διαδικασία σύνδεσης που αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα.

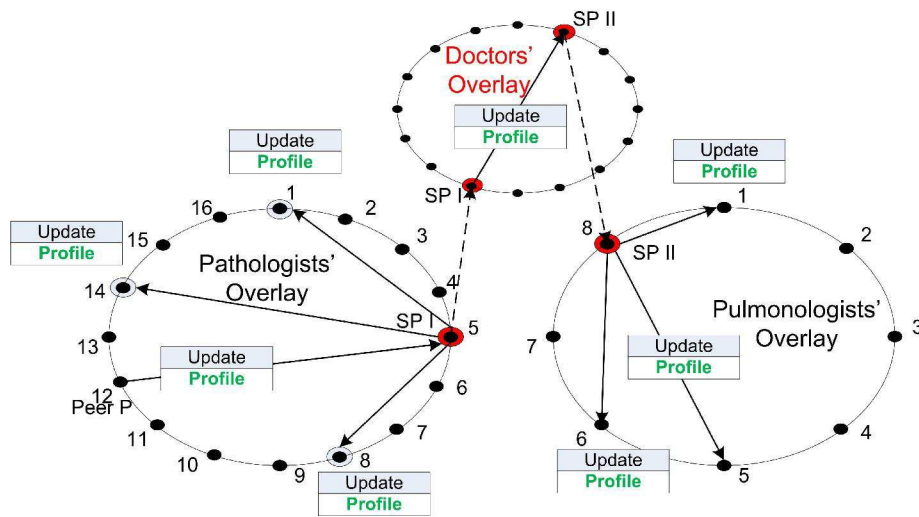
Ένας κόμβος που αποφασίζει να αποσυνδεθεί από το υπερκείμενο δίκτυο, στέλνει ένα αίτημα αποχώρησης *LEAVE\_REQ* στον κόμβο Bootstrap. Ο Bootstrap στέλνει ένα μήνυμα αιτούμενος τη μεταφορά όλων των αρχείων που διαχειρίζεται ο κόμβος που επιθυμεί να αποσυνδεθεί (LP) και υπαγορεύει στον LP να μεταφέρει τα αρχεία που είναι αποθηκευμένα στον DHT του στους γειτονικούς κόμβους του. Όταν η μεταφορά των αρχείων έχει ολοκληρωθεί, οι γειτονικοί κόμβοι ενημερώνουν τον Bootstrap κόμβο ότι έλαβαν τα αρχεία αποστέλλοντας ένα μήνυμα τύπου *FILE\_TRANS\_RESP*. Στη συνέχεια, ο LP κόμβος έχει την άδεια να εξέλθει από το σύστημα λαμβάνοντας ένα μήνυμα τύπου *OK\_LEAVE* από τον Bootstrap. Ο Bootstrap υπολογίζει τους νέους πίνακες εκτέλεσης (Finger Tables) και ενημερώνει τους γειτονικούς κόμβους και τους υπερ-κόμβους (super-peers) με ένα μήνυμα τύπου (*UPDATE\_REQ/UPDATE\_RESP*). Το Σχήμα 3.8 παρουσιάζει την ανταλλαγή μηνυμάτων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποσύνδεσης ενός κόμβου.



Σχήμα 3.8: Ανταλλαγή μηνυμάτων κατά τη διαδικασία αποσύνδεσης ενός κόμβου.

### 3.4.2.3 Διαδικασία Ενημέρωσης

Κάθε κόμβος μπορεί να αλλάξει το τρέχον προφίλ του, όπως τη διαθεσιμότητά του ή να τροποποιήσει προσωπικά του στοιχεία και το πρόγραμμά του. Όταν συμβαίνει μια διαδικασία ενημέρωσης, ο κόμβος στέλνει ένα μήνυμα τύπου *PROFILE\_UPDATE* στον υπερ-κόμβο (super-peer) του (*SPI*) και σε οποιονδήποτε άλλο κόμβο στο ίδιο υπερκείμενο δίκτυο (Tier 4) στον οποίο έχει δημιουργηθεί αντίγραφο από τα δεδομένα του. Μέσω του υπερκείμενου δικτύου στο επίπεδο 3 (Tier 3), ο υπερ-κόμβος (super-peer) προωθεί ένα μήνυμα τύπου *PROFILE\_UPDATE* στους άλλους υπερ-κόμβους (super-peers) από διαφορετικά υπερκείμενα δίκτυα που επίσης αποθηκεύουν πληροφορίες σχετικά με την ενημερωμένη κατάσταση του ομοτίμου κόμβου. Κάθε υπερ-κόμβος (super-peer) είναι υπεύθυνος να διαδώσει περαιτέρω το μήνυμα προς τους αντίστοιχους κόμβους του δικού του υπερκείμενου δικτύου στους οποίους αποθηκεύεται το προφίλ της αρχικής κατάστασης του ομοτίμου κόμβου.



**Σχήμα 3.9:** Ένα παράδειγμα της διαδικασίας ενημέρωσης των αποθηκευμένων πινάκων και πληροφοριών που διαθέτουν οι κόμβοι.

Για παράδειγμα, ένας ιατρός που είναι συνδεδεμένος στο υπερκείμενο δίκτυο των παθολόγων ιατρών (Peer P) στέλνει ένα μήνυμα τύπου *PROFILE\_UPDATE* στο *SPI* και

σε άλλους παθολόγους ιατρούς (Peers) στο ίδιο υπερκείμενο δίκτυο στο οποίο έχουν δημιουργηθεί αντίγραφα από τα δεδομένα του, δηλαδή στους κόμβους 1, 8 και 14 (επιτυχόντες και γείτονες κόμβοι). Ο *SPI* προωθεί το μήνυμα στο super-peer του υπερκείμενου δικτύου των πνευμονολόγων ιατρών (*SPII*) μέσω του ανωτέρου υπερκείμενου δικτύου των ιατρών. Ο *SPII* εξουσιοδοτείται να διαβιβάσει το μήνυμα τύπου *PROFILE\_UPDATE* προς τους αντίστοιχους κόμβους του υπερκείμενου δικτύου στο οποίο ανήκει, δηλαδή στους κόμβους 1, 5 και 6. (Σχ. 3.9).

### 3.4.3 Μηχανισμοί Αναζήτησης

Το δίκτυο P2Care ενσωματώνει ένα υβριδικό μηχανισμό για την αναζήτηση των πληροφοριών. Αυτός ο μηχανισμός υποστηρίζει την αναζήτηση ερωτημάτων με μοναδικό κριτήριο (απλή αναζήτηση) καθώς και με πολλαπλά κριτήρια.

#### 3.4.3.1 Απλή Αναζήτηση

Η απλή αναζήτηση ή αναζήτηση με ένα κριτήριο βασίζεται στο μηχανισμό αναζήτησης Chord σύμφωνα με τον οποίο ένας κόμβος ξεκινάει ένα αίτημα αναζητώντας ένα συγκεκριμένο κλειδί. Αρχικά, ένας κόμβος ελέγχει το δικό του DHT για το στοιχείο που του ζητήθηκε. Εάν αυτό το στοιχείο δεν υπάρχει, προωθεί το ερώτημα στον επιτυχόντα (successor) του οποίου το αναγνωριστικό Peer\_ID είναι πιο κοντά στο κλειδί του στοιχείου που ζητήθηκε σύμφωνα με τη δεξιόστροφη φορά του ρολογιού. Ο επιτυχών (successor) κόμβος ελέγχει το δικό του DHT και η διαδικασία επαναλαμβάνεται αναδρομικά έως ότου βρεθεί το κλειδί που ζητήθηκε. Ο αλγόριθμος που περιγράφηκε παραπάνω απεικονίζεται με τη μορφή ψευδοκώδικα 3.

---

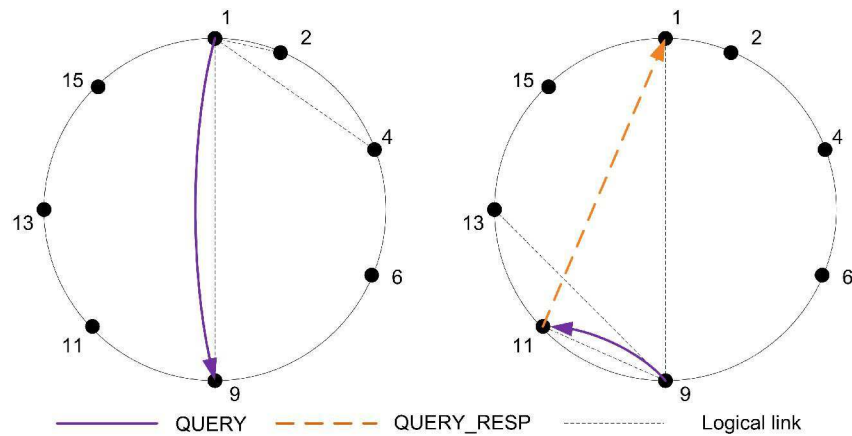
**Algorithm 3** Διαδικασία απλής αναζήτησης (simple search)

---

```
//Peer  $p$  searches data item with key  $k$ 
 $current\_requesting\_peer = p$ 
while data not found do
     $current\_requesting\_peer$  searches its own DHT table
    if data not found then
        for each successor  $i$  of  $Finger\_Table[current\_requesting\_peer]$  do
            Calculate distance between  $k$  and  $Finger\_Table[current\_requesting\_peer,i]$ ;
        end for
        Sort successors according to ascending order of distance
        ( $Sorted\_List\_of\_Successors[]$ )
         $current\_requesting\_peer = Sorted\_List\_of\_Successors[1]$ ;
    else
        Forward data to peer  $p$ 
    end if
end while
```

---

Στο Σχήμα 3.10 παρατίθεται ένα παράδειγμα του αλγορίθμου αναζήτησης με ένα κριτήριο για την καλύτερη κατανόησή του. Θεωρούμε ότι ένας ιατρός-παθολόγος, κόμβος 1, ψάχνει για το κλειδί με αναγνωριστικό ID 12, το οποίο αντιστοιχεί σε έναν άλλο παθολόγο ιατρό που βρίσκεται στο ίδιο υπερκείμενο δίκτυο. Δεδομένου ότι ο κόμβος 1 δεν έχει αυτό το στοιχείο αποθηκευμένο στο DHT του, στέλνει το αίτημα αναζήτησης στον επιτυχόντα του, κόμβο 9, που βρίσκεται σε πιο κοντινή λογική απόσταση με τον κόμβο που επιθυμεί να αναζητήσει (κόμβο 12). Στην περίπτωση που ο κόμβος 9 δεν έχει αποθηκευμένο το κλειδί 12 στο DHT του, όπως συμβαίνει και στο παράδειγμα που παραθέτουμε, προωθεί το αίτημα αναζήτησης στον πρώτο επιτυχόντα του, κόμβο 11, που βρίσκεται πιο κοντά στην επιθυμητή πληροφορία. Ο κόμβος 11 έχει αποθηκευμένο στο DHT του το κλειδί 12 και ανταποκρίνεται απευθείας στον κόμβο 1 που ξεκίνησε το αίτημα αναζήτησης.

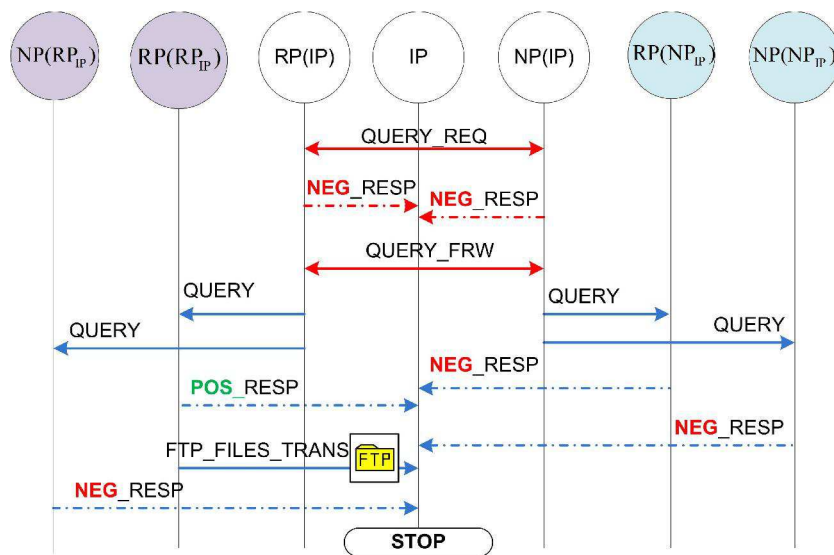


Σχήμα 3.10: Ανταλλαγή μηνυμάτων για απλή αναζήτηση πληροφοριών.

### 3.4.3.2 Αναζήτηση με Πολλαπλά Κριτήρια(Complex Queries)

Όταν ένας κόμβος ξεκινήσει μια αναζήτηση με πολλαπλά κριτήρια, στέλνει ταυτόχρονα μηνύματα τύπου *QUERY\_REQ* στους επιτυχόντες και τους γείτονές του (Σχ.3.11). Κάθε ένας από αυτούς επεξεργάζεται το ερώτημα, ελέγχει αν έχει αποθηκευμένες καταχωρήσεις που ταιριάζουν με το σύνολο των κριτηρίων που του ζητήθηκαν και ανταποκρίνεται στον κόμβο που ξεκίνησε το αίτημα (IP) με ένα μήνυμα τύπου *QUERY\_RESP*. Το μήνυμα τύπου *QUERY\_RESP* περιέχει τις καταχωρήσεις που βρέθηκαν να ικανοποιούν το σετ κριτηρίων που αναζητήθηκε, αν βέβαια έχει βρεθεί. Σε αντίθετη περίπτωση, θα περιέχει μια αρνητική απάντηση στην αναζήτηση του αιτήματος και μια λίστα με τους επιτυχόντες και τους γειτονικούς του κόμβους που ερωτήθηκαν (RP). Ο αρχικός κόμβος IP που ξεκίνησε το αίτημα αναζήτησης με πολλαπλά κριτήρια, περιμένει μέχρι να λάβει τις απαντήσεις τύπου *QUERY\_RESP* από κάθε ερωτηθέντα κόμβο (RP). Εάν δεν βρέθηκαν καταχωρήσεις, ο IP στέλνει ένα μήνυμα τύπου *QUERY\_FRW* στους RPs κόμβους. Εκτός από το περιεχόμενο του μηνύματος αναζήτησης, το μήνυμα τύπου *QUERY\_FRW* περιέχει μια λίστα με τους κόμβους που έχουν ήδη ερωτηθεί έτσι ώστε να μην ερωτηθούν για δεύτερη φορά κόμβοι που ήδη έχουν ερωτηθεί. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγονται φαινόμενα εμφάνισης πλημμύρας μηνυμάτων (flooding) και δεν αποστέλλονται περιττά μηνύματα επιβαρύνοντας το δίκτυο με παραπανίσια κίνηση δικτύου. Κατά την παραλαβή

του μηνύματος τύπου *QUERY\_FRW*, οι κόμβοι RPs ελέγχουν τη λίστα που τους απεστάλη και προωθούν το αίτημα αναζήτησης στους επιτυχόντες και τους γειτονικούς τους κόμβους που δεν έχουν ήδη ερωτηθεί. Ο αρχικός κόμβος IP που ξεκίνησε το αίτημα αναζήτησης, περιμένει μέχρι να λάβει μήνυμα τύπου *QUERY\_RESPs* από τους νέους ερωτηθέντες κόμβους RPs. Ως εκ τούτου, σε κάθε γύρο υπάρχει ένα διαφορετικό σύνολο από αιτούντες κόμβους και το ερώτημα διαδίδεται σε ένα νέο σύνολο από ερωτηθέντες ομοτίμους κόμβους. Όταν ο αρχικός κόμβος IP λαμβάνει μια καταχώρηση που πληρεί τα κριτήρια της αναζήτησης, ο αλγόριθμος τερματίζεται. Ο ψευδοκώδικας 4 παρουσιάζει τον αλγόριθμο που περιγράφηκε παραπάνω.



Σχήμα 3.11: Ανταλλαγή μηνυμάτων με βάση τη διαδικασία αναζήτηση με πολλαπλά κριτήρια.

Ο αλγόριθμος 4 που προτάθηκε, αναλύθηκε και υλοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, παρουσιάζει δύο σημαντικά χαρακτηριστικά. Αρχικά, μειώνει την κίνηση του δικτύου αποφεύγοντας την εμφάνιση φαινομένων γνωστών ως πλημμύρα μηνυμάτων (flooding). Ένας κόμβος δεν επιτρέπει να ερωτηθεί περισσότερες από μια φορές για ένα συγκεκριμένο αίτημα αναζήτησης, με αυτόν τον τρόπο δεν παράγονται υπεράριθμα, περιττά ερωτήματα αναζήτησης και δεν αυξάνεται η κίνηση του δικτύου. Επίσης, σε αντίθεση με άλλους μηχανισμούς αναζήτησης που πραγματεύονται αιτήματα με πολλαπλά κριτήρια, ο προτεινόμενος αλγόριθμος έχει την ιδιότητα να τερματίζεται αυτόματα όταν

βρεθεί επιτυχώς η πρώτη καταχώρηση που ικανοποιεί το σύνολο των κριτηρίων της αναζήτησης.

---

**Algorithm 4** Διαδικασία Αναζήτηση με Πολλαπλά Κριτήρια (Complex search)

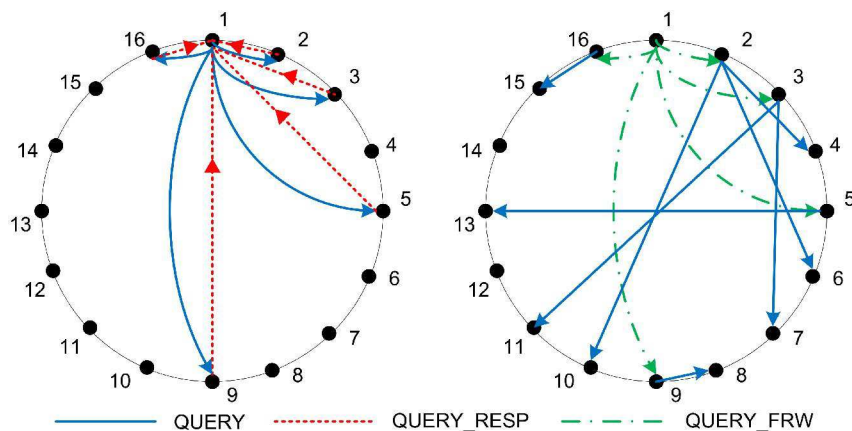
---

```
//Peer  $p$  searches data items according to a set of attributes
initial_requesting_peer =  $p$ 
initial_requesting_peer searches its own DHT table
Current_Requesting_Peers = Finger_Table + Neighbor_Table
while data not found do
  for  $r=1:\text{size}(\text{Current\_Requesting\_Peers})$  do
    Current_Requesting_Peers[ $r$ ] searches its own DHT table
    if data found then
      Current_Requesting_Peers[ $r$ ] returns result to initial_requesting_peer
    else
      Current_Requesting_Peers[ $r$ ] returns a negative acknowledgement
    end if
  end for
  initial_requesting_peer checks the total results
  if no results found then
    //initial_requesting_peer dictates Current_Requesting_Peers to ask their successors
    and neighbors
    Current_Requesting_Peers = Merge(Finger_Table[Current_Requesting_Peers]+
    Neighbor_Table[Current_Requesting_Peers])
  end if
end while
```

---

Στο Σχήμα 3.11 δίδεται ένα παράδειγμα το οποίο παρουσιάζει τον τρόπο λειτουργίας του μηχανισμού αναζήτησης με πολλαπλά κριτήρια στο δίκτυο P2Care. Ένας ασθενής που πάσχει από Χρόνια Αποφρακτική Πνευμονοπάθεια (ΧΑΠ) (Chronic Obstructive Pulmonary Disease -COPD) αισθάνεται έντονο πόνο στο στήθος. Η εφαρμογή P2Care Client αναζητά τον προσωπικό εξειδικευμένο ιατρό που παρακολουθεί τον ασθενή ή σε

περίπτωση μη διαθεσιμότητας του, αναζητά τον προσωπικό γενικό ιατρό του. Αν ούτε ο προσωπικός γενικός ιατρός που τον κουράρει δεν είναι διαθέσιμος, το σύστημα εκτελεί μια αναζήτηση για ένα εξειδικευμένο ιατρό μέσα στο υπερκείμενο δίκτυο των ασθενών με την ίδια χρόνια πάθηση (COPD) στη γεωγραφική περιοχή που βρίσκεται ο ασθενής. Ο μηχανισμός αναζήτησης εκτελεί μια αναζήτηση με πολλαπλά κριτήρια (σύνθετο ερώτημα), όπως τα χρόνια εμπειρίας του ιατρού, η φυσική απόσταση που βρίσκεται ο ιατρός, ο βαθμός εκπαίδευσης του καθώς και οι προτιμήσεις του ασθενούς για κάθε έναν ιατρό. Όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 3.12, ο κόμβος 1 ερωτά τους επιτυχόντες κόμβους του 2, 3, 5, 9 και τους γείτονες κόμβους 2, 16 αν έχουν κάποια καταχώρηση με τα κριτήρια που δόθηκαν. Εάν οι κόμβοι αυτοί απαντήσουν αρνητικά, τότε ο κόμβος 1 τους υπαγορεύει να διαβιβάσει το ερώτημα στους επιτυχόντες και τους γείτονες κόμβους τους που δεν έχουν ακόμη ερωτηθεί. Ως εκ τούτου, ο επιτυχών κόμβος 2 αποστέλλει ένα ερώτημα στους κόμβους 4, 6, 10. Όταν βρεθεί ο πρώτος διαθέσιμος ιατρός και αποδεχθεί το αίτημα να κουράρει τον ασθενή, η εφαρμογή P2Care Client στέλνει στον επιλεγμένο ιατρό τα δεδομένα σχετικά με τα βιοσήματα που έχουν συλλεχθεί ή τα ιατρικά δεδομένα και τον ιατρικό φάκελο του ασθενούς όπου απαιτείται.

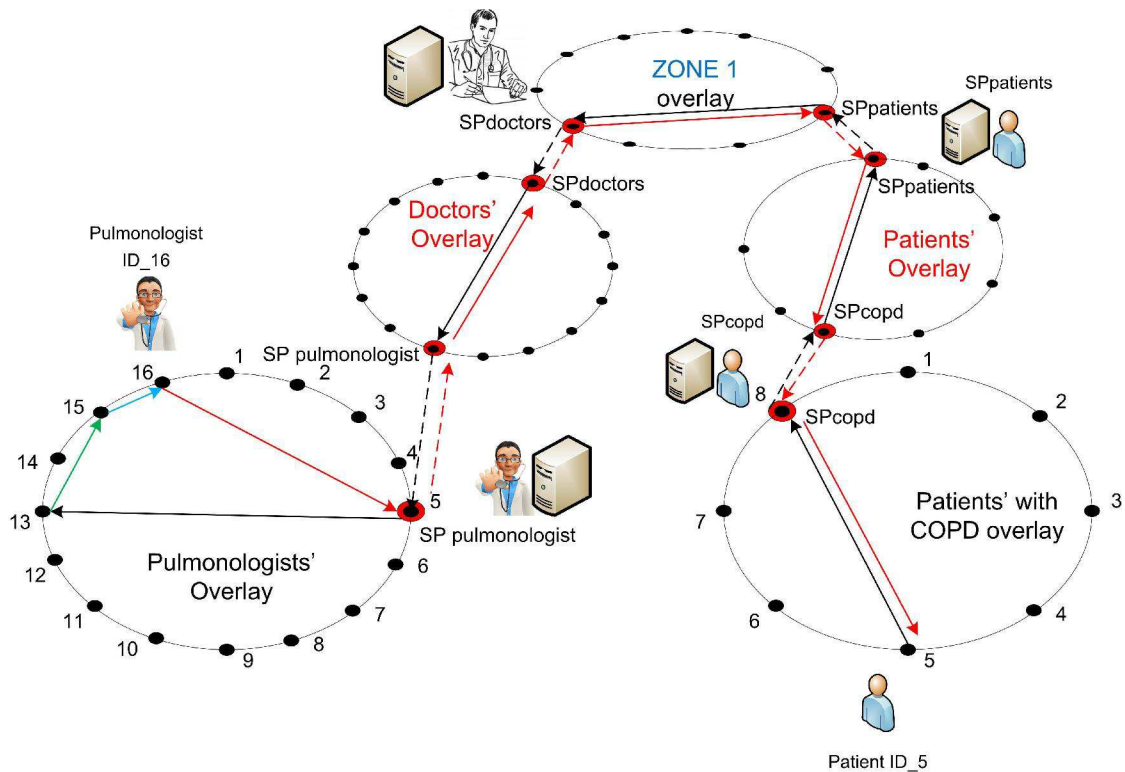


**Σχήμα 3.12:** Παράδειγμα της διαδικασίας αναζήτησης με πολλαπλά κριτήρια.

### 3.4.4 Αναζήτηση μεταξύ διαφορετικών υπερκείμενων δικτύων

Στο δίκτυο P2Care, ένας ομότιμος κόμβος έχει τη δυνατότητα να αποστέλλει ερωτήματα και σε άλλα υπερκείμενα δίκτυα. Αυτό συμβαίνει κάθε φορά που ένας κόμβος εκτελεί ερωτήματα με απλή αναζήτηση ή αναζήτηση με πολλαπλά κριτήρια στο υπερκείμενο δίκτυο που ανήκει και η αναζήτηση ήταν ανεπιτυχής. Στην περίπτωση αυτή, στέλνει το ερώτημα στον υπερ-κόμβο (super-peer) του, ο οποίος με τη σειρά του θα διαβιβάσει το αίτημα στον υπερ-κόμβο (super-peer) του κατάλληλου υπερκείμενου δικτύου. Εφόσον βρεθεί επιτυχώς το ζητούμενο στοιχείο, ο κόμβος προωθεί την απάντηση του ερωτήματος στον υπερ-κόμβο (super-peer) του ο οποίος στη συνέχεια θα διαβιβάσει την απάντηση στον υπερ-κόμβο (super-peer) που ξεκίνησε τη διαδικασία της αναζήτησης. Εάν το ερώτημα είναι πάλι ανεπιτυχές και δεν βρεθεί στοιχείο που να ικανοποιεί τα κριτήρια του ερωτήματος, αυτό συνεπάγεται ότι η ζητούμενη πληροφορία δεν έχει αποθηκευτεί ακόμα στο σύστημα, συνεπώς δεν υπάρχει καμία τέτοια καταχώρηση, και αποστέλλεται μια αρνητική απάντηση.

Για την καλύτερη κατανόηση του μηχανισμού αποστολής ερωτημάτων μεταξύ διαφορετικών υπερκείμενων δικτύων παρουσιάζεται το ακόλουθο παράδειγμα. Θεωρούμε ότι ένας ασθενής που πάσχει από ΧΑΠ ζητά να επικοινωνήσει με ένα συγκεκριμένο πνευμονολόγο ιατρό (γνωρίζει το αναγνωριστικό ID του, ή τον αριθμό μητρώου του ή το ονοματεπώνυμό του) στη γεωγραφική περιοχή που βρίσκεται (Σχ. 3.13). Αρχικά, το ερώτημα διαδίδεται στο υπερκείμενο δίκτυο των ασθενών που πάσχουν από ΧΑΠ. Αν η αναζήτηση είναι ανεπιτυχής, προωθείται το αίτημα στον υπερ-κόμβο (super-peer) (SPcopd) του. Ο SPcopd προωθεί το αίτημα στον υπερ-κόμβο (super-peer) του υπερκείμενου δικτύου των ασθενών, SPpatients. Ο SPpatients των ασθενών στέλνει το αίτημα στους υπερ-κόμβους (super-peers) των γιατρών (SPdoctors) μέσω του διαπεριφερειακού (inter zone) υπερκείμενου δικτύου. Αντίστοιχα, ο SPdoctors θα διαβιβάσει το αίτημα σε έναν υπερ-κόμβο (super-peer) του υπερκείμενου δικτύου των πνευμονολόγων (SPpulmonologists). Ο SPpulmonologists είναι εξουσιοδοτημένος να εκτελέσει ένα ερώτημα απλής αναζήτησης σε αυτό το υπερκείμενο δίκτυο. Η απάντηση διαβιβάζεται στον αρχικό κόμβο-ασθενή που ξεκίνησε τη διαδικασία αναζήτησης ενός ερωτήματος μέσω της αντίστροφης πορείας.



Σχήμα 3.13: Ένα παράδειγμα αναζήτησης πληροφορίας μεταξύ διαφορετικών υπερκείμενων δικτύων.

### 3.5 Λειτουργίες του Δικτύου P2Care

Η αρχιτεκτονική του δικτύου P2Care είναι μια αρχιτεκτονική που βασίζεται στη δημιουργία και ενεργοποίηση γεγονότων (event-driven). Προκειμένου να παρουσιαστούν οι βασικές λειτουργίες της αρχιτεκτονικής του P2Care δικτύου, χρησιμοποιείται μια μελέτη κατά περίπτωση (use case study). Σε αυτή τη μελέτη αναλύονται οι βασικές λειτουργίες της συνεργατικής πλατφόρμας που παρέχουν ένα σύνολο από οφέλη, όπως είναι η διευκόλυνση της έγκαιρης και ακριβούς διάγνωσης και θεραπείας του ασθενούς, η μείωση των ιατρικών λαθών που μπορούν να προληφθούν από την συνεργασία των εμπλεκόμενων οντοτήτων και η μείωση του χρόνου απόκρισης, έτσι ώστε να μειωθούν οι καθυστερήσεις παροχής των υπηρεσιών πρώτης βοήθειας και η διακομιδή των ασθενών στο νοσοκομείο. Ιδιαίτερα, μέσω του παραδείγματος αυτού εστιάζεται το ενδιαφέρον στη μελέτη των

χαρακτηριστικών της επικοινωνίας και στον τρόπο με τον οποίο οι εμπλεκόμενες οντότητες θα εκμεταλλευτούν τις δυνατότητες που προσφέρει το δίκτυο P2Care με σκοπό την παροχή εξ' αποστάσεως εξατομικευμένων υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης.

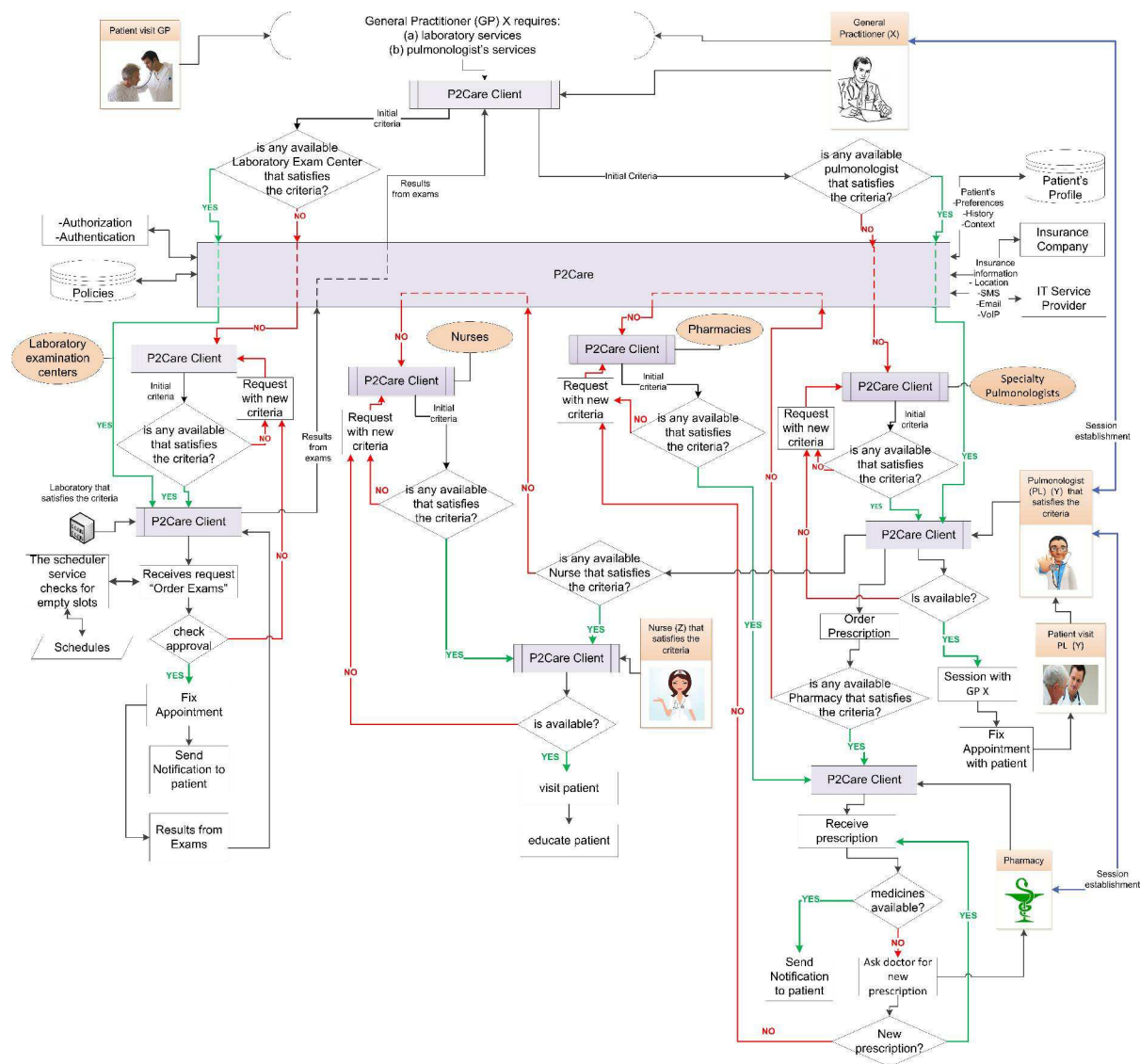
Αυτή η μελέτη κατά περίπτωση (case study) βασίζεται σε ένα πραγματικό σενάριο που διαδραματίζεται οποτεδήποτε υπάρχει ανάγκη συνεργασίας μεταξύ πολλαπλών οργανισμών ή φορέων που παρέχουν υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης προκειμένου να εφαρμοστεί με ακρίβεια ένα πρόγραμμα θεραπείας και αντιμετώπισης των συμπτωμάτων καθώς και των επειγόντων περιστατικών. Η ροή της διαδικασίας αυτής της μελέτης παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.14.

Ένας 65άχρονος ασθενής με ιστορικό βαρέως καπνιστού παρουσιάζεται στον προσωπικό του γενικό ιατρό "X" με έντονη δύσπνοια που επιδεινώνεται τις τελευταίες δύο ημέρες και έντονη ένταση φλέγματος. Ο γενικός ιατρός "X" εξετάζει τον ασθενή, αλλά έχει αμφιβολίες για το κατά πόσο ο ασθενής πάσχει από μια κοινότυπη ίωση ή είναι ενδείξεις που οδηγούν σε διάγνωση της ΧΑΠ δεδομένου ότι, σύμφωνα με το ιστορικό του ασθενούς, είναι βαρύς καπνιστής και δεν υποφέρει από άλλα συμπτώματα ίωσης, όπως πυρετό ή βήχα. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να ακολουθηθεί μια σειρά από διαδικασίες προκειμένου να διευκολυνθεί η διάγνωση και να διασφαλιστεί το πρόγραμμα θεραπείας.

