



Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας

Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υπολογιστών

Μεταπτυχιακή Εργασία

Μελλοντικό διαδίκτυο: απαιτήσεις, τεχνολογίες και εφαρμογές

Όνοματεπώνυμο Φοιτητή : Μιχαηλίδης Κωνσταντίνος

ΑΜ : ΠΜΣ2009005

Επιβλέπων Βασιλάκης Κωνσταντίνος

Τρίπολη, Φεβρουάριος 2013

Η έγκριση της μεταπτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υπολογιστών της Σχολής Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετώνται οι απαιτήσεις και οι διαφαινόμενες τεχνολογίες που αφορούν το διαδίκτυο του μέλλοντος. Εξετάζονται επίσης οι πιθανές εφαρμογές του διαδικτύου του μέλλοντος.

Abstract

This thesis studies the requirements and the foreseen technologies that pertain to the Future Internet. The potential applications of the Future internet are also discussed.

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Abstract	4
Περιεχόμενα	5
Ευρετήριο εικόνων	6
1 Εισαγωγή	7
1.1 Το σύγχρονο διαδίκτυο	9
1.2 Η εξέλιξη του στο διαδίκτυο του μέλλοντος	11
2 Θέματα σχεδιασμού δικτύων νέας γενιάς	14
3 Το μελλοντικό διαδίκτυο	21
3.1 Αλλαγές στο διαδίκτυο του μέλλοντος	21
4. Σχεδίαση πρωτοκόλλων στο μελλοντικό διαδίκτυο	28
5 Ποιοτικά χαρακτηριστικά δικτύωσης νέας γενιάς	36
5.1 Ασφάλεια	36
5.2 Θέματα διασύνδεσης δικτύων	40
5.3 Θέματα ποιότητας υπηρεσίας	52
6 Εφαρμογές στο Μελλοντικό Διαδίκτυο	59
6.1 Λογισμικό με τη μορφή υπηρεσίας	60
6.2 Εφαρμογές δημοσίευσης-συνδρομής	62
6.3 Το διαδίκτυο των πραγμάτων	65
7 Συμπεράσματα	70
8 Βιβλιογραφία	71

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1: Η διαδικασία σχεδίασης δικτύων σύμφωνα με την εργασία [3]	17
Εικόνα 2: Σχέση μεταξύ Netlets και Στρωμάτων	19
Εικόνα 3: Η λειτουργία μιας εξειδικευμένης online κοινότητας στο μελλοντικό διαδίκτυο [7]	24
Εικόνα 4: Netlets που προκύπτουν για το πανεπιστημιακό σενάριο ..	27
Εικόνα 5: Σχεδιασμός πρωτοκόλλων στο μελλοντικό διαδίκτυο	30
Εικόνα 6: Σχέσεις μεταξύ των ανεξάρτητων δικτύων (αυτόνομα συστήματα - AS) στο διαδίκτυο [15]	43

1 