Ο γενικός ιατρός "X": (α) συνδέεται στο δίκτυο P2Care προκειμένου να βρει ένα εξειδικευμένο εργαστηριακό κέντρο "LC" στην ίδια γεωγραφική περιοχή που βρίσκεται ο ασθενής και συνεργάζεται με την κοινωνική ασφάλιση του ασθενούς έτσι ώστε να συνταγογραφήσει περαιτέρω εξετάσεις (σύνθετο ερώτημα), β) συνταγογραφεί ένα σύνολο από εργαστηριακές εξετάσεις, μέσω μιας υπηρεσίας ρύθμισης ραντεβού που παρέχεται από το P2Care και γ) εκτελεί ένα ερώτημα απλής αναζήτησης για την ανεύρεση ενός πνευμονολόγου ιατρού προκειμένου να ζητήσει τη συμβουλή του για την πιθανή εμφάνιση ΧΑΠ στον ασθενή που κουράρει. Αν δεν υπάρχει κάποια πληροφορία αποθηκεύεται στο DHT του (προσωπικά δεδομένα ή προφίλ με συνεργάτες επαγγελματίες του τομέα της υγείας) ή ο ασθενής δεν παρακολουθείται από κάποιο πνευμονολόγο ιατρό, εκτελεί ένα ερώτημα αναζήτησης με πολλαπλά κριτήρια, προκειμένου να βρει έναν εξειδικευμένο πνευμονολόγο ιατρό που να πληρεί ορισμένα κριτήρια, όπως είναι η φυσική εγγύτητα με τον ασθενή,

η κατάσταση διαθεσιμότητας του για να δεχθεί μια κλήση, η εμπειρία που έχει σχετικά με την ΧΑΠ ασθένεια, με ποιους ασφαλιστικούς οργανισμούς συνεργάζεται, κ.α. Τα αίτημα αυτό διαχειρίζεται από τον υπερ-κόμβο (super-peer) του υπερκείμενου δικτύου των γενικών ιατρών ο οποίος διαβιβάζει το αίτημα στο υπερκείμενο δίκτυο των πνευμονολόγων ιατρών με εξειδίκευση στη ΧΑΠ (όπως περιγράφεται στην ενότητα 3.4.4. Ο γενικός ιατρός "X" που εκτέλεσε το ερώτημα και ξεκίνησε τη διαδικασία της αναζήτησης, λαμβάνει μια φωνητική κλήση ή υπηρεσία τηλεδιάσκεψης από τον πρώτο διαθέσιμο πνευμονολόγο ιατρό "Y". Εάν κριθεί απαραίτητο από την επικοινωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων ιατρών, καθορίζεται ένα ραντεβού έτσι ώστε ο πνευμονολόγος ιατρός αφού ενημερωθεί για την κλινική εικόνα του ασθενούς από το γενικό ιατρό να εξετάσει και ο ίδιος τον ασθενή. Ο γενικός ιατρός θα λάβει μέσω του δικτύου P2Care μια κλήση ή μια κοινοποίηση άμεσων μηνυμάτων από το κέντρο που έγιναν οι εργαστηριακές εξετάσεις που συνταγογράφησε στον ασθενή με τα αποτελέσματα από τις εξετάσεις.

Ο πνευμονολόγος "Y" που εξέτασε τον ασθενή έκανε τις απαραίτητες εξετάσεις και τα αποτελέσματα έδειξαν οξεία αναπνευστική οξέωση. Προκειμένου να διαγνωσθεί σωστά αν ο ασθενής νοσεί με ΧΑΠ είναι απαραίτητη: (α) η σπιρομέτρηση, (β) η γνώση του προφίλ του ασθενούς, (γ) το προηγούμενο ιατρικό ιστορικό του δεδομένου ότι πολλές μολύνσεις των πνευμόνων που διαρκούν για μεγάλο χρονικό διάστημα αυξάνουν την πιθανότητα για διάγνωση της ΧΑΠ (δηλαδή γρίπη, οξεία βρογχίτιδα, πνευμονία) και τέλος (δ) πληροφορίες σχετικά με το οικογενειακό ιστορικό του ασθενούς. Ένα ερώτημα απλής αναζήτησης προωθείται από τον πνευμονολόγο "Y" μέσω του P2Care δικτύου προς το γενικό γιατρό "X". Εάν η κατάσταση του γενικού ιατρού "X" που κουράρει τον ασθενή δείχνει ότι είναι διαθέσιμος, μια συνεδρία βιντεοσυνδιάσκεψης (session videoconference) εγκαθίσταται μεταξύ τους ώστε να σχεδιάσουν και να συνθέσουν ένα εξατομικευμένο πρόγραμμα θεραπείας για τον ασθενή. Την ίδια στιγμή ο γενικός ιατρός "X" θα μπορούσε να προσκαλέσει στη συνεδρία το εργαστηριακό κέντρο "LC" που έγιναν οι εξετάσεις του ασθενούς προκειμένου να προσκομίσει τα αποτελέσματα των εργαστηριακών εξετάσεων ή οποιαδήποτε άλλη πληροφορία σχετικά με αυτές.



**Σχήμα 3.14:** Η ροή της διαδικασίας για το παράδειγμα που μελετάμε.

Η αρχική θεραπεία που παρέχεται από το σύστημα συνεργασίας των ιατρών εστιάζει: (α) στη διατήρηση του κορεσμού του οξυγόνου στο 90 τοις εκατό ή υψηλότερο και (β) στην παρακολούθηση της συγκέντρωσης του οξυγόνου στο αίμα του ασθενούς δύο φορές την ημέρα με τη χρήση παλμικού οξυμέτρου. Μετά την εδραίωση του προγράμματος θεραπείας, μέσω του P2Care δικτύου: (i) χορηγείται μια συνταγή προς εκτέλεση για εισπνεόμενο β2-αγωνιστές σε ένα φαρμακείο (σύνθετο ερώτημα) με βάση τα κριτήρια του ασθενούς (τοποθεσία, τις προτιμήσεις, την κοινωνική ασφάλιση, κλπ), (ii) ένα ερώτημα προωθείται στο υπερκείμενο δίκτυο των νοσηλευτών 3.4.4, έτσι ώστε να αναζητηθεί ένας διαθέσιμος νοσηλευτής "Z" που θα επισκεφθεί τον ασθενή κατ' οίκον δύο φορές την ημέρα για να δώσει οδηγίες σχετικά με τον ορθό τρόπο εκτέλεσης και λήψης των μετρήσεων από το παλμικό οξυμέτρο και (iii) ένα άμεσο μήνυμα προωθείται στους συγγενείς του ασθενούς (ερώτημα απλής αναζήτησης) ενημερώνοντας τους ότι ο πνευμονολόγος "Y" ή ο νοσηλευτής "Z" θα πρέπει να ενημερώνεται άμεσα σε περίπτωση επιδείνωσης της υγείας του ασθενούς ή παρατήρησης αλλαγών στη συμπεριφορά του.

### **3.6 Πρότυπο εφαρμογής του P2Care (Prototype)**

Ένα πρότυπο εφαρμογής (prototype) αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής ως απόδειξη για την τεκμηρίωση της ορθής λειτουργίας του δικτύου P2Care.

Η εφαρμογή περιλαμβάνει δύο κύρια μέρη: την οντότητα P2Care Bootstrap και την οντότητα P2Care Client. Μέσω της εφαρμογής P2Care Client, παρέχεται η δυνατότητα σε κάθε κόμβο να εισέλθει στο σύστημα και να συμμετάσχει στο κατάλληλο υπερκείμενο δίκτυο ανάλογα με τη γεωγραφική του θέση, το ρόλο και την εξειδίκευση που έχει. Η οντότητα P2Care Client είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία και τη διατήρηση των συνδέσεων με τους άλλους ομότιμους κόμβους στο ίδιο ή σε οποιοδήποτε άλλο υπερκείμενο δίκτυο παρέχοντας λειτουργίες δρομολόγησης στο υπερκείμενο δίκτυο, αποθήκευσης και αναζήτησης καταχωρήσεων. Η οντότητα P2Care Bootstrap αποτελεί την κεντρική οντότητα εισόδου, ελέγχου και διατήρησης της δομής για κάθε υπερκείμενο δίκτυο. Επίσης καθορίζει τους λογικούς συνδέσμους μεταξύ των κόμβων του. Τόσο η οντότητα P2Care

Bootstrap όσο και η οντότητα P2Care Client υλοποιήθηκαν με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού C++.

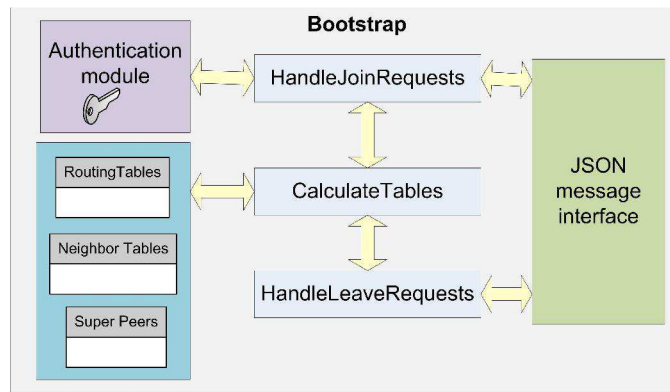
Για την εισαγωγή των πιστοποιητικών εισόδου και των ερωτημάτων αναπτύχθηκε μια φιλική προς το χρήστη, γραφική διεπαφή χρήστη (Grafical User Interface - GUI) μέσω του Qt πλαισίου εφαρμογής (application framework) και των εργαλείων ανάπτυξης (Qt Development Toolkit) που χρησιμοποιούνται ευρέως για την ανάπτυξη λογισμικού εφαρμογών. Μια διεπαφή αποστολής μηνυμάτων JSON αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη JsonRPC [66] για την ανταλλαγή μηνυμάτων ενώ η βιβλιοθήκη JsonCpp [67] χρησιμοποιήθηκε για το σχηματισμό και την ανάλυση (parsing) των μηνυμάτων. Ένας XMPP Server/Client (εξυπηρετητής/πελάτης) που υλοποιεί το πρωτόκολλο επεκτάσιμης μηνυματοδοσίας και παρουσίας (Extensible Messaging and Presence Protocol - XMPP) υλοποιήθηκε με QXmpp [68] με σκοπό την ανταλλαγή σε πραγματικό χρόνο των δομημένων άμεσων μηνυμάτων (instant messages), των πληροφοριών παρουσίας, της μεταφοράς των αρχείων, και της μηνυματοδοσίας υπηρεσιών φωνής πάνω από το Διαδίκτυο ( Voice Over IP) VoIP μεταξύ δύο ή περισσότερων οντοτήτων του δικτύου. Για τη δρομολόγηση των μηνυμάτων χρησιμοποιήθηκε ένα XML (Extensible Markup Language) πρόγραμμα ανάλυσης (parser) το οποίο υλοποιήθηκε με Xerces-C ++ [69]. Τέλος, ένα πρόγραμμα ανάλυσης (parser) που βασίζεται στο DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) πρωτόκολλο επικοινωνίας δικτύου υλοποιήθηκε με QtDcm [70] για τη διαχείριση, αποθήκευση και τη μεταφορά ιατρικών πληροφοριών και εικόνων που χρησιμοποιούνται στην ιατρική απεικόνιση.

### **3.6.1 P2Care Bootstrap**

Η οντότητα P2Care Bootstrap ενσωματώνει μια διεπαφή μηνυμάτων JSON με σκοπό να στέλνει και να λαμβάνει μηνύματα από την εφαρμογή P2Care Client. Η διεπαφή μηνυμάτων JSON περιλαμβάνει έναν TCP εξυπηρετητή και έναν TCP client για τη λήψη και την αποστολή των μηνυμάτων αντίστοιχα.

Στην περίπτωση σύνδεσης ενός νέου κόμβου στο σύστημα, ένα μήνυμα τύπου *JOIN\_REQ* λαμβάνεται μέσω της διεπαφής ανταλλαγής μηνυμάτων JSON. Με τη λήψη του μηνύματος, η διεπαφή αλληλεπιδρά με το δομοστοιχείο λογισμικού (module) διαχείρισης αιτημάτων σύνδεσης «HandleJoinRequests». Το δομοστοιχείο διαχείρισης αιτημάτων σύνδεσης «HandleJoinRequests» αρχικά καλεί το δομοστοιχείο ελέγχου πιστοποίησης «Authentication» το οποίο ελέγχει τα πιστοποιητικά ασφαλείας του κόμβου που επιθυμεί να συνδεθεί και παρέχει πρόσβαση μόνο εάν ο κόμβος αντιστοιχεί σε πιστοποιημένο χρήστη και εάν είναι εξουσιοδοτημένος να συνδεθεί στο συγκεκριμένο υπερκείμενο δίκτυο. Εάν η διαδικασία της πιστοποίησης ολοκληρωθεί με επιτυχία, το δομοστοιχείο διαχείρισης αιτημάτων σύνδεσης «HandleJoinRequests» ζητά από το δομοστοιχείο υπολογισμού των πινάκων κατακερματισμού «CalculateTables» να δημιουργήσει νέους πίνακες, δηλαδή, τον πίνακα δρομολόγησης Routing Table και τον πίνακα που περιέχει τους γειτονικούς κόμβους Neighbor Table. Ταυτόχρονα, παρέχει στον νεοεισερχόμενο κόμβο ένα μέρος από τους αρχικούς και τους δευτερεύοντες υπερ-κόμβους (super-peers) στους οποίους θα πρέπει να αναφέρεται. Το δομοστοιχείο υπολογισμού των πινάκων κατακερματισμού «CalculateTables» επιστρέφει αυτά τα αποτελέσματα στο δομοστοιχείο διαχείρισης αιτημάτων σύνδεσης «HandleJoinRequests», το οποίο με τη σειρά του προωθεί την πληροφορία στο TCP Client μέσω της διεπαφής ανταλλαγής μηνυμάτων JSON.

Κατά τη διαδικασία αποσύνδεσης ενός κόμβου, πριν αποσυνδεθεί ο κόμβος ο TCP εξυπηρετητής μέσω της διεπαφής ανταλλαγής μηνυμάτων JSON αλληλεπιδρά με το δομοστοιχείο διαχείρισης αιτημάτων αποσύνδεσης «HandleLeaveRequests». Το δομοστοιχείο υπολογισμού των πινάκων κατακερματισμού «CalculateTables» ενεργοποιείται και υπολογίζονται οι νέοι πίνακες δρομολόγησης Routing Table και οι γειτονικοί κόμβοι Neighbor Table. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας αυτής προωθούνται στο δομοστοιχείο διαχείρισης αιτημάτων αποσύνδεσης «HandleLeaveRequests». Ο TCP Client μέσω της διεπαφής ανταλλαγής μηνυμάτων JSON είναι υπεύθυνος να αποστείλει τους νέους πίνακες στους εξαρτώμενους κόμβους που επηρεάζονται από την αποσύνδεση του κόμβου καθώς επίσης ενημερώνει τους υπερ-κόμβους (super-peers) για την αποσύνδεση του κόμβου. Το Σχήμα 3.15 παρουσιάζει τα δομοστοιχεία της οντότητας P2Care Bootstrap.



Σχήμα 3.15: Αρχιτεκτονική του P2Care Bootstrap.

### 3.6.2 P2Care Client

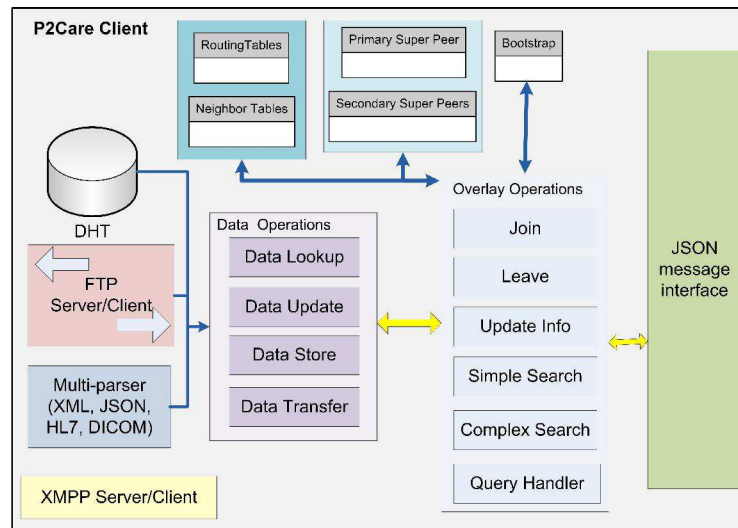
Τα βασικά δομοστοιχεία της οντότητας P2Care Client απεικονίζονται στο Σχήμα 3.16 και είναι τα ακόλουθα:

- Η διεπαφή ανταλλαγής μηνυμάτων JSON (JSON Message Interface): είναι υπεύθυνη για την ανταλλαγή μηνυμάτων με άλλους κόμβους, με τους υπερ-κόμβους (super-peers) και με το Bootstrap κόμβο. Όπως συμβαίνει και με την οντότητα P2Care Bootstrap, αποτελείται από έναν TCP εξυπηρετητή και έναν TCP πελάτη (client) για τη λήψη και την αποστολή μηνυμάτων αντίστοιχα.
- Το δομοστοιχείο λειτουργιών του υπερκείμενου δικτύου (Overlay Operations): (α) υλοποιεί τη διαδικασία σύνδεσης όταν ο κόμβος συνδέεται στο υπερκείμενο δίκτυο, (β) εκτελεί τη διαδικασία αποσύνδεσης, (γ) διαχειρίζεται αιτήματα ανανέωσης οποτεδήποτε το προφίλ του κόμβου ανανεώνεται ή τροποποιούνται τα αποθηκευμένα στοιχεία των πελατών - κόμβων, (δ) εισάγει τη διαδικασία αναζήτησης με ένα ή πολλαπλά κριτήρια και (ε) λαμβάνει ερωτήματα από άλλους κόμβους.
- Το δομοστοιχείο λειτουργιών Δεδομένων (Data Operations): (α) εκτελεί αναζήτηση δεδομένων στο DHT οποτεδήποτε εκτελείται η διαδικασία αναζήτησης με ένα ή πολλαπλά κριτήρια από τον ίδιο ή άλλο κόμβο, (β) εκτελεί τη διαδικασία ανανέωσης των δεδομένων σε περίπτωση τροποποίησης των πληροφοριών που είναι αποθηκευμένες στο DHT του, (γ) αποθηκεύει τα ανανεωμένα δεδομένα που λαμβάνει

και (δ) μεταφέρει αρχεία στους άλλους κόμβους σε περίπτωση εισόδου ή εξόδου ενός κόμβου.

- Ο FTP Server/Client : χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των αρχείων μεταξύ των κόμβων.
- Ο αναλυτής πολλαπλών πρωτοκόλλων επικοινωνίας (Multi-parser): μπορεί να διαβάσει και να τροποποιεί αρχεία που έχουν διαφορετικά μορφότυπα (formats) όπως για παράδειγμα XML, JSON, HL7 και DICOM τα οποία είναι τα πιο δημοφιλή μορφότυπα αρχείων στον ιατρικό τομέα.
- Ο XMPP Server/Client : χρησιμοποιείται για την αποστολή άμεσων μηνυμάτων μεταξύ των κόμβων.

Τέλος, η οντότητα P2Care Client διατηρεί ένα σύνολο από DHT πίνακες με τα αποθηκευμένα δεδομένα και τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με τον πίνακα δρομολόγησης Routing Table, τον πίνακα με τους γειτονικούς κόμβους Neighbor Table, τους πρωτεύοντες και τους δευτερεύοντες υπερ-κόμβους (super-peers) καθώς και το Bootstrap κόμβο.

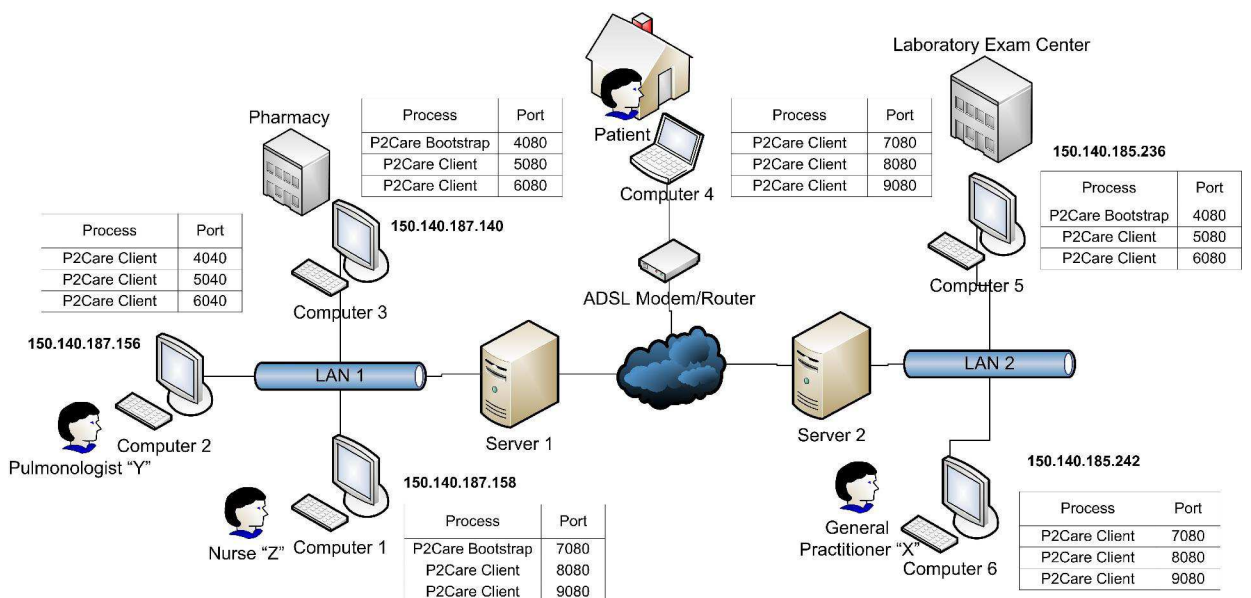


Σχήμα 3.16: Αρχιτεκτονική του P2Care Client.

### 3.6.3 Πλατφόρμα Δοκιμών (Testbed)

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, αναπτύχθηκε μια πλατφόρμα δοκιμών (testbed) αναπτύχθηκε με σκοπό να πιστοποιηθεί η λειτουργικότητα και η απόδοση της πρότυπης εφαρμογής μέσω μελέτης συγκεκριμένων περιπτώσεων (case study), όπως περιγράφηκε στην ενότητα 3.5.

Το υποκείμενο δίκτυο περιλαμβάνει πέντε υπολογιστές γραφείου τοποθετημένους στις εγκαταστάσεις του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών και ένα φορητό υπολογιστή σε ένα οικιακό ευρύζωνικό δίκτυο. Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.17, οι υπολογιστές 1, 2 και 3 είναι συνδεδεμένοι στο Διαδίκτυο μέσω του εξυπηρετητή (Server) 1, ενώ οι υπολογιστές 5 και 6 είναι συνδεδεμένοι μέσω του εξυπηρετητή (Server) 2. Ο υπολογιστής 4 συνδέεται στο Διαδίκτυο μέσω ενός ADSL δρομολογητή (Router).



Σχήμα 3.17: Πλατφόρμα δοκιμών.

Με σκοπό να εξομοιωθεί η συμπεριφορά πολλαπλών χρηστών, τρέχουμε διαφορετικά στιγμιότυπα (instances) της εφαρμογής P2Care στο ίδιο μηχάνημα. Συνολικά, εξομοιώσαμε ένα δίκτυο με μέσο αριθμό συνδεδεμένων κόμβων ίσο με 30 κόμβους που συνδέονται

και αποσυνδέονται δυναμικά στο σύστημα. Επιβεβαιώθηκε ότι το δίκτυο παραμένει σταθερό, οι πίνακες δρομολόγησης και οι πίνακες όπου αποθηκεύονται οι γειτονικοί κόμβοι καθώς και η λίστα με τους υπερ-κόμβους (super-peers) ανανεώνονται σωστά και η δομή του υπερκείμενου δικτύου παρέμεινε σταθερή και σύμφωνη με το θεωρητικό μοντέλο.

Ένα στιγμιότυπο του σεναρίου περίπτωσης χρήσης (use case scenario) παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.17. Δημιουργήθηκαν υπερκείμενα δίκτυα για πνευμονολόγους ιατρούς, γενικούς ιατρούς, φαρμακεία, νοσηλευτές, ασθενείς και κέντρα εργαστηριακών εξετάσεων. Στους συμμετέχοντες κόμβους του δικτύου διαμοιράστηκαν αρκετά αρχεία με βασικές πληροφορίες σχετικά με τα προφίλ των ασθενών, τους ιατρικούς και παραϊατρικούς επαγγελματίες του τομέα της υγειονομικής περίθαλψης καθώς και λίγα αρχεία που περιείχαν πληροφορίες για ιατρικές εξετάσεις και ιατρικές απεικονίσεις. Ένας ασθενής (συνδεδεμένος μέσω του υπολογιστή 4) , συνδέθηκε στο υπερκείμενο δίκτυο των ασθενών και εκτέλεσε μια απλή αναζήτηση με ένα μόνο κριτήριο με σκοπό να επικοινωνήσει με τον προσωπικό γενικό ιατρό (Υπολογιστής 6) που τον κουράρει. Ο γενικός ιατρός αποφάσισε να συνεργαστεί με έναν πνευμονολόγο και ένα κέντρο εργαστηριακών εξετάσεων. Ο πνευμονολόγος “Υ” (Υπολογιστής 2) και το κέντρο εργαστηριακών εξετάσεων (Υπολογιστής 5) που ικανοποιούσαν τα κριτήρια (αναζήτηση με πολλαπλά κριτήρια) που έθεσε ο γενικός ιατρός “Χ”, επιλέχθηκαν από το δίκτυο P2Care. Ο πνευμονολόγος “Υ” αποφάσισε να συνεργαστεί με ένα φαρμακείο και ένα νοσηλευτή “Ζ” (Υπολογιστές 3 και 1 αντίστοιχα). Με σκοπό τον έλεγχο των βασικών λειτουργιών επικοινωνίας των κόμβων σε πραγματικές συνθήκες, διαμοιράστηκαν άμεσα μηνύματα και αποκαταστάθηκαν φωνητικές κλήσεις μεταξύ των συμμετεχόντων κόμβων.

Το Σχήμα 3.18 αποτελείται από μερικές εικόνες που λήφθηκαν από την απεικόνιση της οθόνης του υπολογιστή και παρουσιάζει τις βασικές λειτουργίες που μπορούν να εκτελεστούν μέσω της πλατφόρμας δοκιμών (testbed).



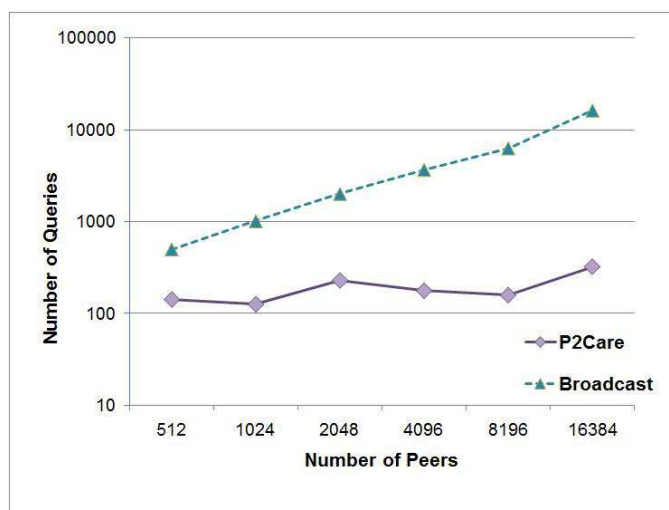
**Σχήμα 3.18:** Εικόνες που λήφθηκαν από την απεικόνιση της οθόνης του υπολογιστή της εφαρμογής P2Care.

### 3.7 Αξιολόγηση

Για την αξιολόγηση της απόδοσης των καινοτόμων μηχανισμών αναζήτησης πληροφορίας που προτάθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής καθώς και για τη διατήρηση της σταθερότητας και της επεκτασιμότητας του δικτύου, τόσο στο μοντέλο της βασικής λειτουργίας όσο και στο μοντέλο έκτακτης ανάγκης, εκτελέστηκε ένα σύνολο από προσομοιώσεις χρησιμοποιώντας το εργαλείο προσομοίωσης Matlab.

Στον πρώτο γύρο των προσομοιώσεων μελετήθηκε ο αριθμός των μηνυμάτων σηματοδότησης που στέλνονται όταν η οντότητα P2Care Client χειρίζεται ερωτήματα με πολλαπλά κριτήρια μέσα στο ίδιο υπερκείμενο δίκτυο είτε των ασθενών είτε των παρόχων υγειονομικής περίθαλψης. Οι βασικές παράμετροι είναι: (α) ο αριθμός των ομοτίμων κόμβων του υπερκείμενου δικτύου και (β) η πιθανότητα  $p_{success}$  η πληροφορία που αναζητείται να είναι αποθηκευμένη στο υπερκείμενο δίκτυο. Το Σχήμα 3.19 παρουσιάζει τον αριθμό των ερωτημάτων που απαιτούνται για την ολοκλήρωση μιας αναζήτησης με

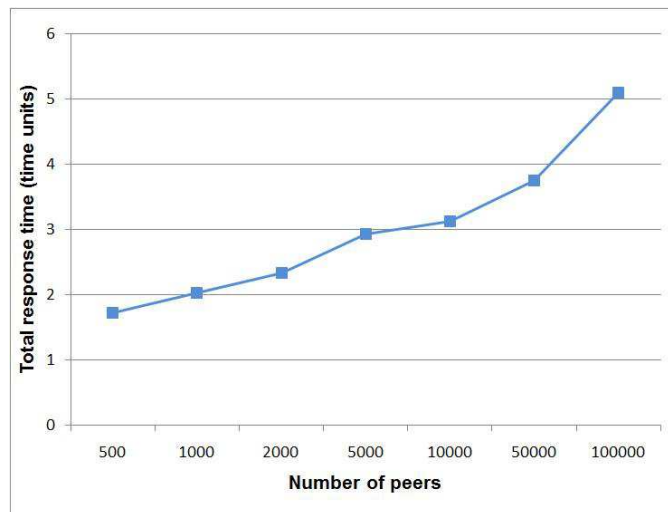
πολλαπλά κριτήρια και το πώς επηρεάζεται ο αριθμός αυτών των ερωτημάτων καθώς αυξάνεται ο αριθμός των ομότιμων κόμβων που συμμετέχουν στο υπερκείμενο δίκτυο. Ο μηχανισμός P2Care συγκρίνεται με το μηχανισμό αποστολής μηνυμάτων ευρυεκπομπής (Broadcast [71]) μέσω των λογικών ζεύξεων που είναι μια προσέγγιση του μηχανισμού αποστολής πλημμύρας μηνυμάτων (flooding), που αποτελεί κοινή προσέγγιση για τη διαδικασία αναζήτησης με πολλαπλά κριτήρια. Είναι προφανές ότι το δίκτυο P2Care είναι πιο αποτελεσματικό στην ανεύρεση των καταχωρήσεων, δεδομένου ότι επιτυγχάνει ανάκτηση πληροφοριών εκτελώντας λιγότερα ερωτήματα στους κόμβους του υπερκείμενου δικτύου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο δίκτυο P2Care η αναζήτηση με πολλαπλά ερωτήματα τερματίζεται αυτόματα τη χρονική στιγμή που λαμβάνεται η πρώτη επιτυχής απάντηση που ικανοποιεί τα κριτήρια που έχουν τεθεί χωρίς να είναι απαραίτητο ο αλγόριθμος να διατρέξει όλη την έκταση του υπερκείμενου δικτύου.



**Σχήμα 3.19:** Αριθμός ερωτημάτων συναρτήσει του αριθμού των κόμβων για αναζήτηση με πολλαπλά κριτήρια.

Στο Σχήμα 3.20, παρουσιάζεται ο συνολικός χρόνος απόκρισης (σε time units) για την επιτυχή εκτέλεση του P2Care αλγορίθμου αναζήτησης ενός ερωτήματος συναρτήσει του αριθμού των κόμβων. Ως "time unit" ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται για τη μετάδοση ενός ερωτήματος και τη λήψη της απάντησης. Σε αυτήν την περίπτωση, 1000 αρχεία

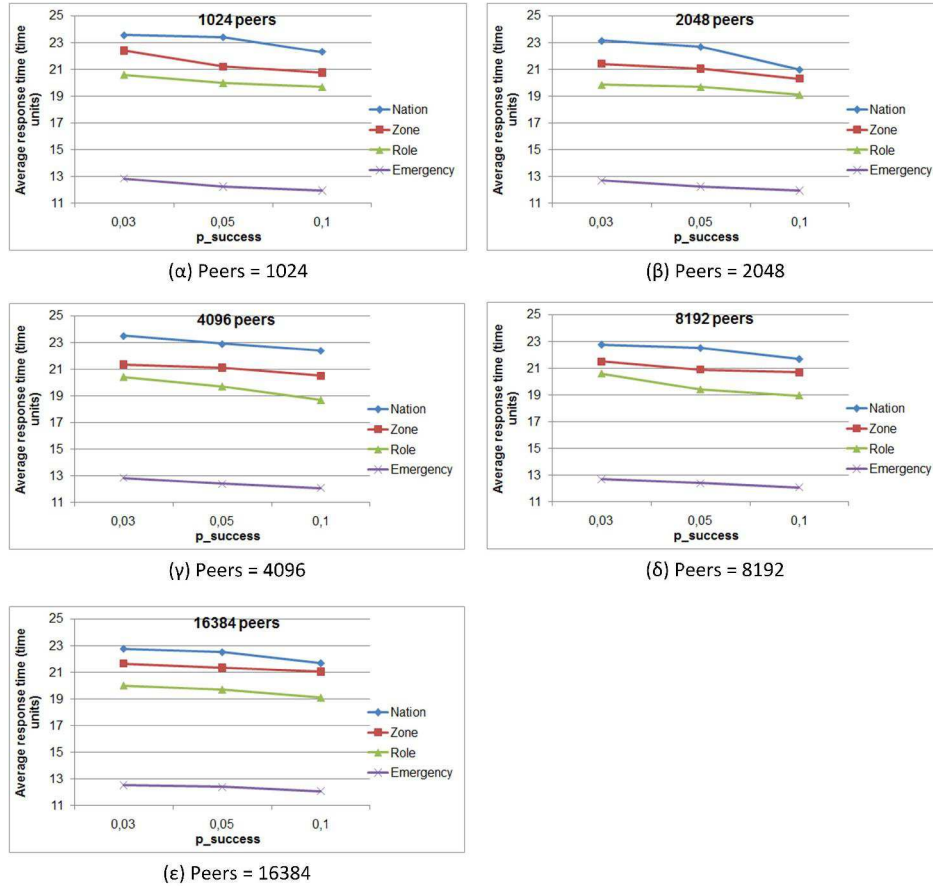
που πληρούν τα απαραίτητα κριτήρια αποθηκεύονται στο υπερκείμενο δίκτυο ανεξάρτητα από τον αριθμό των ομότιμων κόμβων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ακόμη και όταν συμμετέχει ένας μεγάλος αριθμός κόμβων στη δημιουργία του υπερκείμενου δικτύου, ο ρυθμός αύξησης του συνολικού χρόνου απόκρισης και ανάκτησης της καταχώρησης είναι πολύ μικρός. Αυτό συνεπάγεται ότι ο καινοτόμος αλγόριθμος που προτείναμε εκτελείται εξαιρετικά καλά από την άποψη της επεκτασιμότητας (scalability) και επιτρέπει την ανεύρεση σπάνιων καταχωρήσεων σε μικρό χρονικό διάστημα αποφεύγοντας καθυστερήσεις και αστοχίες που μπορούν να συμβούν στα μεγάλης κλίμακας δίκτυα.



**Σχήμα 3.20:** Συνολικός χρόνος απόκρισης συναρτήσει του αριθμού των κόμβων.

Στο δεύτερο γύρο των προσομοιώσεων, μελετήθηκε η απόδοση του προτεινόμενου δικτύου της υγειονομικής περίθαλψης στην εκτέλεση ερωτημάτων μεταξύ διαφορετικών υπερκείμενων δικτύων (inter-overlay). Πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις για χρήστες που εκτελούν διαφορετικούς ρόλους, ευρίσκονται σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές (ζώνες) και σε διαφορετικά συστήματα υγείας (διαφορετικά κράτη) τόσο για το βασικό μοντέλο λειτουργίας του δικτύου P2Care όσο και για το μοντέλο λειτουργίας έκτακτης ανάγκης.

Το Σχήμα 3.21 παρουσιάζει το μέσο χρόνο απόκρισης σε σχέση με την πιθανότητα επιτυχούς ανεύρεσης των δεδομένων  $p\_success$  για υπερκείμενα δίκτυα που αποτελούνται από 1024, 2048, 4096, 8192 και 16384 κόμβους αντίστοιχα.

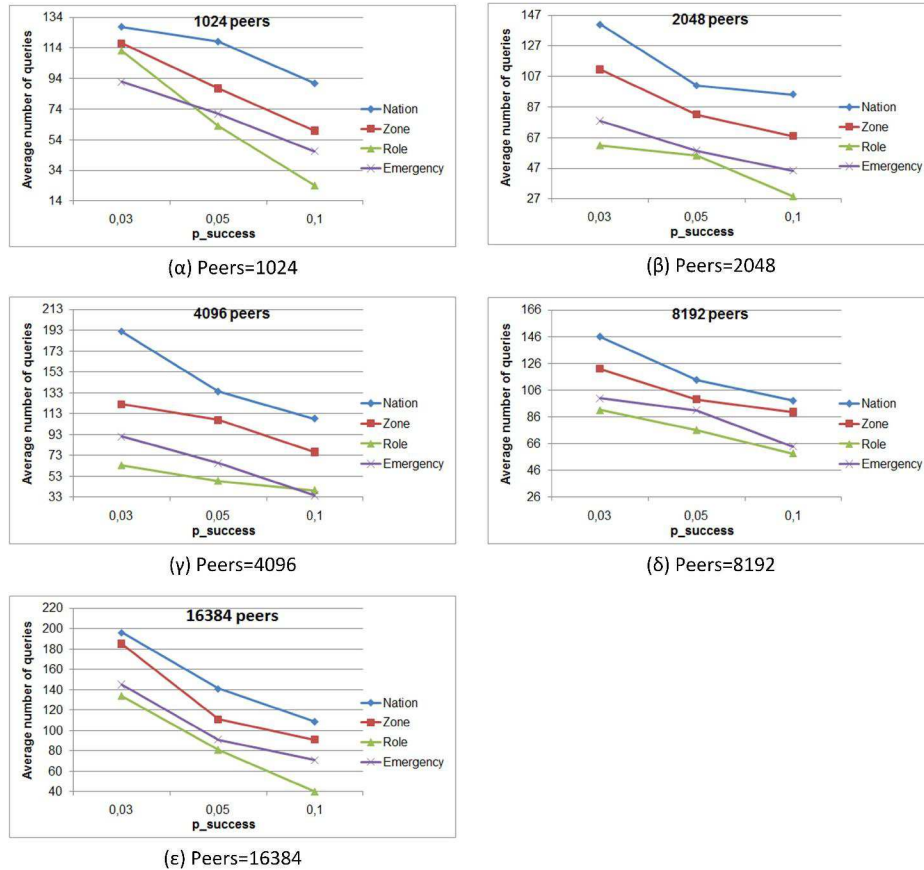


**Σχήμα 3.21:** Μέσος χρόνος απόκρισης συναρτήσει της πιθανότητας επιτυχούς ανεύρεσης της πληροφορίας για (α) 1024, (β) 2048, (γ) 4096, (δ) 8192 και (ε) 16384 κόμβους.

Από τα δεδομένα αποδεικνύεται ότι οι λειτουργίες αναζήτησης εκτελούνται με αποτελεσματικό και επεκτάσιμο τρόπο, καθώς ο μέσος χρόνος απόκρισης είναι μικρότερος από 24 μονάδες (time units) για το μοντέλο της βασικής ιεραρχικής λειτουργίας και μικρότερος από 13 μονάδες (time units) για το μοντέλο λειτουργίας έκτακτης ανάγκης, ανεξάρτητα από τον αριθμό των ομοτίμων κόμβων. Αυτό σημαίνει ότι το δίκτυο μπορεί να ανακτήσει σπάνιες πληροφορίες χωρίς να διακυβεύεται η επεκτασιμότητα και η αποτελεσματικότητά του. Καθώς αυξάνεται η πιθανότητα επιτυχούς ανεύρεσης των δεδομένων  $p_{success}$ , ο μέσος χρόνος απόκρισης μειώνεται δεδομένου ότι περισσότεροι χρήστες διαθέτουν αντίγραφα των ζητούμενων πληροφοριών. Επιπλέον, λειτουργίες μεταξύ των υπερκείμενων δικτύων από διαφορετικά συστήματα υγείας (διαφορετικά κράτη)

απαιτούν περισσότερο χρόνο σε σχέση με λειτουργίες μεταξύ των υπερκείμενων δικτύων από διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές - ζώνες και διαφορετικούς ρόλους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι για την αναζήτηση των επιθυμητών δεδομένων και πληροφοριών πρέπει να γίνει μεταφορά μηνυμάτων μέσω πολλαπλών βαθμίδων. Από την άλλη πλευρά, στην ιεραρχική δομή των δύο επιπέδων του μοντέλου λειτουργίας έκτακτης ανάγκης, τα απαιτούμενα μηνύματα θα ακολουθήσουν μια διαδρομή δύο βημάτων μεταξύ της θέσης αφετηρίας και του προορισμού τους.

Το Σχήμα 3.22 παρουσιάζει το μέσο αριθμό ερωτημάτων σε σχέση με την πιθανότητα επιτυχούς ανεύρεσης των δεδομένων  $p\_success$  για υπερκείμενα δίκτυα που αποτελούνται από 1024, 2048, 4096, 8192 και 16384 κόμβους αντίστοιχα. Οι ιδιότητες επεκτασιμότητας του προτεινόμενου ιεραρχικού δικτύου P2Care για την παροχή υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης προβάλλονται μέσω του μέσου αριθμού των ερωτημάτων. Ακόμη και για ένα μεγάλο αριθμό χρηστών (16.384 χρήστες), ο μέσος αριθμός των ερωτημάτων που πρέπει να αποσταλούν για την ανεύρεση της πληροφορίας δεν είναι μεγαλύτερος από 200 αιτήματα, αριθμός πολύ μικρός σε σύγκριση με την τάξη μεγέθους του υπερκείμενου δικτύου. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός της ελεγχόμενης αποστολής των μηνυμάτων σε κόμβους που δεν έχουν ερωτηθεί προηγουμένως και έχουν αυξημένες πιθανότητες να έχουν αποθηκευμένη την πληροφορία λόγω των κοινών τους ιδιοτήτων. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο αριθμός των απαιτούμενων μηνυμάτων που πρέπει να αποσταλούν για την ανάκτηση πληροφοριών που ανήκουν σε διαφορετικά συστήματα υγείας (κράτη) είναι μεγαλύτερος από ό,τι όταν τα αιτήματα πρέπει να αποσταλούν σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές - ζώνες ή για διαφορετικούς ρόλους. Στο μοντέλο λειτουργίας έκτακτης ανάγκης, αν και ο αριθμός των απαιτούμενων μηνυμάτων παραμένει χαμηλός από ό,τι ο αριθμός των μηνυμάτων που στέλνονται σε διαφορετικές ζώνες και συστήματα υγείας (κράτη), για ένα μεγάλο αριθμό κόμβων είναι υψηλότερος σε σχέση με τα απαιτούμενα μηνύματα που θα σταλούν για την επικοινωνία μεταξύ υπερκείμενων δικτύων με διαφορετικούς ρόλους του μοντέλου της βασικής λειτουργίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το υπερκείμενο δίκτυο των Bootstrap κόμβων είναι σημαντικά μεγαλύτερο σε έκταση από το υπερκείμενο δίκτυο του ρόλου, δεδομένου ότι αποτελείται από το συνολικό άθροισμα των Bootstrap κόμβων.



**Σχήμα 3.22:** Μέσος αριθμός ερωτημάτων συναρτήσει της πιθανότητας επιτυχούς ανεύρεσης της πληροφορίας για (α) 1024, (β) 2048, (γ) 4096, (δ) 8192 και (ε) 16384 κόμβους.

### 3.8 Συμπεράσματα

Ο τομέας της παροχής υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης είναι εγγενώς ένα σύστημα μεγάλης κλίμακας που παρουσιάζει έντονες απαιτήσεις για συνεργασία μεταξύ ετερογενών συστημάτων με σκοπό την αποτελεσματική επεξεργασία, αποθήκευση και διαμοιρασμό μιας τεράστιας ποικιλίας διαφορετικών πληροφοριών και πόρων, έτσι ώστε ο ασθενής να λάβει σωστή και έγκαιρη θεραπεία αποφεύγοντας τα ιατρικά λάθη και μειώνοντας το ιατρικό κόστος από τη διακομιδή του στο νοσοκομείο και τη νοσηλεία του.

Η παρούσα διατριβή προτείνει ένα δυναμικό και αυτο-οργανούμενο ιεραρχικό δίκτυο που ονομάζεται P2Care για την αντιμετώπιση των απαιτήσεων για συνεργασία μεταξύ ετερογενών συστημάτων με σκοπό την αποτελεσματική επεξεργασία, αποθήκευση και

διαμοιρασμό διαφορετικών πληροφοριών και πόρων. Το δίκτυο P2Care είναι ένα κατα-  
νεμημένο ιεραρχικό δίκτυο παροχής υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης που βασίζει  
τη λειτουργία του στην αρχιτεκτονική των δομημένων υπερκείμενων δικτύων ομοτίμων  
κόμβων. Το P2Care ενσωματώνει μηχανισμούς για την οργάνωση των ασθενών, του ια-  
τρικού και παραϊατρικού προσωπικού σε ομάδες με κοινά χαρακτηριστικά και ενδιαφέ-  
ροντα, δηλαδή, ανάλογα με τους κοινούς ρόλους, τις ειδικότητες και τη γεωγραφική θέση  
στην οποία ανήκουν. Η ομαδοποίηση αυτή δίνει τη δυνατότητα να παρέχεται ασφαλής  
και αποτελεσματική αναζήτηση των επιθυμητών πληροφοριών, δεδομένου ότι μειώνει το  
συνολικό χρόνο απόκρισης και τον επίφορτο σηματοδοσίας (signaling overhead). Επιπλέ-  
ον, το δίκτυο P2Care παρέχει μηχανισμούς για την αναζήτηση και το διαμοιρασμό των  
πληροφοριών με βάση την αναζήτηση με πολλαπλά κριτήρια (σύνθετα ερωτήματα που  
στηρίζονται στη ταυτόχρονη αναζήτηση πολλαπλών λέξεων-κλειδιών), προκειμένου να  
ανακαλύψει δυναμικά τους διαθέσιμους πόρους και να διασφαλίσει την εξατομικευμένη  
παροχή υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης.

Ένα πρότυπο υλοποιήθηκε ως απόδειξη για την τεκμηρίωση της ορθής λειτουργίας  
του δικτύου P2Care. Το πρότυπο αυτό περιλαμβάνει μια φιλική προς το χρήστη γραφική  
διεπαφή χρήστη που παρέχει πρόσβαση σε βασικές υπηρεσίες και λειτουργίες σχετικές  
με τη συνδεσιμότητα, λειτουργίες αναζήτησης, διαμοιρασμού αρχείων, και συνεργασί-  
ας. Επίσης, υλοποιήθηκε και μια πλατφόρμα δοκιμής (testbed) προκειμένου να εξετα-  
σθεί η απόδοση του προτύπου. Επιπλέον, η απόδοση του δικτύου P2Care αξιολογήθηκε  
μέσω προσομοιώσεων. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων επιβεβαιώνουν την απο-  
τελεσματικότητα των προτεινόμενων αλγορίθμων για δρομολόγηση εκτελώντας αναζή-  
τηση με πολλαπλά κριτήρια όσον αφορά τη σηματοδοσία, το χρόνο απόκρισης και την  
πολυπλοκότητα. Επιπροσθέτως, τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων επιβεβαιώνουν  
την επεκτασιμότητα και την αποτελεσματικότητα των δύο παράλληλων ιεραρχικών μο-  
ντέλων καθώς παρουσιάζουν χαμηλό χρόνο απόκρισης και χαμηλό αριθμό ερωτημάτων,  
ακόμα και για την ανάκτηση σπάνιων δεδομένων, ανεξάρτητα από τον αριθμό των ομοτί-  
μων κόμβων που συμμετέχουν στο σχηματισμό του υπερκείμενου δικτύου. Θα πρέπει να  
αναφερθεί ότι το ιεραρχικό μοντέλο λειτουργίας έκτακτης ανάγκης μπορεί να μειώσει ση-  
μαντικά το χρόνο απόκρισης, παρόλα αυτά δεν συνιστάται ως αυτόνομη λύση για δίκτυα

μεγάλης κλίμακας όπως είναι το δίκτυο παροχής υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης. Και αυτό διότι, η συνεχής λειτουργία του δικτύου έκτακτης ανάγκης προκαλεί αύξηση του φορτίου (overload) του υπερκείμενου δικτύου των Bootstrap. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αστάθεια της λειτουργίας του δικτύου δημιουργώντας κρίσιμες συνθήκες και αστοχίες που δεν μπορεί να αντέξει και δεν είναι σύμφωνες με την ορθή λειτουργία των συστημάτων υγειονομικής περίθαλψης.

Σύμφωνα με τα όσα προέκυψαν από τα αποτελέσματα προσομοιώσεων, συνάγεται ότι το δίκτυο P2Care μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα πολύτιμο εργαλείο για τους επαγγελματίες του τομέα της υγείας, όταν αποφασίζουν για την κατάλληλη θεραπεία. Η διεξαγωγή περαιτέρω μακροχρόνιων μελετών του δικτύου P2Care, όπου να συμπεριληφθεί ένας σημαντικά μεγάλος αριθμός παρόχων, αποτελεί μελλοντική εργασία που θα σκιαγραφήσει με περισσότερες λεπτομέρειες την αποτελεσματικότητα και τα οφέλη που μπορούν να προκύψουν από την υιοθέτηση του προτεινόμενου συστήματος στην παροχή εξ αποστάσεως εξατομικευμένων υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης.

## Κεφάλαιο 4

### Ενδιάμεση πλατφόρμα διαλειτουργικής υποστήριξης συνεργασίας των εμπλεκόμενων οντοτήτων

#### 4.1 Εισαγωγή

Ο αυξημένος αριθμός των ατόμων που πάσχουν από χρόνιες παθήσεις καθώς και το ποσοστό αύξησης των συσκευών και των παρόχων που επιτρέπουν την απομακρυσμένη παρακολούθησή τους έθεσαν νέες προκλήσεις και απαιτήσεις στο χώρο της βιομηχανίας με σκοπό την επίτευξη συνεργασίας.

Κάθε ασθενής είναι σε θέση να διαθέτει διάφορες συσκευές και να επιλέγει μέσα από ένα πλήθος εφαρμογών και υπηρεσιών που προσφέρονται είτε από έναν είτε από περισσότερους διαφορετικούς παρόχους για την παρακολούθηση της υγείας του εξ αποστάσεως. Η ποικιλότητα αυτή ανάμεσα στους διαφορετικούς παρόχους και στις συσκευές για εξ' αποστάσεως παρακολούθηση και παροχή υπηρεσιών υγείας ανέδειξε πολλά προβλήματα σε θέματα ολοκλήρωσης (integration) και διαλειτουργικότητας (interoperability), τόσο μεταξύ των ετερογενών δεδομένων όσο και μεταξύ των διαφορετικών συσκευών, δικτύων και εφαρμογών που κάθε χρήστης επιθυμούσε να χρησιμοποιήσει και κάθε πάροχος υποστήριζε.

Σταδιακά αναπτύχθηκαν καταναεμημένα συστήματα υποστήριξης συνεργατικών συστημάτων μεταξύ της πρωτοβάθμιας και της δευτεροβάθμιας περίθαλψης, όπως για παράδειγμα το Share4Health [8], TelMed [9] και WebOnColl [10]. Μέσω των συστημάτων

αυτών δόθηκε η δυνατότητα σε περισσότερους επαγγελματίες του χώρου της υγείας να έχουν πρόσβαση στα αρχεία και στα δεδομένα του κάθε ασθενούς και να παρέχουν ένα γενικότερο σχέδιο φροντίδας και αποθεραπείας. Όμως, τα συστήματα αυτά αναπτύχθηκαν να λειτουργούν στα αυστηρά όρια ενός μεμονωμένου οργανισμού (π.χ. δημόσια νοσοκομεία) και κατά συνέπεια δεν μπορούσαν να ανταποκριθούν και να αντεπεξέλθουν στις απαιτήσεις που επέβαλαν οι νέες εξελίξεις για καθολική συνεργασία. Σύμφωνα με αυτούς τους περιορισμούς, μόνο οι επαγγελματίες του χώρου της υγείας που ανήκαν στον ίδιο οργανισμό (π.χ. δημόσιο νοσοκομείο) είχαν πρόσβαση στα συστήματα αυτά και στους ιατρικούς φακέλους των ασθενών αποκλείοντας άλλους παρόχους να προσφέρουν ολοκληρωμένες λύσεις υγειονομικής περίθαλψης. Επιπλέον, ο ασθενής έπρεπε κάθε φορά να αλλάζει τον τερματικό εξοπλισμό και να αγοράζει εκ νέου άλλον σε περίπτωση που ήθελε να μεταβεί σε άλλον πάροχο ή να χρησιμοποιήσει μια νέα εξελιγμένη υπηρεσία (advanced services).

Η παρούσα εργασία προσέγγισε το πρόβλημα της καθολικής συνεργασίας προτείνοντας μια Πλατφόρμα Παροχής Υπηρεσιών Νέας Γενιάς (Next Generation Service Delivery Platform - NG-SDP) για τον χώρο της υγείας. Η προτεινόμενη πλατφόρμα εισάγει καινοτόμες λειτουργίες συλλογής πληροφοριών από διάφορους βιοαισθητήρες, το συγκεκριμένο (context) του ασθενούς και την αξιολόγησή τους με σκοπό την ενσωμάτωση της αυτόματης λειτουργίας ενεργοποίησης της πλατφόρμας και την εύρεση, ολοκλήρωση και σύνθεση νέων εξατομικευμένων υπηρεσιών. Στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής προτάθηκε μια αρχιτεκτονική για την υλοποίηση της προτεινόμενης πλατφόρμας σύμφωνα με τις προδιαγραφές και τις τυποποιήσεις από τον οργανισμό της ITU (Telecom SDP σε δίκτυα επόμενης γενιάς) [72], Moriana Group [73], OMA (Open Mobile Alliance) [74], OSE (OMA Service Environment)[75], ERICSSON [76],[77].

Επιπροσθέτως, προτάθηκε και μια συνεργατική πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα, Ολοκληρωμένη Πλατφόρμα Διαμεσολάβησης (Integrated Broker Platform - IBP), αποτελούμενη από τα κύρια δομικά στοιχεία της NG-SDP τα οποία είναι υπεύθυνα για την παροχή λειτουργιών μηνυματοδοσίας, ολοκλήρωσης και ανάπτυξης νέων εφαρμογών έτσι ώστε η προτεινόμενη πλατφόρμα να είναι ανεξάρτητη λειτουργικά από τις διάφορες επιχειρησιακές λύσεις. Η IBP δίνει τη δυνατότητα σε οποιονδήποτε τρίτο πάροχο να αναπτύξει

μια Πλατφόρμα Παροχής Υπηρεσιών Νέας Γενιάς (NG-SDP) για τις ανάγκες του με επαναχρησιμοποίηση των πόρων που διαθέτει είτε με την ενσωμάτωση των λογισμικών συστημάτων του σε νέες λύσεις που θα προμηθευτεί. Δεδομένης της πολυπλοκότητας της ανάπτυξης μιας NG-SDP, κυρίως από τρίτους παρόχους μικρής κλίμακας, προτάθηκε και η λογική υλοποίησης συνεργατικών σχημάτων με τη χρήση τεχνολογιών νέφους τα οποία θα επιτρέπουν στους παρόχους αυτούς να ενοικιάζουν και να χρησιμοποιούν τα δομικά τους στοιχεία για λειτουργίες μηνυματοδοσίας, ολοκλήρωσης, ασφάλειας, διαχείρισης και ανάπτυξης νέων εφαρμογών έτσι ώστε να μπορούν να αναπτύξουν εξατομικευμένες υπηρεσίες χωρίς να διαθέτουν τον απαραίτητο εξοπλισμό.

Το υπόλοιπο της ενότητας του κεφαλαίου αυτού οργανώνεται ως εξής. Η ενότητα 3.2 παρουσιάζει τις συναφείς εργασίες και τις τεχνολογικές εξελίξεις που οδήγησαν στη λογική ανάπτυξης της Πλατφόρμας Παροχής Υπηρεσιών (SDP). Η ενότητα 3.3 παρουσιάζει την αρχιτεκτονική και τις βασικές λειτουργίες της προτεινόμενης Πλατφόρμας Παροχής Υπηρεσιών Υγείας Νέας Γενιάς (NG-SDP). Η ενότητα 3.4 παρουσιάζει την Ολοκληρωμένη Πλατφόρμα Διαμεσολάβησης (IBP) η οποία αποτελεί μια μικρογραφία της NG-SDP παρέχοντας τις λεπτομέρειες της αρχιτεκτονικής και τις βασικές λειτουργίες των κύριων δομικών στοιχείων της πλατφόρμας NG-SDP, δηλαδή, του διαύλου μηνυματοδοσίας (TSB) και του διαύλου παροχής υπηρεσιών (SB). Στην ενότητα 3.5 παρουσιάζεται πλήρως η αρχιτεκτονική της μελλοντικής πλατφόρμας NG-SDP (Future NG-SDP), η οποία παρέχει ένα συνεργατικό σχήμα υλοποίησης μεταξύ των κύριων δομικών στοιχείων TSB και SB της πλατφόρμας που ανήκουν σε διαφορετικούς παρόχους μέσω της τεχνολογίας νέφους (cloud computing). Τέλος, η ενότητα 3.6 ολοκληρώνει την παρούσα εργασία.

## **4.2 Συναφείς ερευνητικές εργασίες**

Οι υπηρεσίες που διατίθενται στους καταναλωτές απαιτούν συνεχείς τροποποιήσεις όποτε αλλάζει το επιχειρησιακό σχέδιο και οι απαιτήσεις του παρόχου, οι οποίες συνήθως μεταβάλλονται αναλογικά με τις εξελίξεις στο χώρο της τεχνολογίας και των επικοινωνιών. Συνήθως, οι αλλαγές στο επιχειρησιακό σχέδιο ενός παρόχου μικρής κλίμακας δεν

αποτελούν πρόβλημα για την υλοποίηση των υπηρεσιών του. Ωστόσο, σε παρόχους μεγάλης κλίμακας, η τροποποίηση των υπηρεσιών τους συνεπάγεται αλλαγές σε πολλές εφαρμογές των τελικών χρηστών. Τέτοιες αλλαγές γίνονται όλο και περισσότερο δύσκολες στους κληροδοτημένους χρήστες (χρήστες παλαιών δικτύων). Επιπλέον, οι αλλαγές αυτές μπορεί να καταλήξουν σε μια αρχιτεκτονική εύθραυστη (no-feasibility) και άκαμπτη (non-flexible) όταν αναφερόμαστε σε μεγάλο αριθμό καταναλωτών και παρόχων υπηρεσιών.

Η έννοια του διαύλου υπηρεσιών (Enterprise Service Bus- ESB)[78],[79] είναι μια καινούργια έννοια που έχει κερδίσει την προσοχή των αρχιτεκτόνων συστημάτων λογισμικού και των προγραμματιστών. Η λειτουργία του βασίζεται στην Αρχιτεκτονική Αντικειμενοστρεφών Υπηρεσιών (Service Oriented Architecture- SOA) [80],[81] και παρέχει λειτουργίες ολοκλήρωσης, διαλειτουργικότητας, ασφάλειας και διαμεσολάβησης (brokering) μεταξύ διαφορετικών περιβαλλόντων υλοποίησης και μορφοτύπων (format) [82], [83]. Ο ESB αποτελεί μια ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική ενδιάμεσου λογισμικού που επιτρέπει σε διαφορετικά προγράμματα να επικοινωνήσουν το ένα με το άλλο με έναν οριοθετημένο τρόπο, ακόμα και αν βρίσκονται σε διαφορετικούς υπολογιστές ή εκτελούνται σε διαφορετικά λειτουργικά συστήματα ή είναι γραμμένα σε διαφορετικές γλώσσες προγραμματισμού [84]. Αν και ο δίαυλος ESB παρέχει ένα περιβάλλον ανταλλαγής μηνυμάτων μεταξύ διαφορετικών υπηρεσιών ανεξάρτητα από το πρωτόκολλο με το οποίο είναι υλοποιημένες, παρόλα αυτά, αποτυγχάνει να αντιμετωπίσει πολλές από τις προκλήσεις που θέτει η καθολική συνεργασία μεταξύ πολλαπλών ετερογενών παρόχων. Κύριος λόγος για αυτό είναι ότι δεν υπάρχει μέχρι στιγμής μια τυποποιημένη (standardized) αρχιτεκτονική για την υλοποίησή του. Ως εκ τούτου, υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις υλοποιήσεις που προτάθηκαν από αρκετές επιχειρησιακές λύσεις και οργανισμούς οι οποίες είναι συμβατές ως επί το πλείστον με τις υπηρεσίες και τις εφαρμογές που προσφέρει ο εκάστοτε πάροχος. Επιπλέον, η παροχή υπηρεσιών και η δημιουργία νέων εξατομικευμένων υπηρεσιών (personalized) απαιτεί εκτός από την επίτευξη ανταλλαγής μηνυμάτων, ένα ενιαίο περιβάλλον ολοκλήρωσης και διαχείρισης που ονομάζεται Πλατφόρμα Παροχής Υπηρεσιών (Service Delivery Platform- SDP).

Έως τώρα, αρκετές προσπάθειες έχουν πραγματοποιηθεί από επίσημους τηλεπικοινωνιακούς φορείς (π.χ. ITU [72], TMF, 3GPP, IETF, ETSI Parlay Group [85]), μη κερδοσκοπικούς φορείς (π.χ. Moriana Group [73]) και βιομηχανίες (π.χ. ERICSSON [76], IBM [86], Alcatel-Lucent, Nokia, Cisco, etc [87]) για την υιοθέτηση ενός επίσημου ορισμού, τη διαμόρφωση και τον καθορισμό της αρχιτεκτονικής της πλατφόρμας παροχής υπηρεσιών SDP. Παρόλα αυτά δεν έχει αποτυπωθεί ακόμα ένας ευρέως αποδεκτός ορισμός και μια ευρέως αποδεκτή ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική. Συνεπώς, κάθε πάροχος υλοποιεί τη δική του αρχιτεκτονική για να καλύψει τις ανάγκες του με το λογισμικό που έχει στη διάθεσή του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργούνται αντίστοιχα προβλήματα ολοκλήρωσης και διαλειτουργικότητας για καταναλωτές που ανήκουν σε διαφορετικούς παρόχους ή διαθέτουν τερματικές συσκευές από άλλους παρόχους.

Στον τομέα της απομακρυσμένης παροχής υπηρεσιών υγείας, ο Hoecke και οι υπόλοιποι συγγραφείς [88] πρότειναν μια φιλική προς το χρήστη πλατφόρμα διαμεσολάβησης (broker platform) για παροχή ηλεκτρονικών υπηρεσιών υγείας κατ'οίκον (e-homeware services) βασισμένη σε τεχνολογίες υπηρεσιών ιστού. Οι συγγραφείς προτείνουν έναν μηχανισμό πιστοποίησης (authenticating), ο οποίος εξασφαλίζει στο χρήστη σύνδεση μια φορά στην πλατφόρμα κατά τη διαδικασία της έναρξης χρήσης και εγγυάται ασφάλεια καθ' όλη τη διάρκεια χρήσης της χωρίς να χρειαστεί ο χρήστης να ταυτοποιηθεί ξανά. Για την υλοποίηση του μηχανισμού αυτού χρησιμοποιήθηκε μια υλοποίηση ανοιχτού διαύλου λογισμικού (open ESB) για λειτουργίες ολοκλήρωσης μεταξύ των αιτούντων πρόσβαση στην πλατφόρμα (τελικών χρηστών) και του παρόχου. Παρόλα αυτά, η ολοκλήρωση και η διαλειτουργικότητα των οντοτήτων που λαμβάνουν μέρος σε επίπεδο συντακτικό (syntactic), σημασιολογικό (semantic) και οντοτήτων (ontology) παραμένει αδιευκρίνιστη. Ο Παγκόσμιος οργανισμός Ανοιχτής Ηλεκτρονικής Υγείας (Open eHealth Foundation) έχει προτείνει και υλοποιήσει μια πλατφόρμα που βασίζεται σε ανοιχτά πρότυπα (Open eHealth Integration Platform (IPF)) [89] για την ολοκλήρωση των δεδομένων του προφίλ του χρήστη με τον ιατρικό του φάκελο ανεξαρτήτως πρωτοκόλλου που είναι αποθηκευμένα τα δεδομένα.

Καθώς οι εξελίξεις στον χώρο των τηλεπικοινωνιών και της επιστήμης της υγείας σημειώνουν ραγδαίες προόδους, κρίνεται επιτακτική και αναγκαία η δόμηση μιας SDP επόμενης γενιάς, η οποία θα μπορέσει να ολοκληρώσει εκτός από δεδομένα, υπηρεσίες και δομικά στοιχεία από διαφορετικούς οργανισμούς. Η αρχιτεκτονική της SDP οφείλει να είναι «ανοιχτή» με σκοπό να προσφέρει ευέλικτες και διαλειτουργικές λύσεις ανεξάρτητη από την υλοποίηση του κάθε παρόχου [90], [73].

Η διδακτορική αυτή διατριβή έχει ως στόχο να προσεγγίσει και να ορίσει με πληρότητα μια νέας γενιάς πλατφόρμα παροχής υπηρεσιών που να είναι ανοιχτή σε όλους τους παρόχους, χρήστες και φορείς με σκοπό την αντιμετώπιση της ανάγκης για καθολική συνεργασία. Συγκεκριμένα, παρέχει συστάσεις για τις βασικές λειτουργίες και τις λειτουργικές οντότητες που πρέπει να διέπουν μια πλατφόρμα νέας γενιάς (NG-SDP) για την παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών στο χώρο της υγείας. Η NG-SDP διαφοροποιείται από τις υπάρχουσες πλατφόρμες παροχής υπηρεσιών ενσωματώνοντας γνωσιακές (cognitive) ιδιότητες στην SDP με σκοπό τη σύνθεση και παροχή υπηρεσιών ανάλογα με τις ανάγκες και το προφίλ του χρήστη. Αυτή η ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική στοχεύει στην επίλυση πολλών ζητημάτων που θέτει η καθολική συνεργασία μεταξύ ετερογενών παρόχων.

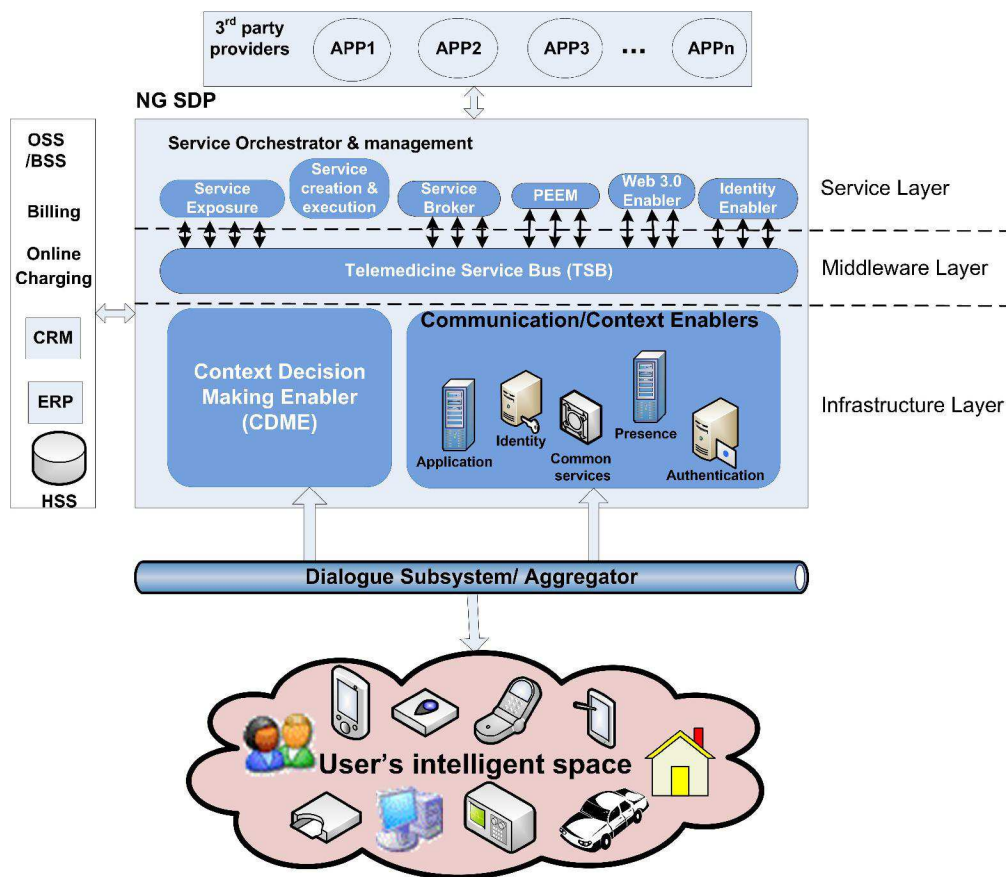
### **4.3 Πλατφόρμα Παροχής Υπηρεσιών Νέας Γενιάς (NG-SDP)**

#### **4.3.1 Ορισμός και Επισκόπηση της NG-SDP**

Η NG-SDP είναι μια αρχιτεκτονική ενδιάμεσης πλατφόρμας (μεσισμικό - middleware) που επιτρέπει την αποδοτική δημιουργία, ανάπτυξη, εκτέλεση, ενορχήστρωση και διαχείριση μίας ή περισσότερων υπηρεσιών. Η αρχιτεκτονική της NG-SDP συμβαδίζει με τις αρχές και τη λειτουργικότητα της αρχιτεκτονικής SOA και των Δικτύων Νέας Γενιάς (NGNs), έτσι ώστε να παρέχει ευελιξία, ολοκλήρωση, διαλειτουργικότητα, ικανότητα επαναχρησιμοποίησης δομικών στοιχείων, πόρων και υπηρεσιών, γρήγορη σύνθεση νέων υπηρεσιών και φυσικά συνολικά χαμηλό κόστος και ταχύτητα υλοποίησης για τρίτους παρόχους (3rd party providers).

Η NG-SDP αποτελείται από μια πληθώρα λειτουργικών οντοτήτων (functional entities - FEs). Οι λειτουργικές αυτές οντότητες συνθέτουν τη βασική της λειτουργία, δηλαδή, την

”αυτόνομη” λειτουργία. Με τον όρο ”αυτόνομη” ορίζουμε την ικανότητα της πλατφόρμας NG-SDP να ενεργοποιείται αυτόματα από τις υπηρεσίες ειδοποίησης (notifications) και τους συναγερμούς (alarms) που πυροδοτούνται από το συγκείμενο του χρήστη δίχως καμία χειροκίνητη επέμβασης εκ μέρους του, οποτεδήποτε αλλάζει η τρέχουσα κατάσταση της υγείας του ασθενούς και απαιτείται η σύνθεση και η δημιουργία μιας νέας υπηρεσίας μη προϋπάρχουσας. Η NG-SDP δεσμεύει (bind), εφαρμόζει (invoke) και/ή συνθέτει νέες εξατομικευμένες υπηρεσίες με σκοπό την εκ νέου ικανοποίηση των αναγκών του χρήστη.



**Σχήμα 4.1:** Γενική επισκόπηση της προτεινόμενης πλατφόρμας NG-SDP.

Το Σχήμα 4.1 παρουσιάζει τη γενική αρχιτεκτονική της πλατφόρμας NG-SDP. Η NG-SDP ενσωματώνει κοινά δομικά στοιχεία (enablers) που έχουν υλοποιηθεί από τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους υπηρεσιών προκειμένου να διευκολυνθεί η ανάπτυξη των

υπηρεσιών προς τον τελικό χρήστη, είτε στο εσωτερικό του οργανισμού τους, είτε από ανεξάρτητους τρίτους παρόχους.

Όλοι οι enablers υλοποιούνται ως ανεξάρτητα δομικά στοιχεία από επαναχρησιμοποιούμενες υπηρεσίες. Ειδικές Διεπαφές Πρωτοκόλλου Εφαρμογών (APIs) επιτρέπουν την πρόσβαση και επικοινωνία πολλαπλών ετερογενών τελικών χρηστών καθώς και εφαρμογών που παρέχονται από τρίτους φορείς με τους enablers. Κάθε enabler υλοποιεί μια διεπαφή Δημοσίευσης/Εγγραφής (Publish/Subscribe) η οποία επιτρέπει σε εξουσιοδοτημένους παρόχους να λαμβάνουν πληροφορίες, γεγονότα και συμπεράσματα για έναν χρήστη. Οι διεπαφές αυτές καθιστούν δυνατή την παροχή επιπρόσθετων λειτουργιών στην πλατφόρμα σχετιζόμενες με τη δικτύωση, τη γνώση του συγκεκριμένου, την τοποθεσία του χρήστη, κ.α. [91]. Τέλος η NG-SDP παρέχει τη δυνατότητα σύνθεσης νέων εξατομικευμένων υπηρεσιών με βάση την αξιολόγηση της πληροφορίας του συγκεκριμένου των χρηστών.

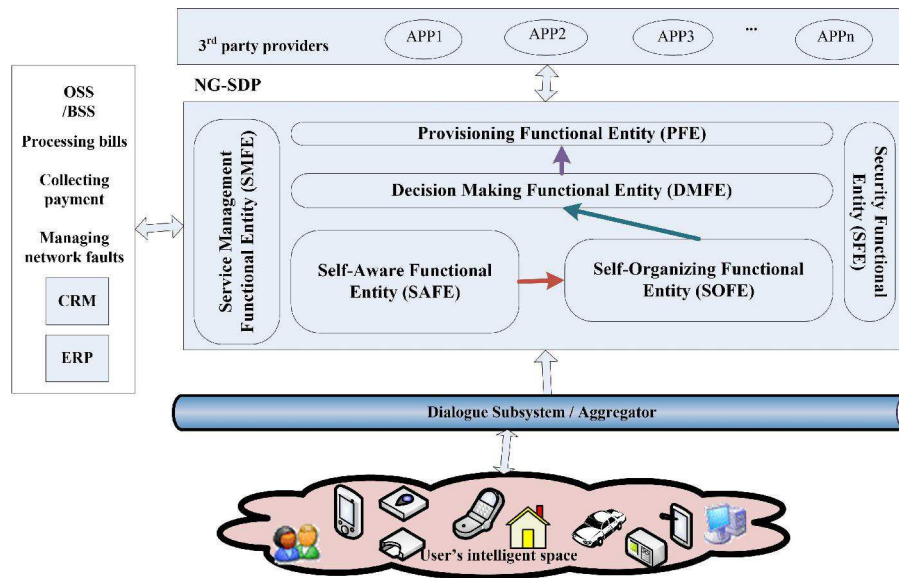
#### **4.3.2 Λειτουργικές Οντότητες -Functional Entities (FEs)**

Σε αυτήν την ενότητα αναλύουμε τις βασικές λειτουργικές οντότητες και την αρχιτεκτονική της προτεινόμενης NG-SDP ούτως ώστε να καταστεί ξεκάθαρη και ευδιάκριτη η διαφοροποίηση της από τις υπάρχουσες πλατφόρμες και να προβληθούν οι επιπρόσθετες λειτουργίες που παρέχει (Σχ. 4.2).

Το λειτουργικό μοντέλο της NG-SDP ενσωματώνει τις ακόλουθες έξι θεμελιώδεις λειτουργικές οντότητες:

- Λειτουργική Οντότητα Παροχής Υπηρεσιών (Provisioning Functional Entity - PFE)
- Λειτουργική Οντότητα Αυτογνωσίας (Self-Aware Functional Entity - SAFE)
- Λειτουργική Οντότητα Αυτο-Οργάνωσης (Self-Organizing Functional Entity - SOFE)
- Λειτουργική Οντότητα Λήψης Αποφάσεων (Decision Making Functional Entity - DMFE)
- Λειτουργική Οντότητα Παροχής Υπηρεσιών Ασφάλειας (Security Functional Entity - SFE)

- Λειτουργική Οντότητα Διαχείρισης Υπηρεσιών (Service Management Functional Entity - SMFE).



Σχήμα 4.2: Λειτουργίες της προτεινόμενης πλατφόρμας NG-SDP.

#### 4.3.2.1 Λειτουργική Οντότητα Παροχής Υπηρεσιών (Provisioning Functional Entity - PFE)

Η Λειτουργική Οντότητα Παροχής Υπηρεσιών (Provisioning Functional Entity - PFE) είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία και τη σύναψη συνόδων (sessions) μεταξύ παροχών και χρηστών. Εκτελεί λειτουργίες καταγραφής, ανίχνευσης, επίκλησης και διασύνδεσης των υπηρεσιών λαμβάνοντας υπόψιν τις δυνατότητες των υπηρεσιών και των χρηστών. Η PFE ενεργοποιείται από τη Λειτουργική Οντότητα Λήψης Αποφάσεων (DMFE) ούτως ώστε να επιλέξει την κατάλληλη υπηρεσία με βάση το συγκεκριμένο (context), τις προτιμήσεις, την ποιότητα εμπειρίας (Quality of Experience - QoE) και τις ανάγκες του χρήστη. Ακολουθώντας τις αρχές της αρχιτεκτονικής SOA, η PFE ενορχηστρώνει, ολοκληρώνει, διαχειρίζεται και ελέγχει τις προσφερόμενες υπηρεσίες από τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους και τους παρόχους υπηρεσιών. Τέλος, δια μέσου των Λειτουργικών Οντοτήτων Παροχής Υπηρεσιών Ασφάλειας (SFE) και Διαχείρισης Υπηρεσιών (SMFE), η PFE ελέγχει ολόκληρη τη διαδικασία παροχής υπηρεσιών για να εξασφαλίσει την ασφαλή και

αξιόπιστη παροχή των υπηρεσιών και να εγγυηθεί την προσφερόμενη ποιότητα των υπηρεσιών με βάση τις ανάγκες και τις απαιτήσεις του χρήστη. Οποιαδήποτε στιγμή αλλάξει η τρέχουσα κατάσταση της υγείας του χρήστη, η PFE ενημερώνεται και ορίζει εκ νέου τη συνδεσιμότητα του χρήστη με την απαιτούμενη υπηρεσία και προχωρά στη δημιουργία και εγκατάσταση της κατάλληλης σύνταξης συνόδου.

#### **4.3.2.2 Λειτουργική Οντότητα Αυτογνωσίας (Self-Aware Functional Entity - SAFE)**

Η SAFE διαχειρίζεται πληροφορίες σχετικές με τις ικανότητες (capabilities) ενημέρωσης του συγκεκριμένου (context aware) και της επικοινωνίας του κάθε χρήστη καθώς επίσης και των ατόμων που τον φροντίζουν (π.χ. ιατροί, νοσηλευτές, εθελοντές, κ.α.). Η πληροφορία σχετίζεται με τις ικανότητες (capabilities) των χρηστών σε επίπεδο δικτύου και φυσικών πόρων (resources), δηλαδή με τις συσκευές που χρησιμοποιεί, τον/τους πάροχο/παρόχους στους οποίους είναι συνδεδεμένος και τις υπηρεσίες που λαμβάνει από αυτούς. Η πληροφορία αυτή βρίσκεται διάσπαρτη και αντλείται από διάφορες λειτουργικές οντότητες των τηλεπικοινωνιακών δικτύων, των δικτύων NGNs ή από υποδομές υλοποιημένες πάνω από τεχνολογίες νέφους (clouds). Η πληροφορία αυτή συλλέγεται και ενσωματώνεται στο συγκεκριμένο του χρήστη μέσω υποσυστημάτων συνάθροισης (Dialogue Subsystem/Aggregators). Οι δυνατότητες επικοινωνίας του χρήστη σχετίζονται με στατικά δεδομένα, όπως είναι για παράδειγμα ο ρυθμός ροής των δεδομένων και οι χρεώσεις. Τα δεδομένα αυτά παρέχονται κυρίως από λειτουργικές οντότητες του τηλεπικοινωνιακού δικτύου όπως το Υποστηρικτικό Σύστημα Λειτουργίας (NGN Operation Support System - NGN OSS ), το Υποστηρικτικό Σύστημα Επιχείρησης (NGN Business Support System -BSS) και ο Πάτριος Συνδρομητικός Εξυπηρετητής (Home Subscriber Server - HSS). Οι υπηρεσίες ενημέρωσης του συγκεκριμένου του χρήστη σχετίζονται με πληροφορίες του συγκεκριμένου κάθε χρήστη και με ένα σύνολο από βιοσήματα τα οποία συλλέγονται από ποικίλες συσκευές όπως βιο-αισθητήρες, έξυπνες συσκευές (π.χ. smartwatches, κάμερες, PDA, κ.α.). Τα δεδομένα αυτά αντιπροσωπεύουν τις δραστηριότητες του χρήστη στην καθημερινή του ζωή (Activities of Daily Living - ADLs) και είναι απαραίτητες για την εκτίμηση της τρέχουσας κλινικής του εικόνας.

#### **4.3.2.3 Λειτουργική Οντότητα Αυτο-Οργάνωσης (Self-Organizing Functional Entity - SOFE)**

Η SOFE είναι επιφορτισμένη με τη σύνθεση και τη δημιουργία του ιατρικού προφίλ του χρήστη. Η SOFE αξιολογεί τις διαδικασίες επεξεργασίας των δεδομένων, ερμηνεύει και ολοκληρώνει ταυτόχρονα τα δεδομένα που συλλέχθηκαν σε πραγματικό χρόνο από τη SAFE, τα δεδομένα που βρίσκονται αποθηκευμένα στο προφίλ του χρήστη και τα ιατρικά αρχεία (medical archives) που βρίσκονται αποθηκευμένα στους διάσπαρτους Ηλεκτρονικούς Ιατρικούς Φακέλους (EHRs) του ασθενούς. Επιπλέον, η SOFE υποστηρίζει τη δυναμική αυτο-οργάνωση ενός ολοκληρωμένου προφίλ χρήστη χρησιμοποιώντας τα δεδομένα συγκειμένου. Η SOFE βρίσκεται σε συνεργασία και υπό την αυστηρή επίβλεψη των λειτουργικών οντοτήτων SFE και SMFE για την αποτροπή κακόβουλων προθέσεων και επιθέσεων από εξωτερικούς παράγοντες αλλά και για λόγους αυτο-ίασης (self-healing) δηλαδή αντιμετώπισης ζητημάτων ασφάλειας και διαχείρισης σε εσωτερικές λειτουργίες και διαδικασίες.

#### **4.3.2.4 Λειτουργική Οντότητα Λήψης Αποφάσεων (Decision Making Functional Entity - DMFE)**

Η DMFE δημιουργεί εξατομικευμένα μοντέλα για την παροχή πρωτογενούς υγειονομικής περίθαλψης, η οποία θα εκτελεστεί από την NG-SDP πλατφόρμα. Η DMFE είναι υπεύθυνη για τη λήψη αποφάσεων όσον αφορά τις απαιτούμενες υπηρεσίες και τις φυσικές οντότητες (entities) (π.χ. φροντιστές υγείας) προσαρμοσμένες στην τρέχουσα κλινική κατάσταση (πληροφορία που παρέχεται από τη SOFE) και στις ικανότητες δικτύωσης του χρήστη (πληροφορία που παρέχεται από τη SAFE). Το εξατομικευμένο μοντέλο ιατρικής φροντίδας που δημιουργείται από τη DMFE επιλέγεται, σχηματίζεται, παραμετροποιείται και εκτελείται με βάση προκαθορισμένους κανόνες που παρέχονται από την οντότητα διαχείρισης SMFE. Αυτή η διαδικασία, οδηγεί στη δημιουργία και στην ανάπτυξη νέων εξατομικευμένων υπηρεσιών. Τέλος, η DMFE παρέχει λειτουργίες ενημέρωσης οι οποίες επιτρέπουν στη PFE να δεσμεύσει (bind) τις εμπλεκόμενες οντότητες και να εκτελέσει

την εξατομικευμένη υπηρεσία. Η DMFE συσχετίζεται και είναι αλληλένδετη με τις οντότητες διαχείρισης υπηρεσιών (SMFE) και ασφαλείας (SFE) ούτως ώστε να προστατεύσει και να εγγυηθεί την ασφάλεια της όλης διαδικασίας.

#### **4.3.2.5 Λειτουργική Οντότητα Παροχής Υπηρεσιών Ασφάλειας (Security Functional Entity - SFE)**

Η SFE παρέχει μηχανισμούς για την πιστοποίηση και εξουσιοδότηση δικαιωμάτων εισόδου καθώς και μηχανισμούς ασφαλείας που ανατίθενται κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των εσωτερικών διεργασιών των οντοτήτων PFE, SOFE, SMFE και DMFE. Η SFE αυξάνει την αυτονομία της πλατφόρμας NG-SDP εισάγοντας μηχανισμούς αυτο-ίασης (self-healing) και αυτο-προστασίας (self-protecting), οι οποίοι αυξάνουν την ευρωστία (robustness) και την ανεκτικότητα του συστήματος σε σφάλματα.

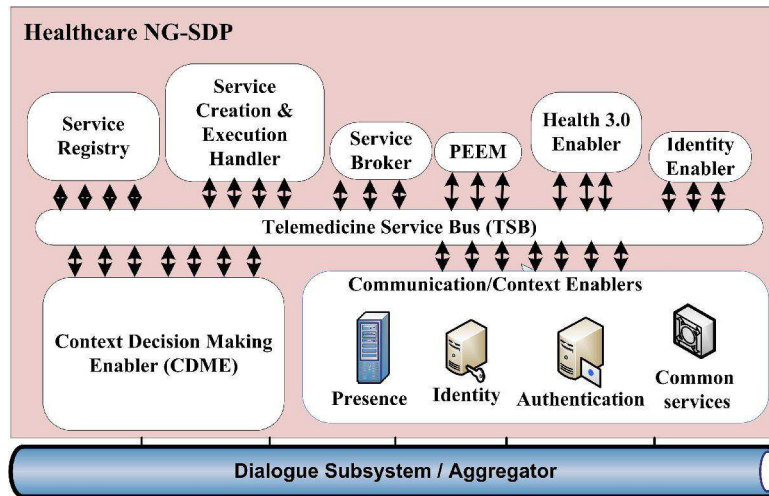
#### **4.3.2.6 Λειτουργική Οντότητα Διαχείριση Υπηρεσιών (Service Management Functional Entity - SMFE)**

Η SMFE παρέχει ένα σύνολο από ικανότητες (capabilities) διαχείρισης που σχετίζονται με τον κύκλο ζωής της υπηρεσίας, επιλεγμένες λειτουργίες του NGN OSS/BSS (π.χ. τιμολόγηση υπηρεσιών, διαχείριση σφαλμάτων δικτύου, κ.α.) και συνεργασία με τρίτους παρόχους υπηρεσιών, όπως για παράδειγμα υποστηρίζει τη διαχείριση των πολιτικών του κάθε παρόχου, τη Συμφωνία Παρεχόμενης Υπηρεσίας (Service Level Agreement - SLA), καθώς και λειτουργίες εξουσιοδότησης, πιστοποίησης και διαχείρισης λογαριασμών (Authentication, Authorization, and Accounting - AAA).

#### **4.3.3 Γενική αρχιτεκτονική της προτεινόμενης Πλατφόρμας Παροχής Υπηρεσιών Υγείας Νέας Γενιάς (Healthcare NG-SDP)**

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στην ενότητα 4.3.2, η αρχιτεκτονική της προτεινόμενης πλατφόρμας NG-SDP απεικονίζεται στο Σχήμα 4.3. Σε αντίθεση με τις ήδη υπάρχουσες SDP αρχιτεκτονικές που αναλύθηκαν εκτεταμένα στην ενότητα 4.2, η προτεινόμενη αρχιτεκτονική ενσωματώνει στη λειτουργία της μια νέα δομική οντότητα, το

δομοστοιχείο (enabler) του Πλαισίου Λήψης Αποφάσεων (CDMF) που αναλύθηκε στο κεφάλαιο 2. Η οντότητα αυτή εισάγει την αυτόνομη λειτουργία της NG-SDP μέσω των υπηρεσιών ειδοποίησης, με στόχο τη σύνθεση και την παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών υγείας.



Σχήμα 4.3: Αρχιτεκτονική της προτεινόμενης πλατφόρμας υγείας NG-SDP.

Σε αυτήν την ενότητα αναλύονται τα βασικά δομοστοιχεία της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής. Σημειώνεται ότι δεν υπάρχει αντιστοιχία ένα προς ένα μεταξύ των λειτουργικών οντοτήτων και των δομοστοιχείων που περιγράφονται ακολούθως, καθώς πολλά από αυτά ενσωματώνουν ταυτόχρονα πολλαπλές λειτουργίες με σκοπό την αποτελεσματική εκτέλεση των εσωτερικών τους διεργασιών.

#### 4.3.3.1 Δομοστοιχείο Επικοινωνίας & Συγκειμένου (Communication / Context Enablers)

Τα Δομοστοιχεία Επικοινωνίας & Συγκειμένου είναι οντότητες οι οποίες διαχειρίζονται τις ικανότητες (capabilities) που παρέχονται από τη λειτουργική οντότητα SAFE και τις ικανότητες του τηλεπικοινωνιακού δικτύου για την παροχή βασικών υπηρεσιών, όπως είναι οι υπηρεσίες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (email), βίντεο κατ' αίτηση (Video On Demand - VOD), φωνή μέσω IP (voice over IP), κ.α. Όλα τα δομοστοιχεία υλοποιούνται σαν ανεξάρτητες οντότητες από επαναχρησιμοποιήσιμες υπηρεσίες (reusable services).

Τα Δομοστοιχεία Επικοινωνίας & Συγκειμένου αλληλεπιδρούν με το Δομοστοιχείο Λήψης Αποφάσεων (CDME) και τον Δίαυλο Υπηρεσιών Τηλεϊατρικής (Telemedicine Service Bus - TSB) [21]. Ειδικά διαμορφωποιημένα APIs επιτρέπουν την αρραγή (seamless) πρόσβαση σε πολλαπλούς τερματικούς χρήστες (end-users), σε εφαρμογές και υπηρεσίες τρίτων παρόχων [91], [92]

#### **4.3.3.2 Δομοστοιχείο Λήψης Αποφάσεων Συγκειμένου (Context Decision Making Enabler -CDME)**

Το Δομοστοιχείο Λήψης Αποφάσεων Συγκειμένου ενσωματώνει τις λειτουργίες της λειτουργικής οντότητας SOFE and DMFE και αναλύθηκε εκτεταμένα στο κεφάλαιο 2.

#### **4.3.3.3 Δίαυλος Υπηρεσιών Τηλεϊατρικής (Telemedicine Service Bus - TSB)**

Ο Δίαυλος Υπηρεσιών Τηλεϊατρικής (TSB) είναι ένας δίαυλος παροχής υπηρεσιών διαμεσολάβησης μηνυματοδοσίας καθοδηγούμενης από γεγονότα (event-driven message broker). Ο TSB ενσωματώνει λειτουργίες των οντοτήτων PFE and SMFE [21] και παρέχει το κατάλληλο περιβάλλον μηνυματοδοσίας. Η βασική λειτουργία του θα παρουσιαστεί αναλυτικά στην ενότητα 4.4.1.

#### **4.3.3.4 Καταχώρηση Υπηρεσιών (Service Registry -SR)**

Το δομοστοιχείο Καταχώρησης Υπηρεσιών (SR) αποτελεί την κεντρική μονάδα καταχώρησης του συστήματος και περιλαμβάνει έναν κατάλογο από όλες τις υπηρεσίες και τις διευθύνσεις URLs που παρέχονται από τους διάφορους παρόχους υπηρεσιών, τις εφαρμογές καθώς και άλλες πληροφορίες που διανέμονται διαμέσου της πλατφόρμας NG-SDP, έτσι ώστε οι υπηρεσίες και οι πόροι τους να είναι προσβάσιμοι και ανιχνεύσιμοι.

#### **4.3.3.5 Δομοστοιχείο Δημιουργίας Υπηρεσιών & Διαχείρισης Εκτέλεσης (Service Creation & Execution Handler -SCEH)**

Ως Δομοστοιχείο Δημιουργίας Υπηρεσιών & Διαχείρισης Εκτέλεσης (SCEH) ορίζεται το περιβάλλον που περιέχει τα απαραίτητα εργαλεία λογισμικού για τη δημιουργία

(ολοκλήρωση και ενορχήστρωση), τροποποίηση και εκτέλεση των υπηρεσιών που διανέμονται από την πλατφόρμα NG-SDP. Το SCEH ολοκληρώνει καταχωρημένες υπηρεσίες με τις προτιμήσεις του χρήστη που εμπεριέχονται στο προφίλ του, τις πληροφορίες συγκειμένου και άλλες πληροφορίες που προκύπτουν από τα δομοστοιχεία Επικοινωνίας & Συγκειμένου και CDME με σκοπό τη σύνθεση και τη δημιουργία νέων εξατομικευμένων υπηρεσιών. Όλες οι υπηρεσίες που δημιουργούνται από το δομοστοιχείο SCEH κοινοποιούνται και καταχωρούνται στο SR.

#### **4.3.3.6 Δίαυλος Υπηρεσιών (Service Broker - SB)**

Ο Δίαυλος Υπηρεσιών SB ενσωματώνει λειτουργίες της οντότητας παροχής υπηρεσιών PFE που σχετίζονται με τον εντοπισμό και την προβολή των υπηρεσιών. Ο SB λαμβάνει τα μετασχηματισμένα μηνύματα από τον TSB, εφαρμόζει τις πολιτικές που προβλέπονται από το PEEM και παρέχει μηχανισμούς για την επεξεργασία του περιεχομένου των μηνυμάτων με σκοπό την εύρεση (finding) από το SR, τη σύνδεση (binding) και την επίκληση (invoking) των απαιτούμενων υπηρεσιών. Ο SB ενσωματώνει διεπαφές τυποποίησης ανοιχτού κώδικα που του επιτρέπουν να λαμβάνει και να στέλνει μηνύματα από τον TSB προς τους παρόχους υπηρεσιών και εφαρμογών. Επιπροσθέτως, αλληλεπιδρά με το δομοστοιχείο Health 3.0 και το Δομοστοιχείο Ταυτοποίησης (Identity Enabler) για να εξασφαλίσει την ασφαλή παροχή των υπηρεσιών υγείας. Η βασική λειτουργία του θα παρουσιαστεί αναλυτικά στην ενότητα 4.4.2.

#### **4.3.3.7 Δομοστοιχείο Επιβολής Πολιτικής & Βελτίωσης Διαχείρισης (Policy Enforcement & Enhancement Management - PEEM)**

Το Δομοστοιχείο Επιβολής Πολιτικής και Βελτίωσης Διαχείρισης (PEEM) είναι υπεύθυνο για την τήρηση των πολιτικών του συνδρομητή/χρήστη (π.χ. προτιμήσεις, SLAs, επαλήθευσης ταυτότητας, εξουσιοδότηση, κ.α.) και των πολιτικών που σχετίζονται με το OSS του δικτύου (π.χ. εάν μια υπηρεσία ή ένα δομοστοιχείο έχει διανεμηθεί και για ποιους συνδρομητές κ.α.). Με βάση αυτήν την πληροφορία, οι πολιτικές εφαρμογής των υπηρεσιών ενοποιούνται και η διαχείριση των νεοσυσταθέντων υπηρεσιών αυτοματοποιείται.

Το δομοστοιχείο PEEM καλύπτει ένα ευρύ φάσμα των λειτουργιών της οντότητας διαχείριση υπηρεσιών SMFE και εφαρμογής των πολιτικών ασφαλείας της SFE οντότητας.

#### **4.3.3.8 Δομοστοιχείο Health 3.0 (Health 3.0 Enabler)**

Το Δομοστοιχείο Health 3.0 είναι η επέκταση του δομοστοιχείου Web 3.0 στον τομέα της ιατρικής φροντίδας. Το Health 3.0 βασίζεται στη λογική της Σημασιολογίας Ιστού (Semantic Web) σύμφωνα με την οποία, η διεπαφή των χρηστών συσχετίζεται με τα δεδομένα και τις πληροφορίες των Υπηρεσιών Ιστού παρέχοντας προσωποποιημένες Υπηρεσίες Ιστού και εξασφαλίζει βέλτιστη εμπειρία παροχής υπηρεσιών [93]. Το δομοστοιχείο Health 3.0 επιτρέπει στους παρόχους υπηρεσιών να ανακτήσουν πληροφορίες με ασφάλεια από το SR και να τις συνεισφέρουν στο SCEH παρέχοντας τους απαραίτητους φυσικούς πόρους για τη δημιουργία και την τροποποίηση των εξατομικευμένων υπηρεσιών.

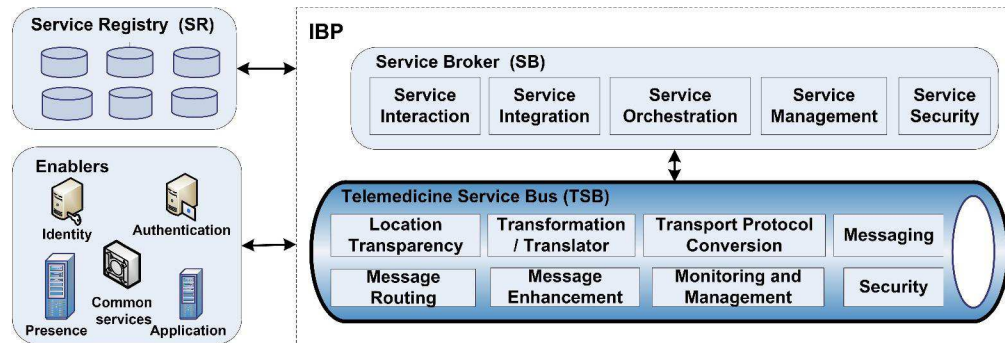
#### **4.3.3.9 Δομοστοιχείο Ταυτοποίησης (Identity Enabler - IE)**

Το Δομοστοιχείο Ταυτοποίησης (IE) χρησιμοποιείται σαν ένας επιπρόσθετος μηχανισμός για τη διασφάλιση των λειτουργιών ασφαλείας της οντότητας SFE. Παρέχει έναν μηχανισμό μοναδιαίας εξατομικευμένης εισόδου στην πλατφόρμα (Single Sign On - SSO) [94], σύμφωνα με τον οποίο, ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση σε πολλαπλά σχετιζόμενα αλλά ανεξάρτητα μεταξύ τους συστήματα χρησιμοποιώντας έναν κωδικό επαλήθευσης ταυτότητας.

### **4.4 Ολοκληρωμένη Πλατφόρμα Διαμεσολάβησης (Integrated Broker Platform - IBP)**

Η Ολοκληρωμένη Πλατφόρμα Διαμεσολάβησης (Integrated Broker Platform -IBP) είναι μια μικρογραφία της NG-SDP πλατφόρμας (Σχ.4.4). Η IBP ενσωματώνει: (α) τις βασικές λειτουργίες που επιτρέπουν την ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ ετερογενών υπηρεσιών και εφαρμογών και (β) τις λειτουργίες ολοκλήρωσης υπηρεσιών και πόρων για τη δημιουργία νέων υπηρεσιών. Η αρχιτεκτονική της IBP παρέχει μια εκτενή ανάπτυξη

της αρχιτεκτονικής του TSB και SB παρέχοντας τη δυνατότητα σε οποιονδήποτε πάροχο να αναπτύξει μια IBP και εν δυνάμει μια NG-SDP για τις ανάγκες του, είτε με την επαναχρησιμοποίηση των πόρων που διαθέτει είτε με την ενσωμάτωση των λογισμικών συστημάτων της σε νέες λύσεις που θα προμηθευτεί. Για το σκοπό αυτό, κρίνεται ως επιτακτική ανάγκη η υλοποίηση των δομικών στοιχείων TSB και SB ανεξάρτητα από τις υπάρχουσες λύσεις που παρέχουν διάφοροι πάροχοι λογισμικού.

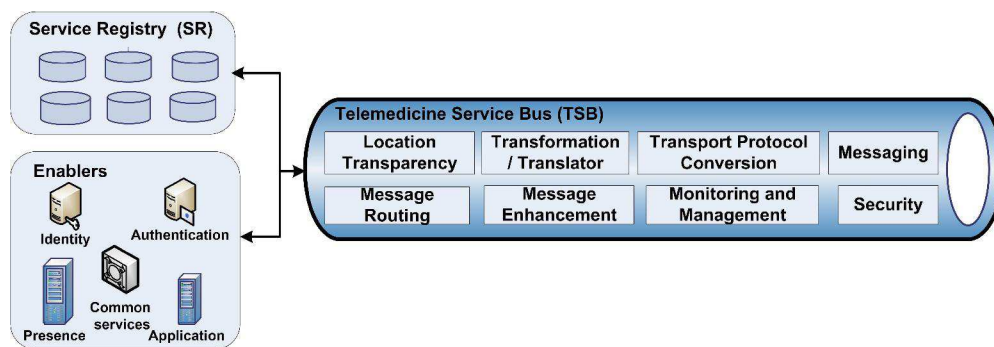


Σχήμα 4.4: Επισκόπηση της αρχιτεκτονικής IBP.

#### 4.4.1 Αρχιτεκτονική του Διαύλου Υπηρεσιών Τηλεϊατρικής - TSB

Ο TSB είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να παρέχει ένα ελαφρύ ενδιάμεσο λογισμικό (lightweight middleware) διαμεσολάβησης μηνυμάτων, το οποίο να επιτρέπει την ολοκλήρωση πόρων και υπηρεσιών της πλατφόρμας με σκοπό την εξατομικευμένη παροχή υπηρεσιών με διαφανή τρόπο και παρέχοντας εγγυημένη αξιοπιστία. Προκειμένου να επιτευχθεί διαφάνεια και ευελιξία μεταξύ των χρηστών, των εφαρμογών και των ετερογενών παρόχων υπηρεσιών, ο TSB θα πρέπει να έχει σχεδιαστεί με βάση ένα γενικότερο και αφηρημένο πλαίσιο και βασικά λειτουργικά χαρακτηριστικά τα οποία θα επιτρέψουν την εύκολη παραμετροποίηση ή υλοποίηση του ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες του παρόχου. Η διαφάνεια και η ευελιξία στην υλοποίηση του TSB δίνει τη δυνατότητα στα άτομα που αναπτύσσουν λογισμικό (software) και εφαρμογές να ενσωματώσουν τις ήδη αναπτυγμένες από αυτούς λειτουργίες, υπηρεσίες, πλαίσια ή δομοστοιχεία με καθόλου ή ελάχιστη τροποποίηση στην αρχική πλατφόρμα NG-SDP και να δημιουργήσουν νέες υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας για τους συνδρομητές τους.

Ο TSB ενεργοποιείται από μια πληθώρα γεγονότων, όπως αιτήματα αναζήτησης υπηρεσιών, υπηρεσίες ειδοποίησης (notifications) ή συναγερμούς (alerts) από τα διάφορα δομοστοιχεία και παρέχει τις κύριες λειτουργίες των συστημάτων διαμεσολάβησης, δηλαδή δημιουργία, αποθήκευση, έλεγχο εγκυρότητας και μετάδοση των μηνυμάτων (Σχ.4.5). Εκτός από τις λειτουργίες διαμεσολάβησης, παρέχει ένα σύνολο λειτουργιών και μηχανισμών για την (α) αποτελεσματική μετατροπή του μορφοτύπου του ωφέλιμου φορτίου των μηνυμάτων (message payload) και (β) ευφυή δρομολόγησή τους (intelligent routing) με σκοπό την ανταλλαγή πληροφοριών, ειδοποιήσεων και μηνυμάτων μεταξύ των διαφόρων ετερογενών δομοστοιχείων και εφαρμογών. Επιπλέον, ο TSB επιτρέπει την αποτελεσματική εγκαθίδρυση συνόδων μεταξύ των διαφόρων δομοστοιχείων της πλατφόρμας NG-SDP. Η αρχιτεκτονική και η λειτουργία του TSB βασίζεται στην αρχιτεκτονική SOA και ενσωματώνει πρωτόκολλα από τον τομέα της υγείας (π.χ. DICOM, HL7, CDA, κλπ) [21].



Σχήμα 4.5: Λειτουργίες του TSB.

#### 4.4.1.1 Λειτουργίες του TSB

Ο TSB περιλαμβάνει τις ακόλουθες βασικές λειτουργίες:

- Διαφάνεια Θέσης (Location Transparency): Ο TSB περιέχει και διαμορφώνει τερματικά σημεία (endpoints) εισόδου και εξόδου μηνυμάτων, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η διαφανή μεταφορά των μηνυμάτων. Αυτά τα τελικά σημεία εισόδου και εξόδου των μηνυμάτων είναι ένα σύνολο από διεπαφές (APIs [91]), οι οποίες περιέχουν πληροφορίες σχετικές με τις ικανότητες λειτουργίας τόσο των εφαρμογών όσο και

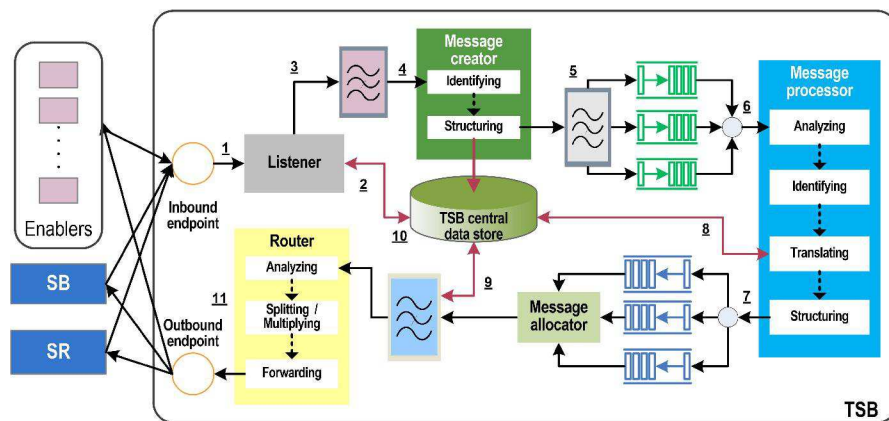
των συστημάτων μηνυματοδοσίας. Αυτό επιτρέπει την απρόσκοπτη (seamless) επικοινωνία με διαφανή τρόπο, δηλαδή, ανεξάρτητα από τη θέση που βρίσκονται οι αιτούντες και οι δέκτες.

- **Μετασχηματισμός / Μετάφραση Μηνυμάτων (Transformation/ Translator):** Ο TSB μετασχηματίζει το ωφέλιμο φορτίο των μηνυμάτων (message payload) από τον ένα μορφότυπο στον άλλο, με βάση ένα σύνολο από τυποποιημένα πρότυπα (π.χ. XSLT, XPath, κ.α.) και τα μεταφράζει σύμφωνα με τους συντακτικούς (syntactic) και σημασιολογικούς (semantic) κανόνες.
- **Μετατροπή Πρωτοκόλλου (Protocol Conversion):** Ο TSB λαμβάνει μηνύματα που στέλνονται με διαφορετικά πρωτόκολλα εφαρμογής, όπως για παράδειγμα JSON [95], SOAP [96], COAP [97], HTTP [98], κ.α. και τα μετατρέπει στο κατάλληλο μορφότυπο που απαιτείται κάθε φορά από το SB, SR και τα διάφορα δομοστοιχεία.
- **Μηνυματοδοσία (Messaging):** Ο TSB υποστηρίζει διάφορους τρόπους μηνυματοδοσίας για την αποστολή και τη λήψη μηνυμάτων από το SB, SR και τα διάφορα δομοστοιχεία, όπως σύγχρονη, ασύγχρονη, από σημείο-σε-σημείο (point-to-point) και εγγραφής-δημοσίευσης (publish/subscribe).
- **Δρομολόγηση μηνυμάτων (Message Routing):** Ο TSB παρέχει μηχανισμούς που επιτρέπουν την ευέλικτη (flexible) και ευφυή (intelligent) δυναμική δρομολόγηση των μηνυμάτων. Οι μηχανισμοί αυτοί επιτρέπουν στο TSB να αποστέλλει μηνύματα ελέγχου στα δομοστοιχεία της πλατφόρμας και να τροποποιεί τη λογική δρομολόγησης κάθε φορά που το μονοπάτι δρομολόγησης αλλάζει έτσι ώστε να αποφεύγονται καθυστερήσεις κατά τη διαδικασία επαναπροσδιορισμού της διαδρομής δρομολόγησης ή πολλαπλές επανεκπομπές μηνυμάτων.
- **Αυτοδιόρθωση Μηνυμάτων (Message Enhancement):** Ο TSB ελέγχει και συγκρίνει τα μηνύματα πριν την παράδοσή τους στο SB. Αν υπάρχει κάποιο σφάλμα κατά τη διαδικασία του μετασχηματισμού και της μετάφρασης των μηνυμάτων, διαθέτει μηχανισμούς που επιτρέπουν την ανάκτηση των στοιχείων που λείπουν με βάση το υπάρχον μήνυμα.

- Παρακολούθηση και Διαχείριση Μηνυμάτων (Monitoring and Management): Ο TSB ενσωματώνει μηχανισμούς για την εύκολη παρακολούθηση της απόδοσης του συστήματος και τον έλεγχο εκτέλεσης της ροής των μηνυμάτων. Επιπλέον, παρέχει ελεγκτικούς μηχανισμούς (auditing mechanisms) για την υψηλή απόδοση και αξιοπιστία της διαδικασίας της μηνυματοδοσίας [99].
- Ασφάλεια (Security): Ο TSB περιλαμβάνει λειτουργίες πιστοποίησης, εξουσιοδότησης και κρυπτογράφησης ή αποκρυπτογράφησης τόσο για τα εισερχόμενα όσο και για τα εξερχόμενα μηνύματα, έτσι ώστε να αποφευχθεί η κακόβουλη χρήση. Επιπλέον, διαχειρίζεται τα μηνύματα με έναν πλήρως ασφαλή τρόπο που προστατεύει τα προσωπικά δεδομένα των χρηστών.

#### 4.4.1.2 Αρχιτεκτονική του TSB

Η αρχιτεκτονική του TSB παρουσιάζεται λεπτομερώς στο Σχήμα 4.6).



Σχήμα 4.6: Αρχιτεκτονική του TSB.

Ο TSB περιέχει ένα σύνολο από μοναδιαίες θυρίδες (endpoints) από τις οποίες λαμβάνει και στέλνει αντίστοιχα μηνύματα. Οι θυρίδες λήψης μηνυμάτων (Inbound endpoint) ενεργοποιούνται οποτεδήποτε αποστέλλονται μηνύματα είτε από τα δομοστοιχεία Επικοινωνίας & Συγκειμένου, το CDME είτε όταν λαμβάνονται αποκρίσεις μηνυμάτων από το SB και τον SR και αποτελεί το σημείο ενεργοποίησης του TSB και της διαδικασίας

επικοινωνίας. Η θυρίδα λήψης μηνυμάτων (Inbound endpoint) αποστέλλει τα εισερχόμενα μηνύματα στο δομικό στοιχείο του εξυπηρετητή που ακούει και περιμένει να λάβει μηνύματα (Listener) (Βήμα 1).

Ο Listener είναι μόνιμα ενεργοποιημένος και έτοιμος να δεχτεί τα μηνύματα. Μόλις λάβει ένα μήνυμα ελέγχει: (α) την εγκυρότητα του μηνύματος και τις ικανότητες των χρηστών και (β) τους διαθέσιμους πόρους του TSB. Ελέγχει δηλαδή τη διαθεσιμότητα του φίλτρου ελέγχου μηνυμάτων και της κεντρικής βάσης αποθήκευσης δεδομένων. Αν το εισερχόμενο μήνυμα δεν πιστοποιηθεί ως έγκυρο, ο αποστολέας του μηνύματος ενημερώνεται σχετικά με την αιτία της αποτυχίας του μηνύματος και τις ενέργειες που πρέπει να εκτελέσει για να επαναλάβει εκ νέου τη διαδικασία ενεργοποίησης της συνεδρίας.

Τα πιστοποιημένα έγκυρα μηνύματα προωθούνται αυτόματα από το Listener προς την κεντρική βάση αποθήκευσης των δεδομένων (TSB central data store) (Βήμα 2). Η βάση αυτή περιέχει ένα προσωρινό αντίγραφο του αρχικού μηνύματος για λόγους ασφαλείας στην περίπτωση που χρειαστεί να γίνει ανάκτηση κατά τη διαδικασία μετασχηματισμού, μετάφρασης ή μεταφοράς. Το μήνυμα αυτό διατηρείται μέχρις ότου η σύνοδος ολοκληρωθεί και εξυπηρετηθεί το αίτημα και στη συνέχεια διαγράφεται. Επιπλέον, η TSB βάση δεδομένων διαθέτει πληροφορίες σχετικές με τις ικανότητες των χρηστών, το αποδεικτικό εξατομικευμένης εισόδου στην πλατφόρμα (Single Sign On - SSO), τους κανόνες για το μετασχηματισμό και τη μετάφραση του μηνύματος καθώς και τις διευθύνσεις αφετηρίας και προορισμού του μηνύματος. Επιπλέον, ο Listener προωθεί το εισερχόμενο μήνυμα σε ένα φίλτρο για την επικύρωσή του (Βήμα 3). Όταν το μήνυμα έχει αποθηκευτεί, επικυρωθεί και πιστοποιηθεί, αποστέλλεται στο δομικό στοιχείο Δημιουργίας Μηνυμάτων (Message Creator) (Βήμα 4).

Ο Message Creator δημιουργεί ένα νέο τύπο μηνύματος (Σχ.4.7), στην κεφαλίδα του οποίου ενσωματώνει πληροφορίες σχετικές με τον τύπο του μηνύματος, τη διεύθυνση ή τις διευθύνσεις προορισμού, το αναγνωριστικό του μηνύματος, το αναγνωριστικό της συνόδου, το μέγεθός του και στο κυρίως μέρος του ενθυλακώνεται αυτούσιο το αρχικό μήνυμα. Ο νέος αυτός τύπος μηνύματος επιτρέπει στο TSB να εκτελεί όλες τις διαδικασίες

μηνυματοδοσίας, ανεξάρτητα από τον τύπο του κάθε μηνύματος που εισήλθε στο σύστημα. Το νέου τύπου μήνυμα που δημιουργήθηκε από το Message Creator προωθείται σε μια ουρά αναμονής μηνυμάτων (Message Queue - MQ) (Βήμα 5).

```
<envelope>
  <originator></originator>
  <recipients>
    <recipient></recipient>
    ...
    <recipient></recipient>
  </recipients>
  <session_ID></session_ID>
  <message_ID></message_ID>
</envelope>
```

Σχήμα 4.7: Η δομή της κεφαλίδας του μηνύματος που δημιουργείται από το TSB.

Ο επεξεργαστής μηνυμάτων (Message Processor) λαμβάνει τα μηνύματα από την ουρά αναμονής μηνυμάτων MQ (Βήμα 6), αναλύει την κεφαλίδα τους για να προσδιορίσει τον τύπο του μηνύματος και τις διαδικασίες μετασχηματισμού/ μετάφρασης και μεταφοράς που απαιτούνται. Στη συνέχεια, πραγματοποιεί τις απαραίτητες αναδιαμορφώσεις σε συντακτικό και σημασιολογικό επίπεδο στο ωφέλιμο φορτίο (payload) του μηνύματος κάνοντας χρήση των πληροφοριών που παρέχονται από την TSB κεντρική βάση δεδομένων αποθήκευσης. Αφού ολοκληρωθεί η δημιουργία της νέας κεφαλίδας του μηνύματος, το μήνυμα προωθείται στην ουρά αναμονής μιας από τις διαθέσιμες μονάδες αποθήκευσης των δεδομένων (message stores) (Βήμα 7). Εάν η διαδικασία αναδιαμόρφωσης και σχηματισμού του νέου μηνύματος δεν μπορεί να ολοκληρωθεί επιτυχώς, λόγω των μη επαρκών πληροφοριών στο ωφέλιμο φορτίο του μηνύματος, ο επεξεργαστής μηνυμάτων ζητά εκ νέου από την κεντρική βάση αποθήκευσης των δεδομένων TSB το εφεδρικό αντίγραφο του αρχικού μηνύματος και τις πληροφορίες των μεταδεδομένων έτσι ώστε να τις επεξεργαστεί και να μετασχηματίσει από την αρχή το μήνυμα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται διαχείριση σφαλμάτων (error handling) (Βήμα 8).

Ο διανεμητής μηνυμάτων (Message Allocator) λαμβάνει τα αναδιαμορφωμένα μηνύματα που φτάνουν στις ουρές αναμονής των μονάδων αποθήκευσης και στη συνέχεια

αλληλεπιδρά με ένα φίλτρο για να πιστοποιήσει την εγκυρότητά τους, χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες και τις πολιτικές που είναι αποθηκευμένες στην κεντρική βάση TSB (Βήμα 9). Σε περίπτωση σφάλματος και αποτυχίας, η TSB κεντρική βάση αποθήκευσης των δεδομένων ενημερώνεται και μια νέα σύνοδος (session) ξεκινάει από τον Listener (Βήμα 10).

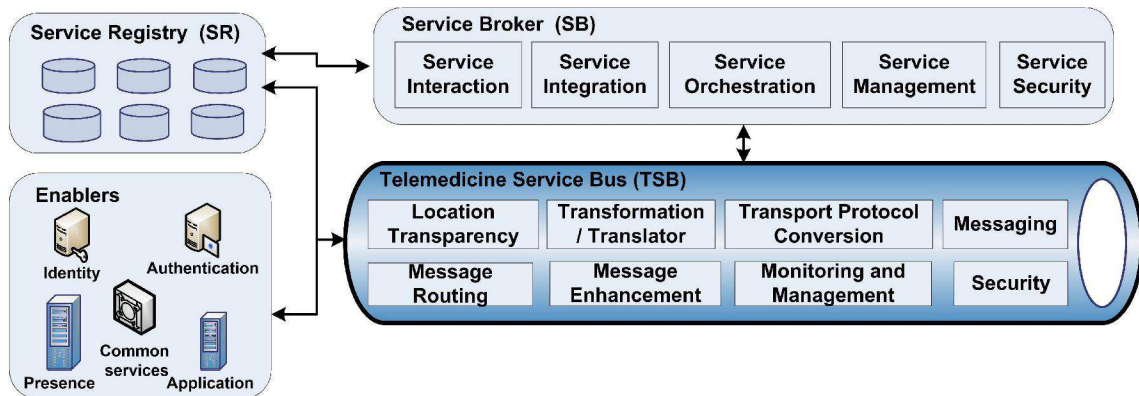
Τέλος, το εξερχόμενο μήνυμα παραδίδεται στον τελικό παραλήπτη/ες από το δρομολογητή ο οποίος ελέγχει την κεφαλίδα του μηνύματος για να εντοπίσει τον τελικό προορισμό και υπολογίζει το μονοπάτι δρομολόγησης. Όπου απαιτείται, είτε για λόγους ασφαλείας είτε όταν υπάρχουν πολλαπλοί παραλήπτες, ο δρομολογητής είναι υπεύθυνος να δημιουργήσει πολλαπλά αντίγραφα του ωφέλιμου φορτίου του μηνύματος με βάση τους κανόνες μεταφοράς και δρομολόγησης των μηνυμάτων (Βήμα 11).

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι καθ' όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας των δομικών στοιχείων του TSB και της διαδικασίας του μετασχηματισμού των μηνυμάτων, έχει ενεργοποιηθεί ένας μηχανισμός ελέγχου. Για κάθε διαδικασία διατηρείται ένα αρχείο με ακριβείς λεπτομέρειες του χρόνου διεξαγωγής της κάθε διεργασίας (χρονικές σφραγίδες -timestamps), των επιτυχημένων και αποτυχημένων προσπαθειών αναδιαμόρφωσης του μηνύματος. Επιπλέον, οι επιτυχημένες και αποτυχημένες προσπάθειες αναδιαμόρφωσης του μηνύματος χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και τη διαχείριση της απόδοσης, της αποτελεσματικότητας και της ποιότητας της παρεχόμενης υπηρεσίας.

#### **4.4.2 Αρχιτεκτονική του Διαύλου Υπηρεσιών - SB**

Ο SB αποτελεί ένα ενδιάμεσο λογισμικό διαμεσολάβησης υπηρεσιών, δηλαδή λειτουργεί ως πληρεξούσιος επικοινωνίας μεταξύ των διαφόρων ετερογενών υπηρεσιών. Οι κύριες λειτουργίες του είναι η επεξεργασία των μηνυμάτων που έχει λάβει από το TSB και η αλληλεπίδραση του με το SR με σκοπό την εύρεση (finding), τη σύνδεση (binding) και την επίκληση (invoking) των αιτούμενων υπηρεσιών. Τέλος, ολοκληρώνει, ενορχηστρώνει και προωθεί τα δεδομένα που έλαβε ως απάντηση στο αίτημα του TSB πίσω σε αυτόν (Σχ.4.8). Ο SB περιέχει τυποποιημένες (standardized) διεπαφές ανοιχτού κώδικα

που του επιτρέπουν να λαμβάνει και να στέλνει μηνύματα από το TSB στους παρόχους υπηρεσιών και εφαρμογών.



Σχήμα 4.8: Λειτουργίες του SB.

#### 4.4.2.1 Λειτουργίες του SB

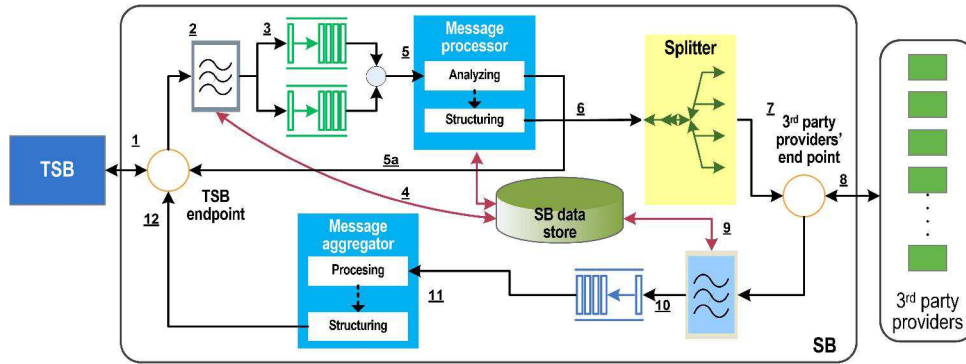
Ο SB ενσωματώνει τις ακόλουθες βασικές λειτουργίες με παρόμοιο τρόπο με αυτόν που αναφέρθηκαν για το TSB στην ενότητα 4.4.1. Αυτές είναι:

- **Αλληλεπίδραση Υπηρεσιών (Service Interaction):** Ο SB διαθέτει ένα σύνολο από διεπαφές APIs οι οποίες παρέχουν τη δυνατότητα επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης μεταξύ διαφόρων εφαρμογών και υπηρεσιών που προσφέρονται από τρίτους παρόχους. Επιπλέον υποστηρίζει διάφορες τυποποιήσεις για την απευθείας επικοινωνία από άκρο σε άκρο (end-to-end) των υπηρεσιών Ιστού με τη χρήση πρωτοκόλλων Ιστού (π.χ. WebRTC [100], SOAP [96], WSDL [101], κ.α.). Επιπλέον, υποστηρίζει πρωτόκολλα χαμηλότερων επιπέδων δικτύωσης (underlying protocols) όπως TCP, UDP, HTTP, FTP, κ.α.
- **Ολοκλήρωση Υπηρεσιών (Service Integration):** Ο SB διαπραγματεύεται και εφαρμόζει πολιτικές μεταξύ των διαφόρων υπηρεσιών που ανήκουν σε ετερογενείς παρόχους με στόχο την εγγυημένη και ασφαλή επίκληση των υπηρεσιών με βάση τους κανόνες και τις συμφωνίες παρεχόμενων υπηρεσιών.

- **Ενορχήστρωση Υπηρεσιών (Service Orchestration):** Η λαμβανόμενη απόκριση στα αιτήματα για εύρεση και επίκληση των υπηρεσιών από τους παρόχους επεξεργάζεται από το SB και ενσωματώνεται σε ένα ενιαίο μορφότυπο μηνύματος, το οποίο αποστέλλεται στον τελικό χρήστη για σύνδεση με την υπηρεσία. Μέσω της διαδικασίας ενορχήστρωσης των υπηρεσιών, καθορίζονται οι πολιτικές και τα επίπεδα εξυπηρέτησης μέσω αυτοματοποιημένων ροών εργασίας, προβλέψεων και διαχείρισης. Η ενορχήστρωση των υπηρεσιών παρέχει επίσης μια κεντρική διαχείριση των πόρων του συστήματος συμπεριλαμβανομένης της μέτρησης της κατανάλωσης και χρέωσης ανά κατανάλωση.
- **Ασφάλεια Υπηρεσιών (Service Security):** Η λειτουργία ασφαλείας του SB παρέχει εσωτερικούς μηχανισμούς διαχείρισης του ελέγχου της πρόσβασης και του ελέγχου ταυτότητας των μηνυμάτων που λαμβάνονται από το TSB και των υπηρεσιών που παρέχονται από τρίτους παρόχους. Επιπλέον, διαθέτει μηχανισμούς κρυπτογράφησης και αποκρυπτογράφησης του περιεχομένου των εισερχόμενων και εξερχόμενων μηνυμάτων αποτρέποντας κακόβουλες παρεμβάσεις.
- **Διαχείριση Υπηρεσιών (Service Management):** Ο SB παρέχει ένα σύνολο λειτουργιών για τον έλεγχο και την παρακολούθηση της διαδικασίας εκτέλεσης και ολοκλήρωσης των υπηρεσιών με σκοπό την αξιόπιστη παροχή των αιτούμενων υπηρεσιών.

#### **4.4.2.2 Αρχιτεκτονική του SB**

Η αρχιτεκτονική του SB ακολουθεί το σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής του TSB καθώς και τα δύο αυτά βασικά δομικά στοιχεία της NG-SDP είναι ενδιάμεσα λογισμικά διαμεσολάβησης (brokerage systems) και έχουν παρόμοιες απαιτήσεις για τη μετάδοση και τη διαχείριση των μηνυμάτων. Η αρχιτεκτονική του SB παρουσιάζεται αναλυτικά στο Σχήμα 4.9.



Σχήμα 4.9: Αρχιτεκτονική του SB.

Αντίστοιχα με την αρχιτεκτονική του TSB, ο SB περιέχει μια κεντρική βάση δεδομένων SB η οποία διατηρεί πληροφορίες σχετικά με τις διεπαφές APIs που χρησιμοποιούνται για την αλληλεπίδραση με τους διάφορους παρόχους υπηρεσιών καθώς και πληροφορίες για τις διάφορες πολιτικές που θα πρέπει να εφαρμοστούν έτσι ώστε να διασφαλιστεί η αποτελεσματική επικοινωνία και να εξασφαλιστεί η ασφαλής επίκληση των υπηρεσιών.

Κάθε φορά που ένα μήνυμα ενεργοποιεί το TSB τερματικό σημείο (TSB endpoint) του SB, ενεργοποιείται και ξεκινάει μια σύνοδος μεταξύ του TSB και του SB (Βήμα 1). Το εισερχόμενο μήνυμα που λαμβάνεται μέσω του TSB τερματικού σημείου επικυρώνεται μέσω ενός φίλτρου (Βήμα 2).

Το φίλτρο εφαρμόζει διάφορους μηχανισμούς πιστοποίησης του μηνύματος και μηχανισμούς ελέγχου της εγκυρότητάς του. Οι μηχανισμοί αυτοί χρησιμοποιούν τις πληροφορίες που βρίσκονται αποθηκευμένες στη βάση δεδομένων SB. Έπειτα προωθεί το μήνυμα στην ουρά αναμονής των μηνυμάτων του συστήματος αποθήκευσης των μηνυμάτων (message store) (Βήμα 3). Ένα αντίγραφο του μηνύματος που παραλήφθηκε από το φίλτρο αποθηκεύεται στην κεντρική βάση δεδομένων SB για λόγους ασφάλειας, διαχείρισης και επίβλεψης της σωστής λειτουργίας του συστήματος (Βήμα 4).

Στη συνέχεια, ο επεξεργαστής μηνυμάτων (Message Processor) παίρνει το αποθηκευμένο μήνυμα από την ουρά αναμονής και διαβάζει το περιεχόμενό του (Βήμα 5). Το περιεχόμενο του μηνύματος παρέχει πληροφορίες σχετικά με την αιτούμενη υπηρεσία από τον τελικό χρήστη. Για την αποτελεσματική δρομολόγηση του μηνύματος στους κατάλληλους

παρόχους υπηρεσιών που προσφέρουν την υπηρεσία που αιτείται ο χρήστης, ο SB πρέπει να επικοινωνήσει με τον SR στον οποίο όλοι οι πάροχοι καταχωρούν τις προσφερόμενες υπηρεσίες τους. Για το λόγο αυτό, ο επεξεργαστής μηνυμάτων στέλνει πίσω στο TSB ένα αίτημα προκειμένου να ενεργοποιηθεί ο SR και να βρει ποιοι πάροχοι διαθέτουν την υπηρεσία που επιθυμεί ο τελικός χρήστης. Ο SR ενεργοποιείται από το TSB, βρίσκει την κατάλληλη υπηρεσία και στέλνει ένα μήνυμα απάντησης πίσω στο TSB το οποίο περιέχει το αρχικό μήνυμα που τον ενεργοποίησε, τη διεύθυνση URL και τα API της υπηρεσίας. Ο TSB προωθεί αυτό το μήνυμα στον επεξεργαστή μηνυμάτων ακολουθώντας τα βήματα 1-5 που αναλύθηκαν παραπάνω. Όταν ολοκληρωθεί επιτυχώς η διαδικασία ανάλυσης του περιεχομένου του μηνύματος από το φίλτρο, μέσω ενός μηχανισμού δόμησης, ο επεξεργαστής μηνυμάτων ενσωματώνει στο αρχικό μήνυμα τις πληροφορίες που περιέχουν τα URLs και τα APIs των αιτούμενων υπηρεσιών. Αυτά τα επαυξημένα μηνύματα διαβιβάζονται στη συνέχεια στο διαιρέτη μηνυμάτων (Splitter) (Βήμα 6).

Σε πραγματικές συνθήκες, η διαδικασία δημιουργίας συνόδου μεταξύ ενός τελικού χρήστη και μιας εφαρμογής αποτελεί τις περισσότερες φορές μια πολύπλοκη διαδικασία. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι ένα μήνυμα που λαμβάνει ο SB για την εύρεση και επίκληση μιας υπηρεσίας είναι ένα σύνθετο και πολύπλοκο γεγονός που απαιτεί την εκτέλεση πολλαπλών επιμέρους διαδικασιών για την εύρεση και επιμέρους δέσμευση υπηρεσιών και πόρων από διαφορετικούς τρίτους παρόχους υπηρεσιών. Ο διαιρέτης μηνυμάτων αναλαμβάνει να διαχωρίσει και να μοιράσει τα μηνύματα που προορίζονται για διαφορετικούς παρόχους υπηρεσιών σε αυτούς, έτσι ώστε να δεσμεύει την κατάλληλη υπηρεσία για τον τελικό χρήστη (Βήμα 7).

Η αλληλεπίδραση με τους τρίτους παρόχους υπηρεσιών επιτυγχάνεται μέσω ενός μοναδιαίου τερματικού σημείου επικοινωνίας (3rd party provider's endpoint) (Βήμα 8). Οι εισερχόμενες αποκρίσεις στα διάφορα αιτήματα φιλτράρονται και ελέγχονται ως προς την εγκυρότητα των μηνυμάτων ανακτώντας τις απαραίτητες πληροφορίες από τη βάση δεδομένων SB (Βήμα 9). Τα έγκυρα μηνύματα προωθούνται στην ουρά αναμονής των δομικών στοιχείων αποθήκευσης μηνυμάτων (message store) (Βήμα 10).

Ο συναθροιστής μηνυμάτων (Message Aggregator) επεξεργάζεται τα εισερχόμενα μηνύματα χρησιμοποιώντας τη Γλώσσα Εκτέλεσης Επιχειρησιακών Διαδικασιών (Business

Process Execution Language - BPEL) και στη συνέχεια τα ενσωματώνει σε ένα ενιαίο μήνυμα (Βήμα 11), το οποίο προωθείται στη TSB θυρίδα εξόδου και, τέλος, στο TSB για την εγκαθίδρυση της συνεδρίας με την αιτούσα υπηρεσία (Βήμα 12).

#### **4.4.3 Υλοποίηση της Ολοκληρωμένης Πλατφόρμας Διαμεσολάβησης - IBP**

Στις μέρες μας, στην αγορά υπάρχει διαθέσιμη μια ποικιλία από διαφορετικά προϊόντα ενδιάμεσου λογισμικού για την παροχή υπηρεσιών διαύλου όπως Oracle ESB [102], JBoss ESB [103], OpenESB [104], MuleSoft ESB- MuleESB [105], κ.α. Η αρχιτεκτονική της IBP βασίζεται σε ανοικτά πρότυπα και παρέχει μια πλατφόρμα ολοκλήρωσης ανεξάρτητη από τα προϊόντα λογισμικού που θα χρησιμοποιηθούν από την εκάστοτε επιχείρηση για την υλοποίηση είτε του TSB ή του SB. Έπειτα από αναλύσεις, ο Celesti [106] παρουσιάζει ότι ο διαύλος MuleESB [105] προτιμάται περισσότερο καθώς παρέχει μεγαλύτερη ασφάλεια των πληροφοριών και υψηλά επίπεδα διαλειτουργικότητας σε αντίθεση με τον FuseESB [107]. Σε αντίθεση με το JBossESB [108], [109], οι επιδόσεις του MuleESB σε μια τυπική δρομολόγηση μηνυμάτων ήταν 3 φορές πιο γρήγορη. Για τους λόγους αυτούς, από έναν κατάλογο από λογισμικά ανοιχτού κώδικα για την ανάπτυξη επιχειρησιακών διαύλων [110], [111], [112], επιλέχθηκε το MuleESB [105] για την υλοποίηση του προτεινόμενου μοντέλου IBP. Το MuleESB [105] υποστηρίζει μια μεγάλη ποικιλία από πρωτόκολλα μεταφοράς, τυποποιήσεις και μορφότυπα δεδομένων, γλώσσες προγραμματισμού, υπηρεσίες διαδικτυακής εφαρμογής, συνδέσμους και διεπαφές σύνδεσης με clouds και μηχανισμούς ασφαλείας.

Ένα πρότυπο (prototype) της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής του IBP αναπτύχθηκε στο εργαστήριο Ενσύρματης Τηλεπικοινωνίας του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών με σκοπό την παροχή ιατρικών εξατομικευμένων υπηρεσιών. Το πρότυπο αυτό αναπτύχθηκε με σκοπό την παροχή υπηρεσιών μηνυματοδοσίας μεταξύ των διαφόρων δομικών στοιχείων της εφαρμογής και ανταλλαγή ιατρικών πληροφοριών αποθηκευμένων σε διαφορετικές βάσεις δεδομένων. Για την παροχή των ιατρικών πρωτοκόλλων χρησιμοποιήθηκαν τα πρότυπα HL7 έκδοση 2.x και HL7 v3 με τη χρήση της διεπαφής HarI [113], η οποία επιτρέπει την υλοποίηση

του HL7 πρωτοκόλλου πάνω από το HTTP. Τα δομικά στοιχεία της IBP που παρέχουν τις λειτουργίες για την ανταλλαγή των μηνυμάτων, τη δρομολόγηση και τους μηχανισμούς μετάφρασης και μετασχηματισμού υλοποιήθηκαν ως ανεξάρτητα δομικά στοιχεία (modules) με τη γλώσσα προγραμματισμού Java χρησιμοποιώντας την MuleESB πλατφόρμα [105].

Για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς και της απόδοσης του προτύπου (prototype), υλοποιήθηκε ένα απλό σενάριο επικοινωνίας χρησιμοποιώντας υπάρχοντα πληροφοριακά συστήματα ιατρικής φροντίδας. Σε αυτό το σενάριο θεωρήσαμε ότι η τηλεϊατρική υπηρεσία που χρησιμοποιεί ο θεράπων ιατρός έχει πρόσβαση και τα απαραίτητα διαπιστευτήρια (credentials) έτσι ώστε να λαμβάνει δεδομένα από ένα Ιατρικό Πληροφοριακό Σύστημα (Medical Information System - MIS). Στο σενάριο μας επίσης θεωρήσαμε ότι, η εφαρμογή του ιατρού είναι μία υπηρεσία Τηλεϊατρικής, η οποία χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο HL7 v2.0 για τη διαχείριση και τη μεταφορά των ιατρικών δεδομένων και το σύστημα του νοσοκομείου και του βιολογικού εργαστηρίου που παρέχει δεδομένα για ιατρικές εξετάσεις και το ιστορικό νοσηλείας του ασθενούς, είναι ένα EHR σύστημα που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο HL7 v3.0. Τέλος, όλες οι οντότητες που είναι διασυνδεδεμένες στην IBP πλατφόρμα υπακούουν σε προκαθορισμένους κανόνες και πολιτικές (policy, SLAs) για την διακίνηση των δεδομένων.

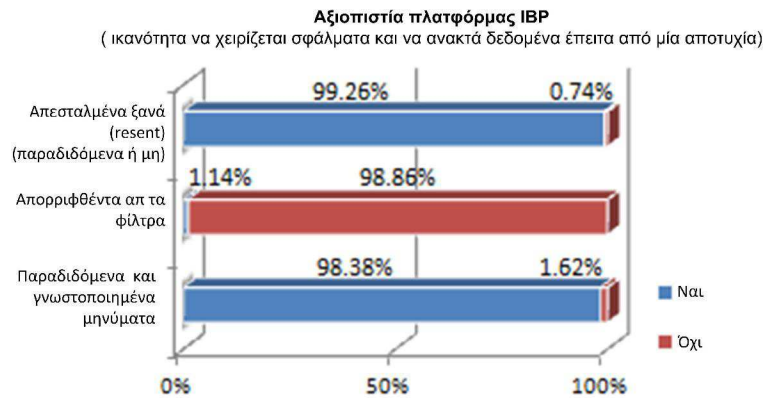
Σε αυτήν την εξεταζόμενη περίπτωση (case study), η πλατφόρμα IBP ενεργοποιείται από τον θεράποντα ιατρό ο οποίος επιθυμεί να ανακτήσει τα δεδομένα και τις εργαστηριακές εξετάσεις του ασθενούς που είναι αποθηκευμένες στον ιατρικό φάκελο του ιατρικού κέντρου, στο οποίο ο ασθενής είχε νοσηλευτεί. Η IBP λαμβάνει ένα αίτημα για την ανάκτηση δεδομένων, ο Listener του TSB ενεργοποιείται αυτόματα και ξεκινάει η όλη διαδικασία για την επεξεργασία του μηνύματος, την ανίχνευση των δεδομένων και την ανάκτηση τους από το EHR. Ο SB αφού πιστοποιήσει την εγκυρότητα και το δικαίωμα χρήσης της συγκεκριμένης υπηρεσίας από τον θεράποντα ιατρό που ενεργοποίησε τη διαδικασία αναζήτησης δεδομένων, αποστέλλει μέσω του TSB σχετικό αίτημα ενεργοποίησης στο EHR, το οποίο εκτελεί τη διαδικασία αναζήτησης και ανάκτησης των αιτούμενων δεδομένων. Όταν η διαδικασία αναζήτησης και ανάκτησης ολοκληρωθεί επιτυχώς,

επιστρέφονται μέσω του IBP τα αποτελέσματα στην υπηρεσία Τηλεϊατρικής του ιατρού όπως αναλύθηκε στις ενότητες 4.4.1 και 4.4.2.

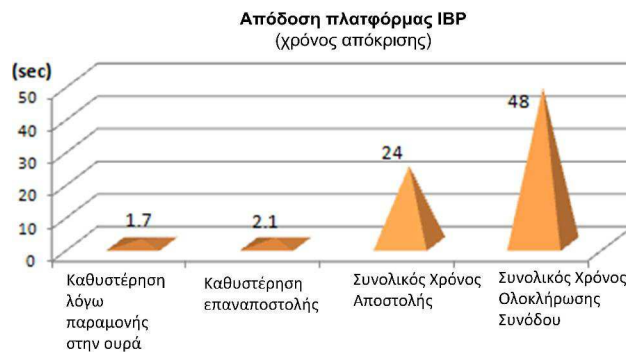
Για την παρακολούθηση της όλης διαδικασίας και τη δυνατότητα αξιολόγησης της απόκρισης του συστήματος υλοποιήθηκε μια υπηρεσία καταγραφής (auditing). Η υπηρεσία αυτή είναι ενεργοποιημένη καθ' όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας και της ανταλλαγής των μηνυμάτων και δημιουργεί αρχεία καταγραφής (log files) με όλη την απαραίτητη πληροφορία σχετικά με: (α) την επιτυχή ή μη εκτέλεση της επεξεργασίας των μηνυμάτων, (β) την μεταφορά των μηνυμάτων από το ένα σύστημα στο άλλο, (γ) τους χρόνους απόκρισης των TSB και SB και (δ) το συνολικό χρόνο εξυπηρέτησης του αρχικού μηνύματος δηλαδή το χρονικό διάστημα από τη στιγμή που ο TSB έλαβε το αίτημα μέχρι τη χρονική στιγμή που ο θεράπων ιατρός έλαβε την απάντηση.

Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι μετρήσεις και οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των στατιστικών στοιχείων και την αξιολόγηση των παραγόντων ποιότητας της IBP πλατφόρμας, δηλαδή της λειτουργικότητας, της αξιοπιστίας και της αποτελεσματικότητάς της.

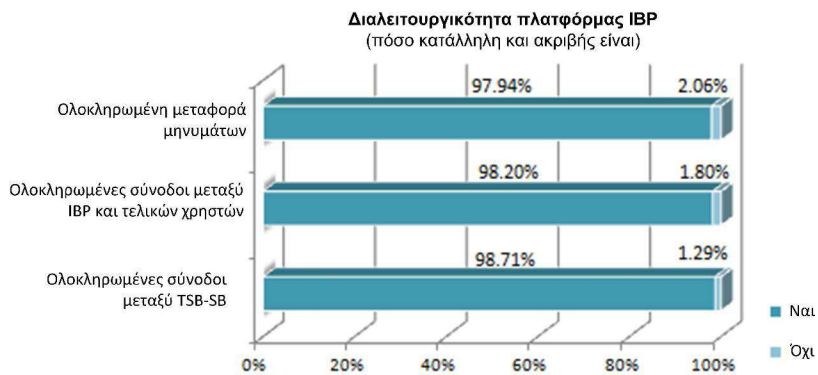
Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων αυτής της διαδικασίας (Σχ. 4.10, Σχ. 4.11 και Σχ. 4.12) προκύπτει ότι η IBP πλατφόρμα κατορθώνει να ικανοποιήσει με επιτυχία τη διεξαγωγή αυτής της απλής επικοινωνίας ολοκληρώνοντας επιτυχώς όλες τις διαδικασίες μεταφοράς και επεξεργασίας των μηνυμάτων παρόλο που οι χρόνοι απόκρισης παραμένουν σε ανεκτά, αλλά όχι ικανοποιητικά επίπεδα. Το γεγονός αυτό δημιουργεί κυρίως την ανάγκη βελτιστοποίησης των δομικών στοιχείων των TSB και SB που εκτελούν την επεξεργασία των μηνυμάτων.



**Σχήμα 4.10:** Αξιοπιστία πλατφόρμας IBP.



**Σχήμα 4.11:** Απόδοση πλατφόρμας IBP.



**Σχήμα 4.12:** Διαλειτουργικότητα πλατφόρμας IBP.

**Πίνακας 4.1:** Καταγεγραμμένοι παράμετροι αξιολόγησης της πλατφόρμας IBP

| Παράμετροι Αξιολόγησης                                              | Μετρήσεις         | Στατιστικά |        |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------|------------|--------|
| Αριθμός μηνυμάτων που μεταφέρθηκαν                                  | (μηνύματα)        |            |        |
| Αρχικά μηνύματα που στάλθηκαν                                       | 616               | -          | -      |
| Παραδιδόμενα (delivered) και γνωστοποιημένα (acknowledged) μηνύματα | 606               | 98.38%     | 1.62%  |
| Απορριφθέντα από τα φίλτρα μηνύματα                                 | 7                 | 1.14%      | 98.86% |
| Απεσταλμένα ξανά (resent) (παραδιδόμενα ή μη)                       | 134               | 99.26%     | 0.74%  |
| Χρόνοι και καθυστερήσεις                                            | (sec)             |            |        |
| Καθυστέρηση λόγω παραμονής στην ουρά (queuing delay)                | 1.7               | -          | -      |
| Καθυστέρηση επαναποστολής (Resending delay)                         | 2.1               | -          | -      |
| Συνολικός Χρόνος Αποστολής                                          | 24                | -          | -      |
| Συνολικός Χρόνος Ολοκλήρωσης Συνόδου                                | 48                | -          | -      |
| Διεξαχθείσες Σύνοδοι (Sessions) μέσω της IBP                        | (αριθμός συνόδων) |            |        |
| Επιχειρούμενες σύνοδοι(attempted sessions)                          | 388               | -          | -      |
| Ολοκληρωμένες σύνοδοι μεταξύ TSB-SB                                 | 383               | 98,71%     | 1,29%  |
| Ολοκληρωμένες σύνοδοι μεταξύ IBP και τελικών χρηστών                | 381               | 98,20%     | 1,80%  |
| Ολοκληρωμένη μεταφορά μηνυμάτων                                     | 380               | 97,94%     | 2,06%  |

Κατά την διάρκεια της υλοποίησης και της πιλοτικής λειτουργίας του όλου συστήματος, επιβεβαιώθηκε η αρχική θεώρηση που διατυπώθηκε. Διαπιστώθηκε και πειραματικά δηλαδή, ότι για την εξυπηρέτηση των εξωτερικών συστημάτων δεν απαιτείται καμία επιπλέον μεταβολή όσον αφορά τις υπηρεσίες που παρέχονται προς τον τελικό χρήστη. Αυτό σημαίνει ότι η αρχιτεκτονική που παρουσιάστηκε και ο τρόπος επικοινωνίας που παρέχεται και υποστηρίζεται από την πλατφόρμα IBP δεν επεμβαίνουν καθόλου στο πρωτόκολλο των διαδικασιών που τηρούνται και εφαρμόζονται από τους διάφορους παρόχους ιατρικής

φροντίδας, κάτι που οδηγεί και βοηθάει στη διατήρηση των ήδη υπαρχόντων επιχειρηματικών μοντέλων και αυξάνει την αξιοπιστία και την επεκτασιμότητα της πλατφόρμας.

#### **4.5 Μέλλοντική Πλατφόρμα Παροχής Υπηρεσιών (Future SDP - F-SDP)**

Δεδομένης της πολυπλοκότητας της ανάπτυξης μιας IBP και κατ' επέκτασιν μιας NG-SDP καθώς και της υλοποίησης λογισμικών διαύλων κυρίως από επιχειρήσεις μικρής κλίμακας, προτάθηκε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής η Μέλλοντική Πλατφόρμα Παροχής Υπηρεσιών (F-SDP). Η F-SDP ενσωματώνει τη λογική υλοποίησης συνεργατικών σχημάτων με τη χρήση τεχνολογιών νέφους (cloud computing). Τα συνεργατικά αυτά μοντέλα επιτρέπουν σε παρόχους υγειονομικών υπηρεσιών να ενοικιάζουν και να χρησιμοποιούν δομικά στοιχεία τρίτων παρόχων για να καλύψουν τις ανάγκες τους σχετικά με τη μηνυματοδοσία, την ολοκλήρωση, την ασφάλεια, τη διαχείριση και την ανάπτυξη νέων εφαρμογών, έτσι ώστε να μπορούν να αναπτύξουν εξατομικευμένες υπηρεσίες υγείας.

##### **4.5.1 Αιτίες για τη μετάβαση στην Future SDP (F-SDP)**

Οι βασικοί λόγοι που κρίνουν επιτακτική τη μετάβαση από την πλατφόρμα SDP στην πλατφόρμα του Μέλλοντος SDP (F-SDP) είναι:

- Οι Πάροχοι Υπηρεσιών Τηλεπικοινωνίας (Communication Service Providers - CSPs) απαιτούν μεγαλύτερη διαφάνεια, επεκτασιμότητα και ευελιξία από τις πλατφόρμες παροχής υπηρεσιών (SDPs) με σκοπό τη γρήγορη ενσωμάτωση και ενίσχυση των δυνατοτήτων τους και την άμεση παροχή βελτιωμένων υπηρεσιών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών αποτελούν οι εφαρμογές βίντεο κατά απαίτηση (VoD), φωνή μέσω IP (VoIP), τηλεόραση μέσω IP (IPTV), αγορές και τραπεζικές εργασίες με τη χρήση κινητών τηλεφώνων (mobile commerce and banking).
- Οι Φορείς Παροχής Κινητών Δικτύων (Mobile Network Operators - MNOs) προσπαθούν να βρουν νέους τρόπους ώστε να αυξήσουν το μέσο κέρδος ανά χρήστη με τη χρήση διαδραστικού περιεχομένου και της διαφήμισης για κινητές συσκευές.

Η χρήση της Future SDP θα παρέχει τη δυνατότητα ολοκλήρωσης και ομαδοποίησης των υπηρεσιών καθώς και προηγμένων υπηρεσιών για όλους ανεξαρτήτως τους συνδρομητές.

- Η συνεχής σύγκλιση των δικτύων απαιτεί βασικές φωνητικές υπηρεσίες να μεταφερθούν σε όλα τα κληροδοτούμενα, τα IP και NGN δίκτυα. Η SDP παρέχει λειτουργίες ενοποίησης και διαλειτουργικότητας και ως εκ τούτου υποστηρίζει την επίτευξη σύγκλισης και κοινής χρέωσης για κινητά, σταθερά, ευρυζωνικές, IPTV και άλλες κατηγορίες υπηρεσιών. Η παραδοσιακή διάκριση μεταξύ συνδρομητών με προπληρωμένη και εκ των υστέρων χρέωση με βάση τις υπηρεσίες που χρησιμοποιούν αφαιρείται μέσω της υποδομής OSS / BSS.
- Η ενσωμάτωση νέων επιχειρησιακών μοντέλων, προκειμένου να δημιουργηθούν νέες πηγές εσόδων και βιώσιμων ανταγωνιστικών στρατηγικών απαιτεί γρήγορη και αξιόπιστη μετάβαση από τα κλασικά μοντέλα και υπηρεσίες σε νέες ανταγωνιστικές, σε μικρό χρονικό διάστημα και με μικρό κόστος υλοποίησης και διαχείρισης.

#### **4.5.2 Αναμενόμενα Οφέλη από τη μετάβαση στην F-SDP**

- **Ευελιξία (Flexibility):** Η ανάπτυξη της πλατφόρμας F-SDP με τη χρήση της τεχνολογίας νέφους επιτρέπει σε πολλές επιχειρήσεις να χρησιμοποιήσουν πολλαπλές τεχνολογίες εποπτείας (hypervisor), όπως VMware, Hyper-V, KVM και Xen. Η αρχιτεκτονική με χρήση τεχνολογιών εποπτείας επιτρέπει την ενσωμάτωση εικονικών μηχανών (virtual machine -VM) στην αρχιτεκτονική μιας επιχείρησης δημιουργώντας υβριδικά εικονικά περιβάλλοντα (virtualization) στο εσωτερικό των επιχειρήσεων που διευκολύνουν την ολοκλήρωση και την ενσωμάτωση λειτουργιών και φυσικών πόρων που έως τώρα δεν είχε. Επιπλέον, μια επιχείρηση με αυτή τη λογική των εικονικών μηχανών είναι σε θέση να υπενοικιάσει εξοπλισμό και υποδομές που ανήκουν σε τρίτους παρόχους για να υλοποιήσει τις εσωτερικές της διεργασίες.

●**Φορητότητα των δεδομένων και των υποδομών (Data and Infrastructure Portability):**

Η ανάπτυξη της πλατφόρμας F-SDP με τη χρήση της τεχνολογίας νέφους επιτρέπει σε μια επιχείρηση με τη χρήση εικονικών μηχανών να δημιουργεί ή να παύει τη λειτουργία των VMs ανάλογα με τις ανάγκες των πελατών της. Η F-SDP παρέχει τα κατάλληλα πρότυπα για την υποστήριξη της εξαγωγής των δεδομένων, σε συνδυασμό με τη μετατροπή τους από τη μία μορφή σε μια άλλη ανεξάρτητα από την υποκείμενη πλατφόρμα. Με αυτόν τον τρόπο παρέχει τη δυνατότητα σε μια επιχείρηση να μεταφέρει δεδομένα και εφαρμογές από το ένα σημείο στο άλλο και να τις επαναχρησιμοποιεί μειώνοντας το χρόνο υλοποίησης και το λειτουργικό της κόστος.

●**Επιλογή Λειτουργικού Συστήματος και δημιουργία APIs:** Οι περισσότερες επιχειρήσεις έχουν ήδη επιλέξει τα μοντέλα προγραμματισμού και το λειτουργικό σύστημα που θα χρησιμοποιήσουν εν τη γενέσει τους. Με τις εξελίξεις στο χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών, αρκετές φορές βρίσκονται σε μια μεταβατική φάση στην οποία καλούνται να προσαρμόσουν και να επανασχεδιάσουν τα επιχειρησιακά τους μοντέλα και τις υποδομές που διαθέτουν στις νέες απαιτήσεις που οι καινούργιες τεχνολογίες θέτουν, έτσι ώστε να παραμείνουν ανταγωνιστικές. Η διαδικασία αυτή είναι δαπανηρή και απαιτεί αρκετό χρόνο. Η ανάπτυξη της πλατφόρμας F-SDP διευκολύνει τη μετάβαση ή βοηθάει στο να αποφευχθεί η εκ βάθρων αλλαγή της τεχνολογικής υποδομής και του επιχειρησιακού μοντέλου της επιχείρησης. Με τη χρήση υβριδικών μοντέλων και μηχανισμών για τη δημιουργία ή τη μετάφραση των διεπαφών APIs σε άλλες μορφές, δίνεται η δυνατότητα στις επιχειρήσεις να μπορούν να υποστηρίξουν πολλαπλά μοντέλα και γλώσσες προγραμματισμού χωρίς να χρειαστεί να κάνουν αλλαγές στο λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιούν.

●**Ενοποίηση της διαχείρισης (Unified Management):** Η F-SDP αποτελεί από τη φύση της μια ενοποιημένη πλατφόρμα διαχείρισης μεταξύ πολλαπλών οργανισμών και παρόχων. Η ενοποίηση της διαχείρισης παρέχει τη δυνατότητα σε όλους τους συμμετέχοντες με διαφορετικές πολιτικές να έχουν πρόσβαση και να μοιράζονται

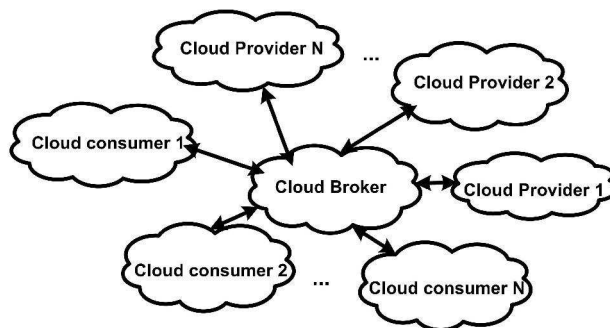
πόρους ισάξια και δίκαια χωρίς να εφαρμόζονται ανταγωνιστικές πολιτικές μεταξύ των επιχειρήσεων και των οργανισμών.

#### 4.5.3 Η Προτεινόμενη Αρχιτεκτονική της F-SDP)

Το Σχήμα 4.13 απεικονίζει τη γενική αρχιτεκτονική της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής της F-SDP. Σε σύγκριση με την αρχιτεκτονική της NG-SDP (Ενότητα 4.3.3, Σχ. 4.1), η F-SDP παρουσιάζει τις ακόλουθες διαφορές:

- το στρώμα του ενδιάμεσου λογισμικού και των υπηρεσιών (middleware and service layer) αντικαταστάθηκαν από ένα διαμεσολαβητή νέφους (Cloud Broker)
- οι υπηρεσίες και εφαρμογές που παρέχονται από τους τρίτους παρόχους στη F-SDP είναι πόροι και υπηρεσίες που φιλοξενούνται στις αναπτυχθείσες υποδομές των ιδιωτικών επιχειρήσεων με την τεχνολογία νέφους (private clouds) και
- τα δομικά στοιχεία επικοινωνίας που υλοποιούν κοινές τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες αποτελούν πόρους και υπηρεσίες που φιλοξενούνται και έχουν αναπτυχθεί σε δημόσιες υποδομές με χρήση τεχνολογιών νέφους (public clouds) για ελεύθερη χρήση.

Όλοι οι συμμετέχοντες, μέσω των υποδομών νέφους (clouds) που διαθέτουν, συνθέτουν ένα υβριδικό μοντέλο νέφους (hybrid cloud) που βρίσκεται υπό την εποπτεία του διαμεσολαβητή νέφους (Cloud Broker).

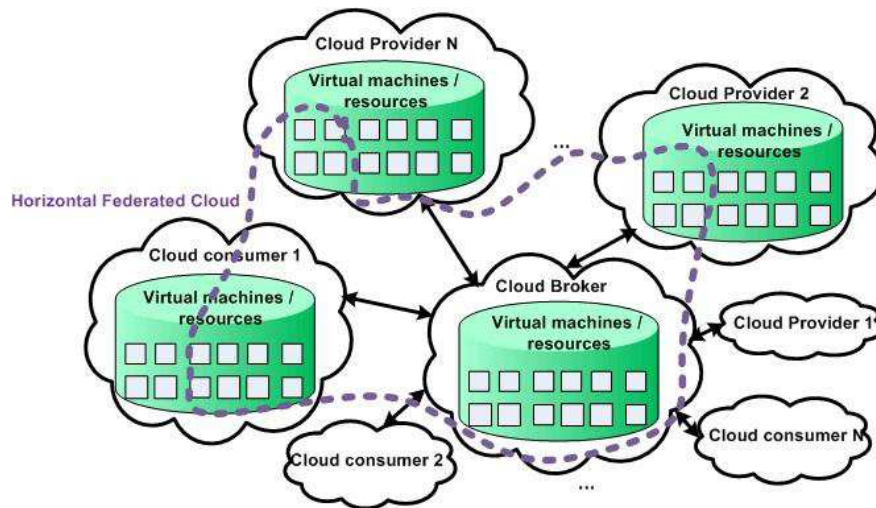


Σχήμα 4.13: Γενική αρχιτεκτονική του υβριδικού μοντέλου νέφους (hybrid cloud).

Το υβριδικό μοντέλο νέφους (hybrid cloud) είναι μια υποδομή βασισμένη στην τεχνολογία νέφους και αποτελείται από το συνεργατικό σχήμα δύο ή περισσότερων νεφών (ιδιωτικών, κοινοτικών ή δημόσιων). Στο συνεργατικό μοντέλο, κάθε νέφος παραμένει ανεξάρτητο λειτουργικά από όλα τα άλλα νέφη και αλληλεπιδρά με τα υπόλοιπα μέσω μιας κεντρικής οντότητας, του διαμεσολαβητή νέφους (Cloud Broker). Ο Cloud Broker επιτρέπει τη φορητότητα των δεδομένων και των εφαρμογών και δίνει τη δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ όλων των οντοτήτων που αποτελούν το υβριδικό μοντέλο. Επιπλέον, ο Cloud Broker παρέχει τα κατάλληλα πρότυπα έτσι ώστε να διασφαλίσει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ όλων των φορέων (χρηστών και εφαρμογών) που αναπτύσσονται στα πλαίσια του υβριδικού νέφους (π.χ. εξισορρόπηση φορτίου μεταξύ των νεφών).

Ο διαμεσολαβητής νέφους (Cloud Broker) είναι το κεντρικό δομοστοιχείο της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής Future SDP. Ο Cloud Broker παρέχει λειτουργίες ολοκλήρωσης μεταξύ των υπηρεσιών και των φυσικών πόρων που παρέχονται από πολλαπλούς ετερογενείς τρίτους παρόχους και αλληλεπιδρά κατ' αίτηση (on-demand) και με διαφανή τρόπο με τους καταναλωτές, προκειμένου να ικανοποιήσει τα αιτήματά τους. Για το σκοπό αυτό, ο Cloud Broker περιέχει έναν κατάλογο όπου κάθε πάροχος υπηρεσιών διαφημίζει ή δημοσιεύει τους φυσικούς πόρους και τις υπηρεσίες που είναι πρόθυμος να μοιραστεί με ή να νοικιάσει σε άλλους παρόχους. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι πόροι και οι υπηρεσίες που θα διαμοιραστούν οι εμπλεκόμενες οντότητες δεν φιλοξενούνται στον Broker, αλλά παρέχονται δυναμικά με εικονικό τρόπο (visualization) μέσω του συνεργατικού μοντέλου των ιδιωτικών και των δημόσιων υποδομών των τεχνολογιών νέφους.

Σε κάθε αίτηση του καταναλωτή για παροχή υπηρεσιών, ο Cloud Broker εγκαθιδρύει ένα προσωρινό συνεργατικό μοντέλο νέφους (federated cloud) (Σχ.4.14) [114], [115]. Το συνεργατικό μοντέλο νέφους αποτελεί μια συνεργατική πλατφόρμα μεταξύ των παρόχων οι οποίοι προσφέρουν προς ενοικίαση τους πόρους ή τις υπηρεσίες τους στο cloud Broker, προκειμένου αυτός να ικανοποιήσει το αίτημα των καταναλωτών. Επιλέγεται η οριζόντια ανάπτυξη των εμπλεκόμενων πόρων, έτσι ώστε ο cloud Broker να μπορεί να παρέχει δυναμική ολοκλήρωση και διαλειτουργικότητα στα πλαίσια του συνεργατικού μοντέλου.



Σχήμα 4.14: Γενική αρχιτεκτονική του συνεργατικού νέφους (federated cloud).

#### 4.5.3.1 Αρχιτεκτονική του Διαμεσολαβητή Νέφους (Cloud Broker)

Ο διαμεσολαβητής νέφους (Cloud Broker) είναι μια οντότητα ενδιάμεσου λογισμικού (middleware) που παρέχει λειτουργίες αντίστοιχες με αυτές του TSB και SB αλλά, όπως απορρέει και από το όνομά του, έχει αναπτυχθεί με τεχνολογίες νέφους. Δημιουργεί ένα ενδιάμεσο περιβάλλον νέφους το οποίο επιτρέπει το διαμοιρασμό των φυσικών πόρων μεταξύ των διαφόρων παρόχων υπηρεσιών, την απλούστευση των διαδικασιών ολοκλήρωσης, σύνθεσης και παροχής σύνθετων υπηρεσιών από άλλες απλούστερες και την παροχή ενός συνόλου από διεπαφές APIs που δίνουν τη δυνατότητα σε πολλαπλούς καταναλωτές που χρησιμοποιούν διαφορετικά λογισμικά μεταξύ τους, να καταναλώσουν την νέα υπηρεσία [115], [116]. Παρέχει επίσης, λειτουργίες διαπραγμάτευσης των πολιτικών και των κανόνων που θα εφαρμοστούν μεταξύ των καταναλωτών και των παρόχων ή μεταξύ των πολλαπλών παρόχων υπηρεσιών που συμμετέχουν στο συνεργατικό μοντέλο νέφους (federated cloud) με σκοπό τον δίκαιο διαμοιρασμό των πόρων και την τήρηση των SLAs. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κυριότερες υπηρεσίες που παρέχονται από το διαμεσολαβητή νέφους και είναι σύμφωνες με τις προδιαγραφές και τις συστάσεις του NIST Cloud Computing Reference Architecture [117]:

- i) **Υπηρεσία Διαμεσολάβησης:** Ο Cloud Broker ενισχύει μια υπάρχουσα υπηρεσία μέσω της βελτίωσης συγκεκριμένων δυνατοτήτων (capability) που έχει σαν στόχο την παροχή υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας στους καταναλωτές υπηρεσιών νέφους (cloud consumer). Η βελτίωση αυτή σχετίζεται με τη διαχείριση της πρόσβασης σε υπηρεσίες νέφους, τη διαχείριση της ταυτότητας, την αξιολόγηση της επίδοσης, θέματα ασφάλειας, κ.α.
- ii) **Υπηρεσία Συνάθροισης:** Ο Cloud Broker συνδυάζει και ενσωματώνει πολλαπλές υπηρεσίες σε μία ή περισσότερες νέες υπηρεσίες. Παρέχει τη λειτουργία ολοκλήρωσης των δεδομένων και εξασφαλίζει την ασφαλή φορητότητα των δεδομένων μεταξύ των καταναλωτών υπηρεσιών νέφους και των πολλαπλών παρόχων υπηρεσιών.
- iii) **Υπηρεσία Εύρεσης Προσφερόμενων Υπηρεσιών:** Ο Cloud Broker έχει την ευελιξία να επιλέγει ανάμεσα σε μια πληθώρα από σταθερές και μη-σταθερές υπηρεσίες προσφερόμενες από πολλαπλούς παρόχους.

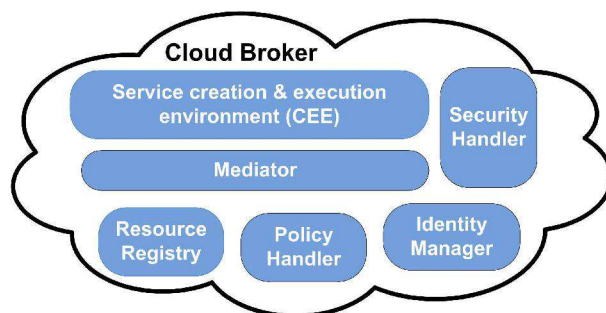
Ο Cloud Broker αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά δομικά στοιχεία (Σχ. 4.15):

- **Μητρώο Καταχωρητή Πόρων (Resource Registry):** Είναι μια βάση δεδομένων στην οποία κάθε πάροχος υπηρεσιών έχει δημοσιεύσει έναν κατάλογο με τις υπηρεσίες και τους πόρους που προσφέρει προς ενοικίαση και χρήση, έτσι ώστε να είναι εύκολα προσβάσιμος από το διαμεσολαβητή νέφους.
- **Περιβάλλον Σύνθεσης και Εκτέλεσης Υπηρεσιών (Creation and Execution Environment (CEE)):** Παρέχει το κατάλληλο περιβάλλον για την απλούστευση των διαδικασιών σύνθεσης και εκτέλεσης υπηρεσιών που διέπονται από διαφορετικούς συντακτικούς και σημασιολογικούς κανόνες. Το περιβάλλον αυτό επιτρέπει την πρόσβαση σε μια μεγάλη ποικιλία ιδιόκτητων (proprietary) ή προς ενοικίαση φυσικών πόρων και υποδομών (π.χ. εικονικές μηχανές, φυσικές υπολογιστικές μηχανές, βιβλιοθήκες, διεπαφές - APIs, μεταγλωττιστές, εργαλεία ανάπτυξης, κ.α). Μέσω του CEE, οι πάροχοι και οι χρήστες που συμμετέχουν στο συνεργατικό μοντέλο νέφους μπορούν να διαμοιραστούν και να ολοκληρώσουν πόρους και υπηρεσίες, έτσι ώστε

να προσαρμόσουν τις υπηρεσίες στους στόχους και τις ανάγκες τους. Επιπλέον, το CEE παρέχει μηχανισμούς είτε για την άμεση σύνθεση και εκτέλεση των νεο-σχηματισθέντων υπηρεσιών είτε για την αποθήκευση και τη χρήση του περιεχομένου τους κατ' απαίτηση.

- **Διαμεσολαβητής (Mediator):** Είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο των πόρων που θα χρησιμοποιηθούν από επιλεγμένους παρόχους. Επιπλέον, διαπραγματεύεται τις πολιτικές και τα SLAs που θα εκτελεστούν κατά περίπτωση. Στην πραγματικότητα, ο μεσολαβητής έχει το ρόλο ενός βελτιωμένου διαμεσολαβητή μηνυμάτων (ένα συνδυασμό του TSB και SB που παρουσιάστηκε στην ενότητα 4.4) που ενσωματώνει τις λειτουργίες της διαχείρισης και της ασφαλείας για την εγκαθίδρυση των συνεργατικών μοντέλων νέφους μεταξύ των εμπλεκόμενων οντοτήτων.
- **Διαχειριστής Πολιτικών (Policy Manager):** Περιέχει ένα μητρώο καταχώρησης (registry) με όλα τα SLAs που έχουν δημοσιευθεί από τους παρόχους νέφους. Κάθε φορά που ένας καταναλωτής αιτείται υπηρεσιών ή πόρων, ο μεσολαβητής διαπραγματεύεται και αντιστοιχίζει τα SLA του καταναλωτή που αιτήθηκε υπηρεσία με τις υπηρεσίες που ο κάθε πάροχος προσφέρει. Ο διαχειριστής πολιτικών στη συνέχεια βρίσκει την πιο κατάλληλη αντιστοίχιση για την αιτούμενη υπηρεσία.
- **Διαχειριστής Ταυτοποίησης (Identity Manager):** Ελέγχει τα διαπιστευτήρια και τα πιστοποιητικά των παρόχων και των καταναλωτών, προκειμένου να αποφευχθεί η κακόβουλη και η μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση σε πόρους και υπηρεσίες του νέφους. Επιπλέον, παράγει και διανέμει ένα δελτίο ελεύθερης εισόδου στο σύστημα μετά την πρώτη επιτυχή ταυτοποιημένη είσοδο (SSO token). Το δελτίο αυτό παρέχει στους καταναλωτές και στους παρόχους ελεύθερη πρόσβαση στο σύστημα χωρίς την ανάγκη να πιστοποιούνται συνεχώς και τους επιτρέπει τη χρήση των υποδομών σε όλα τα στάδια σύνθεσης και εκτέλεσης των υπηρεσιών μέχρι την ικανοποίηση του αιτήματος τους.
- **Διαχειριστής Ασφάλειας (Security Handler):** Ο Διαχειριστής Ασφάλειας αναστέλλει κακόβουλες ενέργειες από και προς τα διάφορα δομικά στοιχεία που επικοινωνούν

με τον Cloud Broker. Διαχειρίζεται τη συνολική ασφάλεια του διαμεσολαβητή νέφους και συνεργάζεται με το διαχειριστή ταυτοποίησης (Identity Manager) και τον διαχειριστή πολιτικών (Policy Handler), προκειμένου να αποφευχθεί η μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση, τροποποίηση ή άρνηση πρόσβαση στις υποδομές του νέφους και στους πόρους του. Επιπλέον, παρέχει μηχανισμούς τοίχους προστασίας (firewalls) που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση εισβολών με στόχο την προστασία των δεδομένων, των πόρων και των υπηρεσιών από κακόβουλο λογισμικό και ιούς (π.χ. worms, Trojans, κ.α).



Σχήμα 4.15: Γενική αρχιτεκτονική του διαμεσολαβητή νέφους (Cloud Broker).

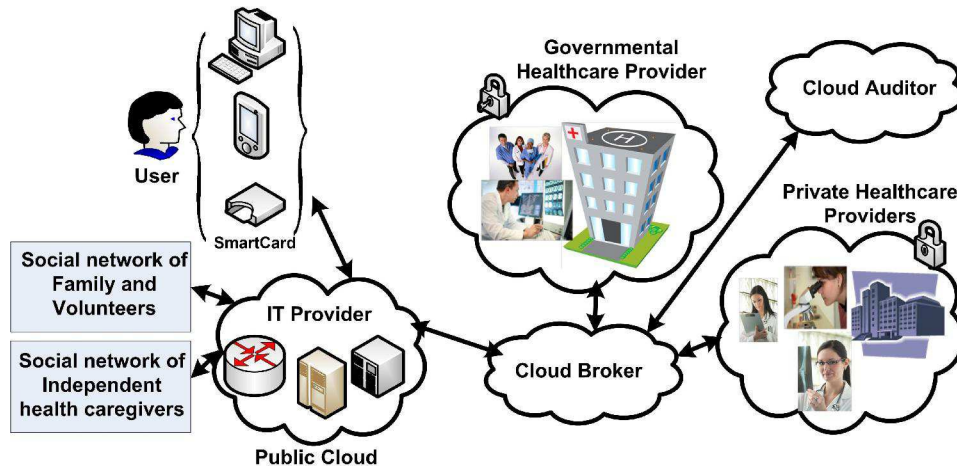
#### 4.5.4 Αρχιτεκτονική της Μελλοντικής Πλατφόρμας Παροχής Υπηρεσιών Υγείας (Healthcare F-SDP)

Η προτεινόμενη F-SDP μπορεί να εφαρμοστεί στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Σε αυτή την περίπτωση η Μελλοντική Πλατφόρμα Παροχής Υπηρεσιών Υγείας (Healthcare F-SDP) αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά δομικά στοιχεία:

- έναν καταναλωτή υπηρεσιών (χρήστη) (cloud consumer) ο οποίος έχει αναπτυχθεί με τη χρήση τεχνολογιών νέφους και αιτείται από το σύστημα είτε φυσικούς πόρους για να εκτελέσει εσωτερικές διεργασίες ή υπηρεσίες
- πολλούς παρόχους (cloud providers) οι οποίοι προσφέρουν τις υποδομές τους ή τις υπηρεσίες τους είτε προς ενοικίαση ή για άμεση χρήση ή και τα δύο αυτά με έναν ενιαίο τρόπο

- ένα Cloud Broker που ενεργεί ως διαμεσολαβητής μεταξύ των καταναλωτών και των παρόχων και εκτελεί διαδικασίες μηνυματοδοσίας, ολοκλήρωσης και διαχείρισης με διαφανή τρόπο.

Στο Σχήμα 4.16 παρουσιάζονται αναλυτικά οι οντότητες που λαμβάνουν μέρος στην Healthcare Future SDP.



**Σχήμα 4.16:** Γενική αρχιτεκτονική της Μελλοντικής Πλατφόρμας Παροχής Υπηρεσιών Υγείας (Healthcare Future SDP).

**Οι κυβερνητικοί φορείς παροχής υπηρεσιών υγείας (Governmental Healthcare Providers - GHPs)** αποτελούν μια ενιαία κοινότητα, η οποία σχηματίζεται από τη συνεργασία πολλών κυβερνητικών οργανισμών (π.χ. νοσοκομεία, κλινικές, φαρμακεία, ασφαλιστικές εταιρείες, κλπ) και μοιράζονται την ίδια υποδομή δημόσιου νέφους (public cloud), καθώς και τις πολιτικές, κανόνες ασφαλείας, ιδιότητες, κ.α. Στην υποδομή νέφους των GHP συνδέονται πολλαπλοί πάροχοι υπηρεσιών ιατρικής φροντίδας, οι οποίοι παρέχουν υπηρεσίες απομακρυσμένης παρακολούθησης των ασθενών, όπως για παράδειγμα ιατροί, νοσηλευτές, υπηρεσίες ασθενοφόρων, διαγνωστικά κέντρα κ.α. Οι διαφορετικές οντότητες (domains) του χώρου της υγείας συνεργάζονται μεταξύ τους και σχηματίζουν ένα κύκλο εμπιστοσύνης (Circle of Trust - COT), όπου κάθε οντότητα διατηρεί ένα μητρώο με τις αξιόπιστες υπηρεσίες που παρέχονται από άλλες οντότητες με τις οποίες έχει συνεργαστεί (π.χ. γιατροί με διαγνωστικά κέντρα). Οι GHP εκτελούν ένα διπλό ρόλο, είτε λειτουργούν ως μεμονωμένες οντότητες, δηλαδή, πάροχοι υπηρεσιών με υπηρεσίες και πόρους

προς ενοικίαση και χρήση είτε ως κοινές εφαρμογές και υπηρεσίες που θα λειτουργήσουν ως δομικά στοιχεία για τη σύνθεση και τη δημιουργία νέων υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας.

**Οι Ιδιωτικοί φορείς παροχής υπηρεσιών υγείας (Private Healthcare Providers (PHPs))** αποτελούν ιδιωτικές υποδομές νέφους υπό την εποπτεία και τη διαχείριση των οργανισμών που τις δημιούργησαν. Κάθε PHP έχει τη δική του υποδομή στην οποία φιλοξενούνται οι υπηρεσίες και οι υποδομές του νέφους όπως για παράδειγμα οι εικονικές μηχανές (virtual machines) και οι φυσικοί πόροι του συστήματος με σκοπό την παροχή υπηρεσιών προς τους πελάτες τους. Κάθε χρήστης που αιτείται υπηρεσιών ή καταναλώνει τις υποδομές του συστήματος θα πρέπει να έχει εγγραφεί και να ανήκει στο δυναμικό του ιδιωτικού οργανισμού ή να αποτελεί συνδρομητή του προκειμένου να έχει πρόσβαση σε φροντιστές (caretaker), θεράποντες ιατρούς ή EHRs. Τα συστήματα νέφους των PHP επιτρέπουν τη συνεργασία και την απομακρυσμένη πρόσβαση στις υποδομές και σε οντότητες που ανήκουν σε διαφορετικούς τομείς με τον αιτούντα της υπηρεσίας. Ομοίως με τις υποδομές των GHPs, οι PHPs λειτουργούν ως δομικά στοιχεία υπηρεσιών έτοιμα για χρήση ή «μεταπώληση».

**Οι Πάροχοι Υπηρεσιών Τηλεπικοινωνίας (IT Providers)** μοιράζονται την ίδια υποδομή ιδιωτικών και δημόσιων νεφών με τους συνδρομητές τους και τους κυβερνητικούς φορείς παροχής υπηρεσιών υγείας. Παρέχουν κατ' απαίτηση υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών καθώς και πρόσβαση σε κοινές υποδομές και φυσικούς πόρους των συστημάτων τους (π.χ. δίκτυα, εξυπηρετητές (servers), υπηρεσίες φωνής πάνω από Ίντερνετ, μηνυματοδοσίας, ηλεκτρονικού ταχυδρομείου κλπ). Ο κάθε χρήστης, είναι ένας εγγεγραμμένος συνδρομητής στις υπηρεσίες που παρέχει ο τηλεπικοινωνιακός πάροχος νέφους. Με βάση το συμβόλαιο που διαθέτει και με τις δεσμευτικές πολιτικές συμφωνίας, τις χρεώσεις, την τιμολόγηση και το αντίστοιχο πάγιο, του παρέχονται απομακρυσμένες υπηρεσίες τηλεϊατρικής. Οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι νέφους υποστηρίζουν το κοινωνικό δίκτυο του ασθενούς που αποτελείται από τα μέλη της οικογενείας του και τους εθελοντές, τους ανεξάρτητους τρίτους παρόχους ιατρικών υπηρεσιών (κοινωνικό δίκτυο ανεξάρτητων φροντιστών υγείας)

και τους κυβερνητικούς φορείς παροχής υπηρεσιών υγείας, όπως για παράδειγμα δημόσια νοσοκομεία, κλινικές, εργαστηριακά κέντρα, νοσηλευτές κ.α. Στην προτεινόμενη αρχιτεκτονική του συστήματος, ο IT πάροχος αναπτύσσεται ως δομικό στοιχείο υπηρεσιών τηλεπικοινωνίας και μηνυματοδοσίας έτσι ώστε να παρέχει υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας.

**Ο Cloud Broker** είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση και τη διαπραγμάτευση των πολιτικών κανόνων με σκοπό την ενοικίαση ή το διαμοιρασμό των υποδομών και των υπηρεσιών μεταξύ των καταναλωτών και των παρόχων υπηρεσιών νέφους. Παράλληλα, είναι επιφορτισμένος με το ρόλο του διαμεσολαβητή για την ανίχνευση και επιλογή των καταλληλότερων υπηρεσιών στον αιτούντα χρήστη, την εφαρμογή αυστηρών κανόνων ασφαλείας και την παροχή των αιτούμενων πόρων ή υπηρεσιών όπως αναλύθηκε εκτενώς στην ενότητα 4.5.3.1. Οι κυριότερες υπηρεσίες που παρέχονται από το cloud broker είναι σύμφωνες με το μοντέλο αναφοράς της αρχιτεκτονικής τεχνολογιών νέφους (Cloud Computing Architecture) που προτάθηκε από το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (NIST) των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής [117] και περιλαμβάνει:

- **Την Υπηρεσία Διαμεσολάβησης (Service Intermediation):** Ο Cloud Broker μπορεί να βελτιώσει τις υπάρχουσες υπηρεσίες ενισχύοντας κάποιες από τις υπάρχουσες ικανότητές της (capabilities) παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας στους τελικούς καταναλωτές των υπηρεσιών νέφους. Η βελτίωση αυτή μπορεί να σχετίζεται με υπηρεσίες διαχείρισης εισόδου και προσπέλασης υπηρεσιών, έλεγχο πιστοποίησης και ταυτοποίησης των χρηστών, ενίσχυση των μηχανισμών ασφαλείας και βελτίωση της επίδοσης και απόκρισης των υπηρεσιών, κ.α.
- **Την Υπηρεσία Συγκολλήσεως/Συνάθροισης (Service Aggregation):** Ο Cloud Broker συγκεντρώνει και ολοκληρώνει πολλαπλές υπηρεσίες σε μία ή περισσότερες νέες υπηρεσίες. Παρέχει δυνατότητες ολοκλήρωσης των δεδομένων και εξασφαλίζει την ασφαλή μεταφορά των δεδομένων μεταξύ καταναλωτών υπηρεσιών και πολλαπλών παρόχων.
- **Την Υπηρεσία Εξισορρόπησης Κερδών (Service Arbitrage):** Ο Cloud Broker δρώντας ως μεσολαβητής έχει την ευελιξία και να επιλέγει μεταξύ πάγιων και μη (fixed

and non-fixed) δομικών στοιχείων και υπηρεσιών που προσφέρονται από πολλούς παρόχους με σκοπό τη δημιουργία νέων υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας με βάση τις ανάγκες του τελικού χρήστη.

**Ο Ελεγκτής Νέφους (Cloud Auditor):** Αποτελεί ένα τρίτο ανεξάρτητο πάροχο επιφορτισμένο να διεξάγει ανεξάρτητο έλεγχο των υπηρεσιών και των πληροφοριών που παρέχονται από τα λειτουργικά συστήματα και καθορίζει τα επίπεδα ασφαλείας του συστήματος νέφους. Ο ελεγκτής αποτελεί απαραίτητο δομικό στοιχείο της αρχιτεκτονικής για την αξιολόγηση των υπηρεσιών που παρέχονται από τους φορείς τεχνολογιών νέφους.

**Ο Τελικός Χρήστης (User):** Είναι ο καταναλωτής (π.χ. ασθενής, ιατρός, νοσοκόμα, κλπ) των υπηρεσιών ή των φυσικών πόρων που παρέχονται από τους παρόχους τεχνολογιών νέφους. Η ασφαλής πρόσβαση και η επεξεργασία των προσωπικών δεδομένων του χρήστη που αποτελούνται από το ηλεκτρονικό προφίλ και τον EHR του, επιτυγχάνεται μέσω:

- Του αποδεικτικού εξατομικευμένης εισόδου στην πλατφόρμα. Ένας καταναλωτής υπηρεσιών νέφους πιστοποιείται μία φορά κατά τη διαδικασία της ταυτοποίησης και του ελέγχου των πιστοποιητικών εισόδου και έπειτα έχει πρόσβαση στους πόρους που παρέχονται από το συνεργατικό μοντέλο νέφους που ανήκουν στο ίδιο πλαίσιο εμπιστοσύνης, χωρίς περαιτέρω ελέγχους ταυτότητας.
- Των ψηφιακών ταυτοτήτων που παρέχονται από τρίτους ανεξάρτητους παρόχους. Ο καταναλωτής μπορεί να έχει πρόσβαση και να πιστοποιηθεί από νέφη που δεν ανήκουν στο συνεργατικό μοντέλο χρησιμοποιώντας την ψηφιακή ταυτότητα που του παραχωρήθηκε και καλύπτεται από την εγγύηση ενός τρίτου ανεξάρτητου παρόχου ο οποίος είναι αρμόδιος για τον έλεγχο των προσυμφωνημένων κανόνων και πολιτικών.

#### **4.5.5 Υλοποίηση της Μελλοντικής Πλατφόρμας Παροχής Υπηρεσιών Υγείας (Healthcare F-SDP)**

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της προτεινόμενης Μελλοντικής Πλατφόρμας Παροχής Υπηρεσιών (Healthcare F-SDP) και τα διαγράμματα ροής των πληροφοριών μέσα από ένα πραγματικό σενάριο στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης.

Εξετάζεται το λειτουργικό σενάριο, όπου ο χρήστης (ασθενής) επιθυμεί να επικοινωνήσει με έναν ιατρό, δηλαδή να κάνει επίκληση δημιουργίας μιας συνεδρίας με χρήση της υπηρεσίας τηλεδιάσκεψης (videoconferencing session), διότι αισθάνεται την εμφάνιση ενός συμπτώματος, π.χ. έντονο πόνο στο στήθος συνοδευόμενο από δύσπνοια. Σε αυτό το σενάριο, το συνεργατικό μοντέλο νέφους δημιουργείται μεταξύ του χρήστη, του παρόχου τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών (IT Provider), του Cloud Broker και του παρόχου υπηρεσιών υγείας.

Ο Cloud Broker υποστηρίζει τη διαδικασία παροχής υπηρεσιών φροντίδας μέσω δύο διακριτών φάσεων:

- **Φάση Ολοκλήρωσης (Integration Phase):** στην παρούσα φάση πραγματοποιείται συνάθροιση και ολοκλήρωση όλων των απαιτούμενων πόρων (ιατρικών, λειτουργικών, πληροφορίες συγκεκριμένου, κλπ) προκειμένου να δημιουργηθεί το συνολικό προφίλ του χρήστη (Σχ. 4.17), και
- **Φάση Εκτέλεσης (Execution Phase):** η φάση αυτή ενσωματώνει την ανάπτυξη του κατάλληλου περιβάλλοντος για την εκτέλεση των απαιτούμενων εργασιών απομακρυσμένης παρακολούθησης και διαχείρισης της κατάστασης του ασθενούς, όπως πρόσβαση σε ιατρικές εξετάσεις, φαρμακευτικές αγωγές που έχουν συνταγογραφηθεί κ.α (Σχ. 4.18).

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι και στις δύο φάσεις, ο Cloud Broker θα πρέπει να εκτελεί: (α) τον έλεγχο ταυτοτήτων και πιστοποιητικών με σκοπό τη δημιουργία ενός κύκλου εμπιστοσύνης με τους εμπλεκόμενους συμμετέχοντες στο συνεργατικό μοντέλο νέφους, (β) την ανίχνευση, εύρεση και σύνδεση των υπηρεσιών και των φυσικών πόρων (π.χ. EHR

χρήστη και προφίλ, μετρήσεις βιοσημάτων από αισθητήρες, κλπ) από διαφορετικούς ανεξάρτητους παρόχους υπηρεσιών και (γ) τη σύσταση του συνεργατικού περιβάλλοντος είτε για την ολοκλήρωση των πόρων και των υπηρεσιών (φάση ολοκλήρωσης) είτε για την εκτέλεση μιας υπηρεσίας ή διαδικασίας που ο ασθενής ή ο ιατρός δεν μπορεί να χειριστεί (φάση εκτέλεσης). Στη φάση ολοκλήρωσης, η διαλειτουργικότητα θα πρέπει να επιτευχθεί σε επίπεδο υποδομών (infrastructure layer), ενώ στη φάση εκτέλεσης θα πρέπει να επιτευχθεί στο επίπεδο του ενδιάμεσου λογισμικού (middleware layer).

#### 4.5.5.1 Φάση Ολοκλήρωσης (Integration Phase)

Θεωρούμε ότι κάθε φορά που ένας πάροχος συνδέεται στο υβριδικό μοντέλου νέφους για την παροχή ή την αναζήτηση υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης, δημοσιεύει στο μητρώο του Καταχωρητή Υπηρεσιών (Resource Registry) του cloud Broker τους πόρους και τις υπηρεσίες που επιθυμεί να παρέχει και να ενοικιάσει ή να διαμοιράσει στους άλλους συμμετέχοντες. Το διάγραμμα ροής για την ολοκλήρωση του προφίλ του ασθενούς παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.17 και αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα:

*Βήμα Α.1 (Επαλήθευση ταυτότητας του χρήστη και του τηλεπικοινωνιακού παρόχου - Authentication of user and IT Provider):* Ο cloud Broker (μέσω του Διαχειριστή Ταυτοποίησης - Identity Manager) ελέγχει εάν ο χρήστης (ασθενής) είναι πιστοποιημένος και εγκεκριμένος να έχει πρόσβαση σε υπηρεσίες απομακρυσμένης παρακολούθησης της κατάστασης της υγείας του. Ο έλεγχος της ταυτοποίησης γίνεται μέσω της αλληλεπίδρασης του cloud Broker με τους παρόχους υπηρεσιών υγείας του υβριδικού μοντέλου νέφους. Εάν ο χρήστης είναι πιστοποιημένος να λαμβάνει υπηρεσίες υγειονομικού ενδιαφέροντος, ο cloud Broker εξουσιοδοτείται από τον IT provider του χρήστη να αποκαταστήσει μια υπηρεσία βιντεοδιάσκεψης (videoconference session) μεταξύ του χρήστη και του ιατρικού προσωπικού του παρόχου υπηρεσιών υγείας.

*Βήμα Α.2 (Ανίχνευση και Εύρεση της αιτούμενης υπηρεσίας - Discovery of the required service):* Ο IT provider προωθεί τα αιτήματα του χρήστη, το αναγνωριστικό της ταυτότητας του και το συνθηματικό κωδικό πρόσβασης στον cloud Broker (Mediator). Στη συνέχεια αιτείται να βρει όλους τους ιατρούς που βρίσκονται στην ίδια γεωγραφική περιοχή

με το χρήστη και είναι διαθέσιμοι να τον εξυπηρετήσουν, ελέγχοντας την τρέχουσα κατάσταση διαθεσιμότητάς τους (on-line status). Η διαδικασία αυτή αποτελεί τη διαδικασία ανίχνευσης υπηρεσιών (discovery of service).

*Βήμα Α.3 (Σύνδεση με την αιτούμενη υπηρεσία - Binding of the required service):* Ο διαμεσολαβητής (Mediator): (α) επικοινωνεί με τον Καταχωρητή Πόρων και Υπηρεσιών (Resource Registry) με σκοπό να βρει και να συνδέσει το ιατρικό ή/και παραϊατρικό προσωπικό των παρόχων υγειονομικών υπηρεσιών (π.χ. νοσοκομεία, κλινικές, κ.α) που είναι διαθέσιμοι να παρέχουν υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης στο χρήστη/ασθενή, (β) αλληλεπιδρά με το Διαχειριστή Πολιτικών (Policy Manager) για τη διαπραγμάτευση των πολιτικών κανόνων και τέλος την εύρεση και σύνδεση του πιο κατάλληλου παρόχου σύμφωνα με τις πολιτικές, το QoS και τα SLAs του χρήστη. Ο πάροχος που επιλέγεται ο καταλληλότερος με βάση τις παραμέτρους αυτές, διασυνδέεται με το cloud Broker και τον IT provider δημιουργώντας το συνεργατικό μοντέλο νέφους (federated cloud).

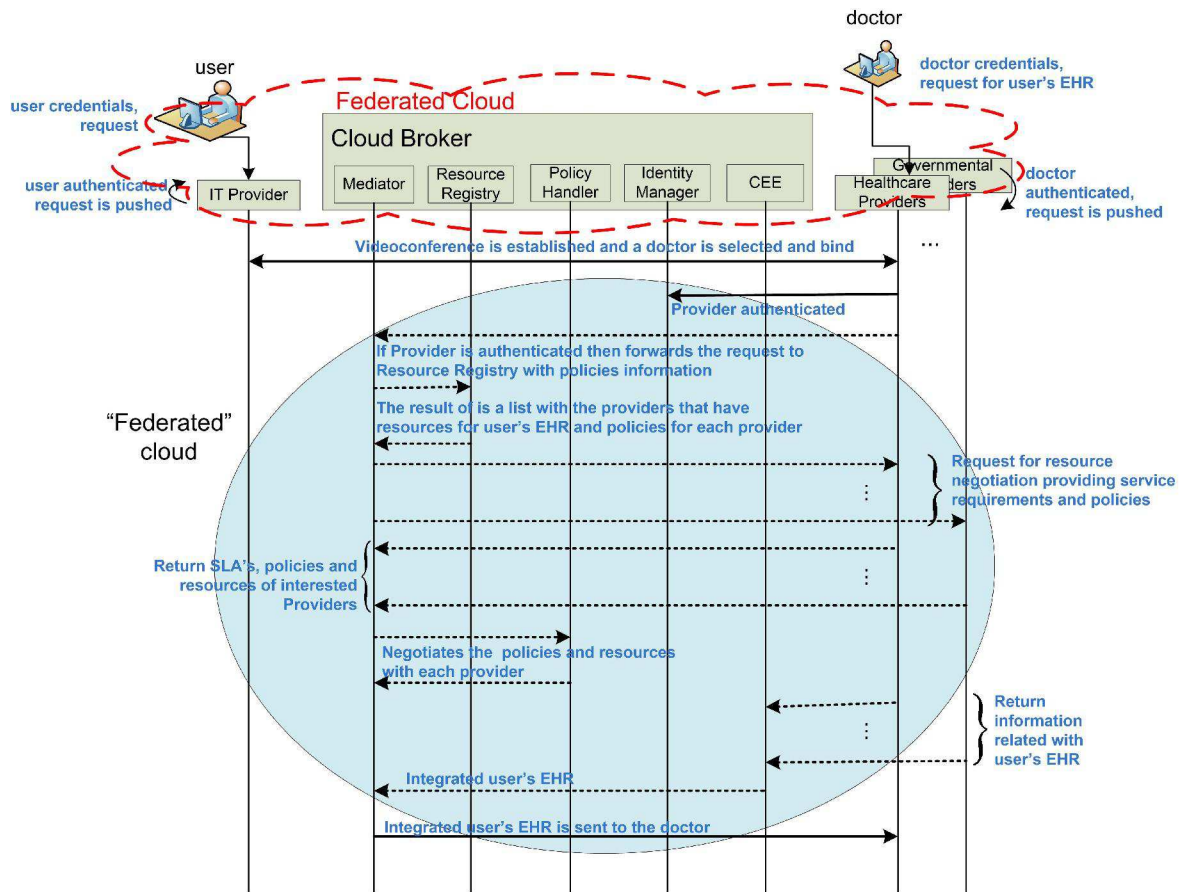
Κατά τη διάρκεια των παραπάνω τριών βημάτων, δημιουργείται το συνεργατικό μοντέλο νέφους στο οποίο ο cloud Broker λειτουργεί ως ένας διάυλος μηνυματοδοσίας (message broker). Δηλαδή, διαχειρίζεται τα μηνύματα που ρέουν από και προς τους εμπλεκόμενους παρόχους παρέχοντας επαυξημένες λειτουργίες για τη διαπραγμάτευση και την κοινή χρήση των παρεχόμενων πόρων από οποιονδήποτε συμμετέχει στο κοινό συνεργατικό μοντέλο.

Στη συνέχεια περιγράφονται τα ακόλουθα τρία βήματα (Α.4 έως Α.6) τα οποία παρουσιάζουν τον τρόπο με τον οποίο το συνεργατικό μοντέλο νέφους λειτουργεί στο προαναφερθέν σενάριο παροχής υπηρεσιών υγείας με σκοπό να ανασυρθεί και να γίνει σύνθεση (ολοκλήρωση) του συνολικού ιατρικού φακέλου του ασθενούς που βρίσκεται αποθηκευμένο σε διαφορετικούς παρόχους. Στο πλαίσιο του συνεργατικού αυτού μοντέλου νέφους, οι πάροχοι υγειονομικών υπηρεσιών καθώς και ο IT provider παρέχουν στο cloud Broker τους πόρους τους (π.χ. εργαστηριακές εξετάσεις, συνταγογραφημένα φάρμακα, το προφίλ χρήστη, κλπ) προς ενοικίαση και διαμοιρασμό με σκοπό τη δημιουργία του συνόλου ιατρικού φακέλου του χρήστη. Ως εκ τούτου, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ολοκλήρωσης, δημιουργείται σταδιακά μια «εικονική επιχείρηση» (virtual enterprise) μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων του συνεργατικού μοντέλου νέφους.

*Βήμα A.4 Ανίχνευση και σύνδεση των απαιτούμενων πόρων - Discovery & binding of the required resources*): Δεδομένου ότι έχει αποκατασταθεί μια συνεδρία βιντεοδιάσκεψης μεταξύ του χρήστη και του ιατρού, ο ιατρός χρειάζεται να έχει πρόσβαση στον ιατρικό φάκελο του ασθενούς για να μπορεί να αποφανθεί για την κλινική του κατάσταση καθώς και την θεραπευτική αγωγή που θα πρέπει να ακολουθήσει. Ο ιατρικός φάκελος συνήθως είναι διαμοιρασμένος και φιλοξενείται σε διάφορους ιδιωτικούς και δημόσιους οργανισμούς (π.χ. νοσοκομεία, ιδιωτικές κλινικές, κέντρα εργαστηριακών εξετάσεων, σε ιδιώτες ιατρούς, κ.α.). Σε αυτό το βήμα, ο cloud Broker ανιχνεύει όλους τους παρόχους που έχουν αποθηκευμένες πληροφορίες σχετικές με τον ηλεκτρονικό ιατρικό φάκελο (EHR) του ασθενούς και οργανώνει, συντονίζει και συνδέει όλους τους παρόχους σε ένα συνεργατικό μοντέλο με σκοπό τη σύνθεση ενός ολοκληρωμένου συνολικού ιατρικού φακέλου του ασθενούς. Ο Διαχειριστής Πολιτικών διαπραγματεύεται τις πολιτικές και τους κανόνες που θα πρέπει να ακολουθηθούν από όλους τους συμμετέχοντες για την ολοκλήρωση όλων των προαναφερθέντων πόρων.

*Βήμα A.5 Ολοκλήρωση των πόρων του EHR πόρων - Integration of EHR resources*): Το CEE του cloud Broker δημιουργεί ένα προσωρινό αντίγραφο του EHR, το οποίο είναι ορατό και προσβάσιμο από τον αιτούντα (π.χ. ιατρό) ή τους συμμετέχοντες στον κύκλο εμπιστοσύνης του συνεργατικού μοντέλου νέφους (π.χ. ιατρούς, νοσηλεύτες, κ.α.). Με αυτόν τον τρόπο ο ιατρός μπορεί να αποφανθεί για την κλινική εικόνα του ασθενούς και να τον θεραπεύσει διότι έχει μια ολοκληρωμένη εικόνα και πληροφορίες για το προφίλ του, δηλαδή, το ιατρικό ιστορικό, την τρέχουσα κατάσταση της υγείας του, την ύπαρξη συνοδών νοσημάτων καθώς και την φαρμακευτική αγωγή που ακολουθεί.

*Βήμα A.6 Αποδέσμευση του συνεργατικού μοντέλου - Release of the federated cloud*): Όταν η συνεδρία βιντεοδιάσκεψης τερματιστεί, αποδεσμεύονται αυτόματα και οι πόροι και σπάει ο κύκλος εμπιστοσύνης των συμμετεχόντων στο συνεργατικό μοντέλο νέφους.

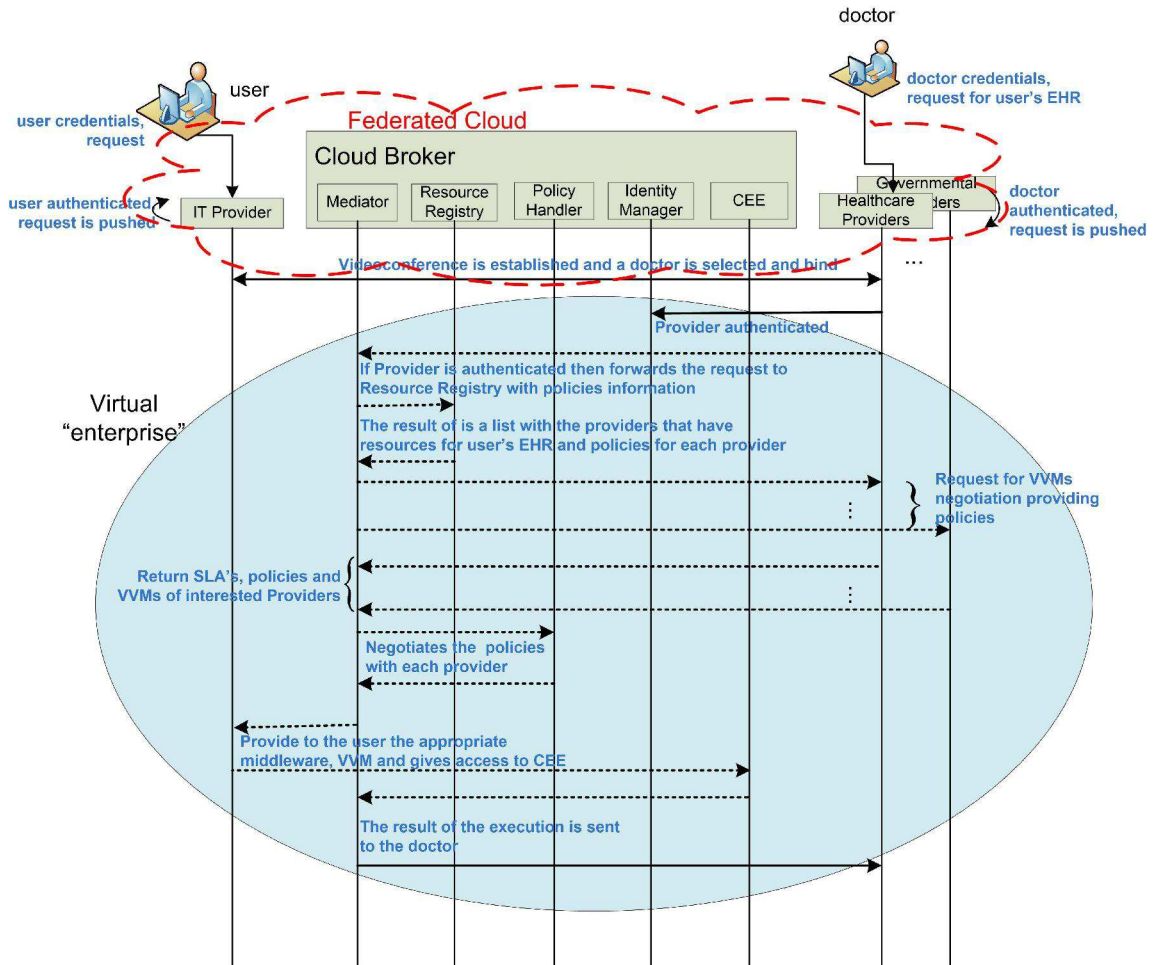


Σχήμα 4.17: Διάγραμμα ροής για την ανανέωση του ηλεκτρονικού φακέλου του ασθενούς.

#### 4.5.5.2 Φάση Εκτέλεσης (Execution Phase)

Κατά τη διάρκεια της συνεδρίας βιντεοδιάσκεψης, ο θεράπων ιατρός αξιολογεί την κλινική εικόνα του χρήστη (ασθενή) με τη χρήση βιοσήματα που συλλέγονται από συστήματα παρακολούθησης πραγματικού χρόνου. Για την περιγραφή των λειτουργιών της φάσης αυτής, δίνεται ένα παράδειγμα όπου ο χρήστης δεν διαθέτει την κατάλληλη συσκευή για τη συλλογή βιοσημάτων (π.χ. ηλεκτροκαρδιογραφήματος, μέτρησης παλμών, κ.α) που είναι απαραίτητα για την απομακρυσμένη παρακολούθηση του επεισοδίου παρόξυνσης. Σε αυτήν την περίπτωση, ο ιατρός μπορεί να καθορίσει τις συσκευές που απαιτούνται για την αξιολόγηση της τρέχουσας κατάστασης της υγείας του και ζητάει από το Mediator να αναζητήσει και να βρει τους παρόχους που προσφέρουν εφαρμογές ή απτικές

συσκευές (haptic devices) και συσκευές εικονικής πραγματικότητας για να αναλάβουν να συλλέξουν τα απαραίτητα βιοσήματα. Ως αποτέλεσμα, το συνεργατικό μοντέλο νέφους επεκτείνεται με νέους παρόχους υπηρεσιών υγείας που συμμετέχουν στον κύκλο εμπιστοσύνης του για την ασφαλή απόκτηση και μεταφορά των βιοσημάτων (δημιουργία εικονικού περιβάλλοντος/ επιχείρησης). Το διάγραμμα ροής για αυτήν την περίπτωση μελέτης παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.18.



**Σχήμα 4.18:** Διάγραμμα ροής για την παροχή υπηρεσιών απομακρυσμένης παρακολούθησης και καταγραφής βιοσημάτων από τρίτους παρόχους.

*Βήμα Β.1 (Επαλήθευση ταυτότητας του χρήστη και του τηλεπικοινωνιακού παρόχου - Authentication of user and IT Provider), Βήμα Β.2 (Ανίχνευση της αιτούμενης υπηρεσίας*

- *Discovery of the required service*) και Βήμα B.3 (Σύνδεση με την αιτούμενη υπηρεσία - *Binding of the required service*) έχουν όμοια λειτουργία με τα βήματα A.1 έως A.3 που αναλύθηκαν στη φάση ολοκλήρωσης.

Βήμα B.4 (Ανίχνευση και σύνδεση με το απαιτούμενο ενδιάμεσο λογισμικό και εικονικές μηχανές - *Discovery & binding of the required middleware*): Δεδομένου ότι έχει αποκατασταθεί μια συνεδρία βιντεοδιάσκεψης μεταξύ του ιατρού και του ασθενούς, ο ιατρός ζητάει από το Broker να παράσχει στο χρήστη μια υπηρεσία μέτρησης καρδιακών παλμών. Ο Mediator βρίσκει από το Μητρώο Καταχωρητή Πόρων και συνδέει έναν πάροχο που έχει αναπτύξει εφαρμογές μέτρησης καρδιακών παλμών μέσω συσκευών αφής π.χ. κινητών τηλεφώνων ή tablet. Διαμέσου του Διαχειριστή Πολιτικών, ο Mediator διαπραγματεύεται τους κανόνες και τις πολιτικές που θα εφαρμοστούν μεταξύ του χρήστη και του τρίτου παρόχου της υπηρεσίας, στην οποία δεν είναι συνδρομητής και παρέχει ένα περιβάλλον (CEE) για την εκτέλεση της εφαρμογής, τη λήψη βιοσημάτων και την ενσωμάτωσή τους στις εφαρμογές.

Βήμα B.5 (Εκτέλεση της κατάλληλης υπηρεσίας - *Execution of the appropriate service*): Σε αυτή τη φάση, ο Broker λειτουργεί ως ενδιάμεσο λογισμικό και διαμεσολαβητής μεταξύ του ασθενούς και του ιατρού. Διαμέσου του Broker παρέχεται στο χρήστη μια εικονική υπηρεσία απομακρυσμένης παρακολούθησης. Η υπηρεσία αυτή εκτελείται με τη χρήση εικονικών μηχανών ως φιλοξενούμενο λογισμικό στην πλευρά του χρήστη, σαν να ήταν ήδη προ-εγκαταστημένο στο λογισμικό του. Ο Broker παρέχει επίσης τη δυνατότητα εκτός από την εκτέλεση της μέτρησης, να παρέχει και το περιβάλλον εκτέλεσης έτσι ώστε να παρουσιαστεί το αποτέλεσμα της μέτρησης με γραφήματα ή άλλους τρόπους αναπαράστασης στον ιατρό που αιτήθηκε την υπηρεσία.

Βήμα B.6 Αποδέσμευση του συνεργατικού μοντέλου - *Release of the federated cloud*): Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία της παρουσίασης των αποτελεσμάτων της εικονικής μέτρησης, ο ιατρός έχει τη δυνατότητα είτε να αιτηθεί η μέτρηση αυτή και τα αποτελέσματα να ενσωματωθούν στον ηλεκτρονικό ιατρικό φάκελο του ασθενούς είτε να τερματίσει την κλήση. Στην περίπτωση ενσωμάτωσης της μέτρησης στον EHR ακολουθείται η διαδικασία της φάσης ολοκλήρωσης που περιγράφηκε αναλυτικά στην ενότητα 4.5.5.1, ενώ στην

περίπτωση τερματισμού της κλήσης αποδεσμεύονται αυτόματα οι υπηρεσίες και οι πόροι που προσέφερε ο τρίτος πάροχος υπηρεσιών και σπάει ο κύκλος εμπιστοσύνης των συμμετεχόντων στο συνεργατικό μοντέλο νέφους.

#### **4.6 Συμπεράσματα**

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάστηκε η αρχιτεκτονική και οι λειτουργίες μιας καινοτόμου Πλατφόρμας Παροχής Υπηρεσιών Νέας Γενιάς (NG-SDP) στον τομέα της υγείας "ανοιχτή" σε όλους τους παρόχους, χρήστες και φορείς. Συγκεκριμένα, παρέχονται συστάσεις για τις βασικές λειτουργίες και τις λειτουργικές οντότητες που πρέπει να διέπουν μια πλατφόρμα NG-SDP για την παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών στο χώρο της υγείας. Προτάθηκαν δυο τρόποι υλοποίησης της αρχιτεκτονικής αυτής, οι οποίοι βασίζονται σε διαφορετικές τεχνολογίες και οι οποίοι μπορούν να συνδυαστούν προκειμένου να επιτρέψουν σε όλους τους ενδιαφερομένους να δημιουργήσουν τις δικές τους πλατφόρμες επαναχρησιμοποιώντας λογισμικό το οποίο διαθέτουν ή να ενοικιάσουν πόρους τρίτων παρόχων για μερική ή ολική υποστήριξη.

Η Ολοκληρωμένη Πλατφόρμα Διαμεσολάβησης (IBP) υλοποιεί την αρχιτεκτονική των βασικών δομικών στοιχείων της NG-SDP και η υλοποίησή της βασίζεται σε λογισμικό ανοιχτού κώδικα, ελεύθερα προσβάσιμο και με δυνατότητες παραμετροποίησης. Η IBP ενσωματώνει τις βασικές λειτουργίες ολοκλήρωσης και δημιουργίας νέων υπηρεσιών παρέχοντας τη δυνατότητα σε οποιαδήποτε επιχείρηση να αναπτύξει μια NG-SDP για τις ανάγκες της με επαναχρησιμοποίηση των πόρων που διαθέτει είτε με την ενσωμάτωση των λογισμικών συστημάτων της σε νέες λύσεις που θα αγοράσει ή θα ενοικιάσει. Αναπτύχθηκε επίσης, ένα πρότυπο (prototype) της προτεινόμενης IBP χρησιμοποιώντας λογισμικό ανοιχτού κώδικα με σκοπό την παροχή υπηρεσιών μηνυματοδοσίας μεταξύ των διάφορων δομικών στοιχείων της εφαρμογής και ανταλλαγή ιατρικών πληροφοριών αποθηκευμένων σε διαφορετικές βάσεις δεδομένων. Για την αξιολόγηση του προτύπου, υλοποιήθηκε ένα απλό σενάριο επικοινωνίας χρησιμοποιώντας υπάρχοντα πληροφοριακά

συστήματα ιατρικής φροντίδας. Η IBP μελετήθηκε και αξιολογήθηκε ως προς τη λειτουργικότητα, την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητά της. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι η IBP πλατφόρμα κατορθώνει να ικανοποιήσει με επιτυχία τη διεξαγωγή αυτής της απλής επικοινωνίας ολοκληρώνοντας επιτυχώς όλες τις διαδικασίες μεταφοράς και επεξεργασίας των μηνυμάτων παρόλο που οι χρόνοι απόκρισης παραμένουν σε ανεκτά, αλλά όχι ικανοποιητικά επίπεδα.

Δεδομένης της πολυπλοκότητας ανάπτυξης της IBP και κατ' επέκτασιν και της NG-SDP για ποιο σύνθετες διαδικασίες καθώς και για την υλοποίηση διαύλων υπηρεσιών, κυρίως από επιχειρήσεις μικρής κλίμακας, προτάθηκε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής η ενσωμάτωση της λογικής υλοποίησης συνεργατικών σχημάτων με τη χρήση τεχνολογιών νέφους (cloud computing). Τα συνεργατικά αυτά μοντέλα επιτρέπουν σε επιχειρήσεις να ενοικιάζουν και να χρησιμοποιούν δομοστοιχεία τρίτων παρόχων για να καλύψουν τις ανάγκες τους ως προς τη μηνυματοδοσία, την ολοκλήρωση, ασφάλεια, διαχείριση και ανάπτυξη νέων εφαρμογών έτσι ώστε να μπορούν να αναπτύξουν εξατομικευμένες υπηρεσίες χωρίς να διαθέτουν τον απαραίτητο εξοπλισμό. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, δεν υλοποιήθηκε η NG-SDP με χρήση τεχνολογιών νέφους αλλά παρουσιάστηκαν τα διαγράμματα ροής που αναλύουν τις διαδικασίες ολοκλήρωσης και εκτέλεσης για τη σύνθεση νέων επιπρόσθετων υπηρεσιών. Στην αγορά υπάρχουν αρκετές λύσεις τεχνολογιών νέφους είτε επί πληρωμή είτε ελεύθερα διαθέσιμες οι οποίες μπορούν να συνδυαστούν για την υλοποίηση του προτεινόμενου συνεργατικού μοντέλου που προαναφέραμε.

Η ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική που προτάθηκε στην ενότητα αυτή, ανεξάρτητα από τον τρόπο υλοποίησής της, στοχεύει να λύσει πολλά από τα προβλήματα της άμεσης και αποτελεσματικής παροχής υπηρεσιών εξατομικευμένης ιατρικής φροντίδας. Και τούτο διότι θα επιτρέψει σε όλους τους παρόχους υπηρεσιών υγείας να δημιουργήσουν νέες εξατομικευμένες υπηρεσίες με βάση το προφίλ, το συγκείμενο (context) και την τρέχουσα κατάσταση της υγείας των χρηστών ανεξάρτητα από το λογισμικό υλοποίησης που χρησιμοποιεί καθένας από αυτούς, τις τερματικές συσκευές που διαθέτουν και την φυσική θέση όλων των εμπλεκόμενων οντοτήτων.

## Κεφάλαιο 5

### Συνολικά Συμπεράσματα Διατριβής

Σε αυτήν τη διδακτορική διατριβή παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα εκτενούς έρευνας στον τομέα της παροχής ICT υπηρεσιών καθολικής συνεργασίας για την απομακρυσμένη παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών υγείας νέας γενιάς. Οι βασικοί πυλώνες της έρευνας αυτής είναι τρεις: α) η συνάθροιση, επεξεργασία και αξιολόγηση των δεδομένων που συλλέγονται από διάφορους αισθητήρες για την λήψη αποφάσεων σχετικά με την υπηρεσία και τους συμμετέχοντες που θα πρέπει να εμπλακούν στο θεραπευτικό σχήμα για την αντιμετώπιση του συμβάντος, β) η οργάνωση και η διαχείριση των συμμετεχόντων και των πόρων του δικτύου με σκοπό την επίτευξη συνεργασίας μεταξύ των εμπλεκόμενων οντοτήτων στο σχήμα θεραπείας του ασθενούς για την άμεση και αξιόπιστη παροχή υπηρεσιών και τέλος γ) η παροχή μιας καθολικής πλατφόρμας συνεργασίας που θα επιτρέπει την ολοκλήρωση των διαθέσιμων πόρων και υπηρεσιών που ανήκουν σε διαφορετικούς παρόχους για τη σύνθεση νέων υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας εξασφαλίζοντας την εξατομικευμένη παροχή υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης.

Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας, μελετήθηκε το ασθενοκεντρικό μοντέλο φροντίδας με στόχο την έγκαιρη πρόληψη των επεισοδίων παρόξυνσης και την ελαχιστοποίηση της διαγνωστικής αβεβαιότητας. Για το σκοπό αυτό, προτάθηκαν δύο πρωτότυπα πλαίσια, το u-MCHC και το Ef-Zin, για την απομακρυσμένη διαχείριση και παρακολούθηση των ασθενών που πάσχουν από χρόνιες παθήσεις. Τα προτεινόμενα αυτά πλαίσια βελτιώνουν

τα ήδη υπάρχοντα καθώς το u-MCHC προβλέπει και προλαμβάνει επεισόδια παροξύνσεων και παρέχει προσωποποιημένες υπηρεσίες, ενώ το Ef-Zin λαμβάνει υπόψιν του την ύπαρξη πολλαπλών και συνοδών νοσημάτων κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Το πλαίσιο Ef-Zin, ουσιαστικά, αποτελεί μια βελτιωμένη έκδοση του u-MCHC αφού βασίζεται στην κύρια λειτουργία του, αλλά ενσωματώνει επιπρόσθετες λειτουργίες που του επιτρέπουν να λαμβάνει αποφάσεις για περισσότερες από μια παθήσεις έτσι ώστε να παρέχει υπηρεσίες ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο των ιατρικών λαθών που προκύπτουν από τη διαγνωστική αβεβαιότητα.

Επιπλέον, αναπτύχθηκαν δύο πρωτότυπα κατανεμημένα ιεραρχικά δίκτυα παροχής υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης (το δίκτυο P2Care και το βελτιωμένο δίκτυο P2Care για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης) δομημένα με βάση την αρχιτεκτονική των δομημένων υπερκείμενων δικτύων ομοτίμων κόμβων. Το δίκτυο P2Care παρέχει ένα συνεργατικό δίκτυο που οργανώνει το ιατρικό και παραϊατρικό ανθρώπινο δυναμικό με κοινά χαρακτηριστικά και ενδιαφέροντα ελαχιστοποιώντας την διαδικασία αυτο-διαχείρισης των ασθενών. Η ομαδοποίηση αυτή δίνει τη δυνατότητα να παρέχεται ασφαλής και αποτελεσματική αναζήτηση των επιθυμητών πληροφοριών, δεδομένου ότι μειώνει το συνολικό χρόνο απόκρισης και τον επίφορτο σηματοδότησης (signaling overhead) με έναν επεκτάσιμο τρόπο. Για το σκοπό αυτό προτάθηκε η ενσωμάτωση ενός καινοτόμου μηχανισμού αναζήτησης πληροφοριών, ο οποίος (α) βασίζεται στις αρχές της ελεγχόμενης πλημμύρας μηνυμάτων (flooding) και (β) ενσωματώνεται στις λειτουργίες των δομημένων υπερκείμενων δικτύων με σκοπό την πλήρη αξιοποίηση των οφελών που προσφέρουν τα δομημένα δίκτυα ομοτίμων κόμβων. Αυτός ο μηχανισμός χαρακτηρίζεται από το μικρό χρόνο απόκρισης και το χαμηλό επίφορτο μηνυμάτων (messaging overhead). Επιπροσθέτως, προτάθηκε η παράλληλη λειτουργία δύο ιεραρχικών μοντέλων προκειμένου να προσεγγιστούν και να γίνουν διαχειρίσιμες οι αυξανόμενες απαιτήσεις του τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Το πρώτο μοντέλο λειτουργίας χρησιμοποιείται σε καθημερινή βάση, κάτω από φυσιολογικές συνθήκες για την παροχή βασικών λειτουργιών επικοινωνίας, ενώ το δεύτερο μοντέλο λειτουργίας χειρίζεται αιτήματα έκτακτης ανάγκης με αποτελεσματικό και έγκαιρο τρόπο.

Τέλος, παρουσιάστηκε η αρχιτεκτονική και οι λειτουργίες μιας καινοτόμου Πλατφόρμας Παροχής Υπηρεσιών Νέας Γενιάς (NG-SDP) στον τομέα της υγείας που θα είναι ανοιχτή σε όλους τους παρόχους, χρήστες και φορείς. Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν οι ανάγκες και τα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά τη διαδικασία παροχής υπηρεσιών υγείας και παρουσιάστηκαν συστάσεις για τις βασικές λειτουργίες και τις λειτουργικές οντότητες που πρέπει να διέπουν μια πλατφόρμα νέας γενιάς (NG-SDP) για την παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών στο χώρο της υγείας. Η προτεινόμενη πλατφόρμα παρέχει καινοτόμες λειτουργίες συλλογής πληροφοριών από διάφορους βιοαισθητήρες, το συνκείμενο (context) του ασθενούς και την αξιολόγησή τους με σκοπό την ενσωμάτωση της αυτόματης λειτουργίας ενεργοποίησης της πλατφόρμας και την παροχή νέων εξατομικευμένων υπηρεσιών. Παράλληλα, ενσωματώνει τις βασικές λειτουργίες ολοκλήρωσης και δημιουργίας νέων υπηρεσιών παρέχοντας τη δυνατότητα σε οποιαδήποτε επιχείρηση να αναπτύξει μια NG-SDP για τις ανάγκες της με επαναχρησιμοποίηση των πόρων που διαθέτει είτε με την ενσωμάτωση των λογισμικών συστημάτων της σε νέες λύσεις που θα αγοράσει ή θα υπο-ενοικιάσει. Στόχος της πλατφόρμας αυτής είναι να επιτρέψει την ολοκλήρωση του EHR που βρίσκεται διασκορπισμένος σε διαφορετικούς ετερογενείς οργανισμούς και ιδιώτες ιατρούς για να μπορέσει να λειτουργήσει με αποτελεσματικό τρόπο το P2Care και τα πλαίσια λήψης αποφάσεων και πρόληψης. Επιπλέον, παρέχει μηχανισμούς για τη δημιουργία νέων υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας βασισμένων στο προφίλ του χρήστη.

Ως συμπέρασμα, στην παρούσα διδακτορική διατριβή μελετήθηκαν και προτάθηκαν λύσεις για την αυτόματη οργάνωση των συμμετεχόντων στο ανθρωποκεντρικό μοντέλο φροντίδας, οι οποίοι ανήκουν σε ετερογενείς παρόχους. Παράλληλα, μελετήθηκαν τα επεισόδια παροξύνσεων και τα συνοδά νοσήματα (comorbidities) ή πολλαπλά νοσήματα (multimorbidities) τα οποία επιβαρύνουν την κλινική εικόνα των ασθενών που πάσχουν από χρόνιες παθήσεις και αυξάνουν τον κίνδυνο θνησιμότητας. Τέλος, προτάθηκε μια πλατφόρμα και οι βασικές λειτουργίες της με σκοπό την ολοκλήρωση και εκτέλεση των υπαρχόντων πόρων και υπηρεσιών που διαθέτει κάθε πάροχος με στόχο την παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών. Επιπλέον, παρουσιάστηκαν αναλυτικές μελέτες και πρότυπα

που παρουσιάζουν τις επιδόσεις τους όπως η αξιοπιστία, η ευρωστία, η αποτελεσματικότητα όσον αφορά τη σηματοδότηση, το χρόνο απόκρισης και την πολυπλοκότητα των προτεινόμενων μηχανισμών κ.α.

## Βιβλιογραφία

- [1] (2015) Global initiative for chronic obstructive lung disease, pocket guide to copd diagnosis, management and prevention, updated 2015. Access date 08/08/2016. [Online]. Available: [http://www.goldcopd.it/materiale/2015/GOLD\\_Pocket\\_2015.pdf](http://www.goldcopd.it/materiale/2015/GOLD_Pocket_2015.pdf)
- [2] R. Bashshur, *Telemedicine; explorations in the use of telecommunications in health care*. Charles C. Thomas Publisher, 1975.
- [3] J. Epping-Jordan, “Innovative care for chronic conditions,” *World Health Organization, Tech. Rep*, 2001.
- [4] M. N. Boulos, A. Rocha, A. Martins, M. E. Vicente, A. Bolz, R. Feld, I. Tchoudovski, M. Braecklein, J. Nelson, G. Ó. Laighin *et al.*, “Caalyx: a new generation of location-based services in healthcare,” *International Journal of Health Geographics*, vol. 6, no. 1, p. 9, 2007.
- [5] R. Rosso, G. Munaro, O. Salvetti, S. Colantonio, and F. Ciancitto, “Chronious: an open, ubiquitous and adaptive chronic disease management platform for chronic obstructive pulmonary disease (copd), chronic kidney disease (ckd) and renal insufficiency,” in *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE*. IEEE, 2010, pp. 6850–6853.
- [6] F. Paganelli, E. Spinicci, and D. Giuli, “Ermhan: a context-aware service platform to support continuous care networks for home-based assistance,” *International journal of telemedicine and applications*, vol. 2008, p. 4, 2008.

- [7] A. Hein, O. Nee, D. Willemsen, T. Scheffold, A. Dogac, G. Laleci *et al.*, “Saphire-intelligent healthcare monitoring based on semantic interoperability platform-the homecare scenario.” in *ECEH*, 2006, pp. 191–202.
- [8] P. Duysburgh and A. Jacobs, “Collaboration through ict between healthcare professionals: The social requirements of health 2.0 applications,” in *Electronic Healthcare*. Springer, 2010, pp. 165–172.
- [9] D. G. Kilman and D. W. Forslund, “An international collaboratory based on virtual patient records,” *Communications of the ACM*, vol. 40, no. 8, pp. 110–117, 1997.
- [10] C. E. Chronaki, D. G. Katehakis, X. C. Zabulis, M. Tsiknakis, and S. C. Orphanoudakis, “Weboncoll: medical collaboration in regional healthcare networks,” *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, vol. 1, no. 4, pp. 257–269, 1997.
- [11] V. Jagannathan, Y. Reddy, K. Srinivas, R. Karinthe, R. Shank, S. Reddy, G. Almasi, T. Davis, R. Raman, S. Qiu *et al.*, “An overview of the cerc artemis project,” in *Proceedings of the Annual Symposium on Computer Application in Medical Care*. American Medical Informatics Association, 1995, p. 12.
- [12] M. Mayer, S. Darmoni, M. Fiene, C. Kohler, T. R. Roth-Berghofer, and G. Eysenbach, “Medcircle: Collaboration for internet rating, certification, labelling and evaluation of health information on the world wide web,” *Studies in health technology and informatics*, pp. 667–672, 2003.
- [13] A. Heinemann, J. Kangasharju, F. Lyardet, and M. Mühlhäuser, “iclouds–peer-to-peer information sharing in mobile environments,” in *Euro-Par 2003 Parallel Processing*. Springer, 2003, pp. 1038–1045.
- [14] (2014) Tripcom. Access date 28/01/2014. [Online]. Available: [http://cordis.europa.eu/ist/kct/tripcom\\_synopsis.htm](http://cordis.europa.eu/ist/kct/tripcom_synopsis.htm)

- [15] (2014) Ocareclouds: Organizing care with trusted, cloud like services. Access date 28/01/2014. [Online]. Available: <http://www.iminds.be/en/research/overview-projects/p/detail/ocareclouds-2>
- [16] F. G. Andriopoulou, K. D. Birkos, and D. K. Lymberopoulos, “u-mhc: A predictive framework for ubiquitous management of exacerbations in chronic diseases,” in *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2013 35th Annual International Conference of the IEEE*. IEEE, 2013, pp. 6976–6979.
- [17] —, “Ef-zin: A hybrid framework for ubiquitous management of comorbidity and multimorbidity in chronic diseases,” in *Bioinformatics and Bioengineering (BIBE), 2013 IEEE 13th International Conference on*. IEEE, 2013, pp. 1–4.
- [18] F. G. Andriopoulou, K. Birkos, and D. Lymberopoulos, “P2care: A dynamic peer-to-peer network for collaboration in personalized healthcare service delivery,” *Computers in Industry*, vol. 69, pp. 45–60, 2015.
- [19] F. G. Andriopoulou, K. D. Birkos, and D. K. Lymberopoulos, “P2care: A dynamic self-organized healthcare network for ubiquitous healthcare environment,” in *e-Health Networking, Applications & Services (Healthcom), 2013 IEEE 15th International Conference on*. IEEE, 2013, pp. 294–298.
- [20] F. Andriopoulou, K. Birkos, and D. Lymberopoulos, “A novel hierarchical group-based overlay healthcare network,” *International Journal of E-Health and Medical Communications (IJEHMC)*, vol. 8, no. 4, pp. 81–102, 2017.
- [21] F. Andriopoulou and D. Lymberopoulos, “A new platform for delivery interoperable telemedicine services,” in *International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare*. Springer, 2011, pp. 181–188.
- [22] F. G. Andriopoulou, N. G. Lazarou, and D. K. Lymberopoulos, “A proposed next generation service delivery platform (ng-sdp) for ehealth domain,” in *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE*. IEEE, 2012, pp. 6064–6067.

- [23] F. G. Andriopoulou, L. T. Kolovou, and D. K. Lymberopoulos, "An integrated broker platform for open ehealth domain," in *International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare*. Springer, 2012, pp. 234–246.
- [24] F. Andriopoulou and D. K. Lymberopoulos, "Future sdg through cloud architectures," in *IFIP International Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations*. Springer, 2012, pp. 1–15.
- [25] E. Nolte and M. McKee, *Caring for people with chronic conditions: a health system perspective*. McGraw-Hill Education (UK), 2008.
- [26] R. A. Pauwels, A. S. Buist, P. M. Calverley, C. R. Jenkins, and S. S. Hurd, "Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease," *American journal of respiratory and critical care medicine*, 2012.
- [27] B. Starfield, K. W. Lemke, T. Bernhardt, S. S. Foldes, C. B. Forrest, and J. P. Weiner, "Comorbidity: implications for the importance of primary care in 'case' management," *The Annals of Family Medicine*, vol. 1, no. 1, pp. 8–14, 2003.
- [28] J. Epping-Jordan, S. Pruitt, R. Bengoa, and E. Wagner, "Improving the quality of health care for chronic conditions," *Quality and safety in health care*, vol. 13, no. 4, pp. 299–305, 2004.
- [29] (2016) Bosch shutters pioneering telehealth service health buddy, us-based unit. Access date 20/04/2016. [Online]. Available: <http://mobihealthnews.com/44747/bosch-shutters-pioneering-telehealth-service-health-buddy-us-based-unit>
- [30] (2016) Care innovations. Access date 20/04/2016. [Online]. Available: <http://www.careinnovations.com/solutions/remote-care-management/>
- [31] S. Stevens and A. Bharucha, "Caremedia: Automated video and sensor analysis for geriatric care," 2003.

- [32] J. E. Bardram, “Applications of context-aware computing in hospital work: examples and design principles,” in *Proceedings of the 2004 ACM symposium on Applied computing*. ACM, 2004, pp. 1574–1579.
- [33] A. Sarela, F. Whittaker, and I. Korhonen, “Service and business model for technology enabled and home-based cardiac rehabilitation programs,” in *Engineering in Medicine and Biology Society, 2009. EMBC 2009. Annual International Conference of the IEEE*. IEEE, 2009, pp. 303–307.
- [34] S. Van Hoecke, K. Steurbaut, K. Taveirne, F. De Turck, and B. Dhoedt, “Design and implementation of a secure and user-friendly broker platform supporting the end-to-end provisioning of e-homecare services,” *Journal of Telemedicine and Telecare*, vol. 16, no. 1, pp. 42–47, 2010.
- [35] C. D. Katsis, G. Ganiatsas, and D. I. Fotiadis, “An integrated telemedicine platform for the assessment of affective physiological states,” *Diagnostic Pathology*, vol. 1, no. 1, p. 16, 2006.
- [36] C. W. Mundt, K. N. Montgomery, U. E. Udoh, V. N. Barker, G. C. Thonier, A. M. Tellier, R. D. Ricks, R. B. Darling, Y. D. Cagle, N. A. Cabrol *et al.*, “A multiparameter wearable physiologic monitoring system for space and terrestrial applications,” *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, vol. 9, no. 3, pp. 382–391, 2005.
- [37] F. H. Wilhelm, W. T. Roth, and M. A. Sackner, “The lifeshirt an advanced system for ambulatory measurement of respiratory and cardiac function,” *Behavior Modification*, vol. 27, no. 5, pp. 671–691, 2003.
- [38] (2014) Empower project: Support of patient empowerment by an intelligent self-management pathway for patients. Access date 15/06/2016. [Online]. Available: <http://www.empower-fp7.eu/>

- [39] (2014) Armor advanced multi-parametric monitoring and analysis for diagnosis and optimal management of epilepsy and related brain disorders. Access date 15/06/2016. [Online]. Available: <http://armor.tesyd.teimes.gr/>
- [40] H. Quan, V. Sundararajan, P. Halfon, A. Fong, B. Burnand, J.-C. Luthi, L. D. Saunders, C. A. Beck, T. E. Feasby, and W. A. Ghali, "Coding algorithms for defining comorbidities in icd-9-cm and icd-10 administrative data," *Medical care*, pp. 1130–1139, 2005.
- [41] (2016) e-health sensor platform complete kit v2.0 for arduino, raspberry pi and intel galileo. Access date 22/06/2016. [Online]. Available: <https://www.cooking-hacks.com/ehealth-sensors-complete-kit-biometric-medical-arduino-raspberry-pi>
- [42] (2014) Copd assessment test (cat). Access date 22/06/2016. [Online]. Available: <http://www.catestonline.org/>
- [43] J. Vestbo, S. S. Hurd, and R. Rodriguez-Roisin, "The 2011 revision of the global strategy for the diagnosis, management and prevention of copd (gold)—why and what?" *The clinical respiratory journal*, vol. 6, no. 4, pp. 208–214, 2012.
- [44] R. A. Pauwels, A. S. Buist, P. M. Calverley, C. R. Jenkins, and S. S. Hurd, "Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease," *American journal of respiratory and critical care medicine*, 2012.
- [45] C. Bellos, A. Papadopoulos, R. Rosso, and D. I. Fotiadis, "Categorization of copd patient's health level through the use of the chronious wearable platform," in *2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. IEEE, 2012, pp. 61–64.
- [46] D. M. Mannino, D. Thorn, A. Swensen, and F. Holguin, "Prevalence and outcomes of diabetes, hypertension and cardiovascular disease in copd," *European Respiratory Journal*, vol. 32, no. 4, pp. 962–969, 2008.

- [47] L. T. Kohn, J. M. Corrigan, M. S. Donaldson *et al.*, *To err is human: building a safer health system*. National Academies Press, 2000, vol. 627.
- [48] R. Shtykh, G. Zhang, and Q. Jin, "Design of peer-to-peer groupware integrated with interactive browser for active information sharing and collaboration support," in *Computer and Information Technology, 2004. CIT'04. The Fourth International Conference on*. IEEE, 2004, pp. 404–409.
- [49] N. Zeilemaker, M. Capotă, and J. Pouwelse, "Open2edit: a peer-to-peer platform for collaboration," in *IFIP Networking 2013 Conference*, May 2013. [Online]. Available: <http://networking2013.poly.edu/program-2/>
- [50] M. Mecella, M. Angelaccio, A. Krek, T. Catarci, B. Buttarazzi, and S. Dustdar, "Workpad: an adaptive peer-to-peer software infrastructure for supporting collaborative work of human operators in emergency/disaster scenarios," in *Collaborative Technologies and Systems, 2006. CTS 2006. International Symposium on*. IEEE, 2006, pp. 173–180.
- [51] A. Geissbuhler, S. Spahni, A. Assimacopoulos, M.-A. Raetzo, and G. Gobet, "Design of a patient-centered, multi-institutional healthcare information network using peer-to-peer communication in a highly distributed architecture," *Medinfo*, vol. 11, no. 2, pp. 1048–1052, 2004.
- [52] I. Maglogiannis, C. Delakouridis, and L. Kazatzopoulos, "Enabling collaborative medical diagnosis over the internet via peer-to-peer distribution of electronic health records," *Journal of Medical Systems*, vol. 30, no. 2, pp. 107–116, 2006.
- [53] L. Huang, "Semantic p2p network for healthcare," in *INC, IMS and IDC, 2009. NCM'09. Fifth International Joint Conference on*. IEEE, 2009, pp. 220–225.
- [54] M. Pirahandeh and D.-H. Kim, "Co-designing an intelligent doctors-colleagues-patients social network," in *Cloud Computing and Social Networking (ICCCSN), 2012 International Conference on*. IEEE, 2012, pp. 1–4.

- [55] G. J. Fakas and B. Karakostas, "A peer to peer (p2p) architecture for dynamic workflow management," *Information and Software Technology*, vol. 46, no. 6, pp. 423–431, 2004.
- [56] S. Kailasam, S. Kumar, and J. Dharanipragada, "Arogyasree: An enhanced grid-based approach to mobile telemedicine," *International journal of telemedicine and applications*, vol. 2010, p. 2, 2010.
- [57] R. M. Ruiz, R. B. Vidal, and C. C. Palma, "P2people: P2p" common interest" search engine and collaboration platform," in *EUROCON 2003. Computer as a Tool. The IEEE Region 8*, vol. 2. IEEE, 2003, pp. 397–401.
- [58] A. I. Wang, C.-F. Sørensen, and T. Fossum, "Mobile peer-to-peer technology used to promote spontaneous collaboration," in *Collaborative Technologies and Systems, 2005. Proceedings of the 2005 International Symposium on*. IEEE, 2005, pp. 48–55.
- [59] D. J. Watts, P. S. Dodds, and M. E. Newman, "Identity and search in social networks," *science*, vol. 296, no. 5571, pp. 1302–1305, 2002.
- [60] S. J. Yang, J. Zhang, L. Lin, and J. J. Tsai, "Improving peer-to-peer search performance through intelligent social search," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 7, pp. 10 312–10 324, 2009.
- [61] S. Marti, P. Ganesan, and H. Garcia-Molina, "Sprout: P2p routing with social networks," in *Current Trends in Database Technology-EDBT 2004 Workshops*. Springer, 2005, pp. 425–435.
- [62] F. Le Fessant, S. Handurukande, A.-M. Kermarrec, and L. Massoulié, "Clustering in peer-to-peer file sharing workloads," in *Peer-to-Peer Systems III*. Springer, 2005, pp. 217–226.
- [63] J. Risson and T. Moors, "Survey of research towards robust peer-to-peer networks: search methods," *Computer networks*, vol. 50, no. 17, pp. 3485–3521, 2006.

- [64] E. K. Lua, J. Crowcroft, M. Pias, R. Sharma, and S. Lim, "A survey and comparison of peer-to-peer overlay network schemes," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 7, no. 1-4, pp. 72–93, 2005.
- [65] S. Khan and A. Gani, "Model of complex searching over structured p2p overlay under dynamic environment," *International Journal of Information and Electronics Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 146–150, 2012.
- [66] (2014) Jsonrpc. Access date 28/01/2014. [Online]. Available: <http://json-rpc.org/>
- [67] (2014) Jsoncpp. Access date 28/01/2014. [Online]. Available: <http://jsoncpp.sourceforge.net/>
- [68] (2014) Qxmpp. Access date 28/01/2014. [Online]. Available: <https://code.google.com/p/qxmpp/>
- [69] (2014) Xerces-c++. Access date 28/01/2014. [Online]. Available: <http://xerces.apache.org/xerces-c/>
- [70] (2014) Qtbcm. Access date 28/01/2014. [Online]. Available: <http://qtdcm.gforge.inria.fr/>
- [71] S. El-Ansary, L. O. Alima, P. Brand, and S. Haridi, "Efficient broadcast in structured p2p networks," in *Peer-to-Peer Systems II*. Springer, 2003, pp. 304–314.
- [72] (2010) Telecom service delivery platforms in next generation networks. Access date 01/09/2016. [Online]. Available: [https://www.itu.int/ITU-D/tech/events/2010/RDF\\_ARB/Presentations/Session8/RDF10\\_ARB\\_Presentation\\_Session8\\_MCarugi.pdf](https://www.itu.int/ITU-D/tech/events/2010/RDF_ARB/Presentations/Session8/RDF10_ARB_Presentation_Session8_MCarugi.pdf)
- [73] (2016) Ssp- service delivery platforms - products, solutions, professional services. Access date 01/09/2016. [Online]. Available: <http://www.morianagroup.com/>
- [74] (2010) Oma. Access date 01/09/2016. [Online]. Available: <http://openmobilealliance.org/>

- [75] S. H. Maes, "Service delivery platforms as it realization of oma service environment: service oriented architectures for telecommunications," in *2007 IEEE Wireless Communications and Networking Conference*. IEEE, 2007, pp. 2883–2888.
- [76] (2007) Evolution of service delivery platforms. Access date 01/09/2016. [Online]. Available: [https://www1.ericsson.com/res/thecompany/docs/publications/ericsson\\_review/2007/4\\_sdp\\_web.pdf](https://www1.ericsson.com/res/thecompany/docs/publications/ericsson_review/2007/4_sdp_web.pdf)
- [77] (2005) Ericsson servic delivery platform. Access date 01/09/2016. [Online]. Available: <http://archive.ericsson.net/service/internet/picov/get?DocNo=28701-FGB101265>
- [78] E. Newcomer and G. Lomow, *Understanding SOA with Web services*. Addison-Wesley, 2005.
- [79] D. Chappell, *Enterprise service bus*. "O'Reilly Media, Inc.", 2004.
- [80] T. Erl, *Service-oriented architecture: concepts, technology, and design*. Pearson Education India, 2005.
- [81] M. P. Papazoglou, "Service-oriented computing: Concepts, characteristics and directions," in *Web Information Systems Engineering, 2003. WISE 2003. Proceedings of the Fourth International Conference on*. IEEE, 2003, pp. 3–12.
- [82] J. Kress, B. Maier, H. Normann, D. Schmeidel, G. Schmutz, B. Trops, and T. W. Utschig, "Enterprise service bus," 2013.
- [83] M. Keen, A. Acharya, S. Bishop, A. Hopkins, S. Milinski, C. Nott, R. Robinson, J. Adams, and P. Verschueren, "Patterns: Implementing an soa using an enterprise service bus," *IBM Redbooks*, vol. 336, 2004.
- [84] M. Rosen, B. Lublinsky, K. T. Smith, and M. J. Balcer, *Applied SOA: service-oriented architecture and design strategies*. John Wiley & Sons, 2012.

- [85] E. Group *et al.*, “Open service access (osa); application programming interface (api); part 6: Mobility scf; etsies 202 915-6 v1. 2.1,” *ETSI/The Parlay Group*, 2003.
- [86] C. J. Pavlovski, “Service delivery platforms in practice [ip multimedia systems (ims) infrastructure and services],” *IEEE Communications Magazine*, vol. 45, no. 3, pp. 114–121, 2007.
- [87] (2013) Service delivery platforms: worldwide market shares 2013. Access date 08/09/2016. [Online]. Available: <http://www.analysismason.com/Research/Content/Reports/SDP-market-shares-2013-May2014-RMA04/>
- [88] S. Van Hoecke, K. Steurbaut, K. Taveirne, F. De Turck, and B. Dhoedt, “Design and implementation of a secure and user-friendly broker platform supporting the end-to-end provisioning of e-homecare services,” *Journal of Telemedicine and Telecare*, vol. 16, no. 1, pp. 42–47, 2010.
- [89] (2016) Ipf open ehealth integration platform. Access date 08/09/2016. [Online]. Available: <http://oehf.github.io/ipf/>
- [90] (2016) Continua design guidelines: Flexible implementation framework for authentic interoperability. [Online]. Available: <http://www.continuaalliance.org/products/design-guidelines>
- [91] (2008) Etsi es 203 915-3 v1.3.1 open service access (osa), application programming interface (api), part 3:framework (parlay 5). Access date 14/09/2016. [Online]. Available: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_es/203900\\_203999/20391503/01.03.01\\_60/es\\_20391503v010301p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_es/203900_203999/20391503/01.03.01_60/es_20391503v010301p.pdf)
- [92] N. Blum, T. Magedanz, F. Schreiner, and S. Wahle, “From ims management to soa based ngn management,” *Journal of Network and Systems Management*, vol. 17, no. 1-2, pp. 33–52, 2009.
- [93] (2016) Health 3.0. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Health\\_3.0](https://en.wikipedia.org/wiki/Health_3.0)

- [94] (2016) Single sign-on. [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Single\\_sign-on](http://en.wikipedia.org/wiki/Single_sign-on)
- [95] (2006) The application/json media type for javascript object notation (json). Access date 12/12/2016. [Online]. Available: <http://www.ietf.org/rfc/rfc4627.txt>
- [96] (2007) Soap version 1.2 part 1: Messaging framework. Access date 12/12/2016. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/soap12-part1/#intro>
- [97] (2016) Rfc 7252 - the constrained application protocol (coap). [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc7252>
- [98] (2016) Rfc 7230 - hypertext transfer protocol (http/1.1): Message syntax and routing. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc7230>
- [99] F. Menge, "Enterprise service bus," in *Free and open source software conference*, vol. 2, 2007, pp. 1–6.
- [100] (2016) Webrtc. [Online]. Available: <https://webrtc.org/>
- [101] (2001) Web services description language (wsdl) 1.1. Access date 12/12/2016. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/wsdl>
- [102] Oracle sservice bus. Access date 18/01/2017. [Online]. Available: <http://www.oracle.com/technetwork/middleware/service-bus/overview/index-096326.html>
- [103] Jboss esb. Access date 18/01/2017. [Online]. Available: <http://jbossesb.jboss.org/>
- [104] Openesb. Access date 18/01/2017. [Online]. Available: [http://www.open-esb.net/index.php?option=com\\_content&view=featured&Itemid=496](http://www.open-esb.net/index.php?option=com_content&view=featured&Itemid=496)
- [105] Mulesoft esb solutions. Access date 18/01/2017. [Online]. Available: <https://www.mulesoft.com/platform/soa/mule-esb-open-source-esb>

- [106] Z. Siddiqui, A. H. Abdullah, M. K. Khan, and K. Alghathbar, "Analysis of enterprise service buses based on information security, interoperability and high-availability using analytical hierarchy process (ahp) method," *International Journal of Physical Sciences*, vol. 6, no. 1, pp. 35–42, 2011.
- [107] (2009) Red hat jboss fuse. Access date 18/01/2017. [Online]. Available: <https://developers.redhat.com/products/fuse/overview/>
- [108] N. Tiwari. (2008) Jbossdeveloper jbossesb vs mule performance. Access date 18/01/2017. [Online]. Available: <https://developer.jboss.org/message/506587>
- [109] Understanding integration from a "needs-based" perspective - mule vs. servicemix / fuse esb. Access date 18/01/2017. [Online]. Available: <https://www.mulesoft.com/resources/esb/understanding-integration-needs-based-perspective-mule-vs-servicemix-fuse-esb>
- [110] W. Robert, "Enterprise service bus (esb) product evaluation comparisons," *Utah Department of Technology Services*, 2006.
- [111] R. Gupta, "Enterprise service bus capabilities comparison," *Project Performance Corporation Part of AEA Group (April 2008)*, <http://www.ppc.com/documents/enterprisebus.pdf>, 2008.
- [112] (2009) Top open source esb projects. Access date 18/01/2017. [Online]. Available: <https://dzone.com/articles/top-open-source-esbs>
- [113] <hapi/> the free, open and best hl7 parser and library for java. Access date 18/01/2017. [Online]. Available: <http://hl7api.sourceforge.net/hapi-hl7overhttp/index.html>
- [114] A. Celesti, F. Tusa, M. Villari, and A. Puliafito, "How to enhance cloud architectures to enable cross-federation," in *2010 IEEE 3rd international conference on cloud computing*. IEEE, 2010, pp. 337–345.

- [115] R. Buyya, R. Ranjan, and R. N. Calheiros, “Intercloud: Utility-oriented federation of cloud computing environments for scaling of application services,” in *International Conference on Algorithms and Architectures for Parallel Processing*. Springer, 2010, pp. 13–31.
- [116] S. G. Grivas, T. U. Kumar, and H. Wache, “Cloud broker: Bringing intelligence into the cloud,” in *Cloud Computing (CLOUD), 2010 IEEE 3rd International Conference on*. IEEE, 2010, pp. 544–545.
- [117] F. Liu, J. Tong, J. Mao, R. Bohn, J. Messina, L. Badger, and D. Leaf, “Nist cloud computing reference architecture,” *NIST special publication*, vol. 500, no. 2011, p. 292, 2011.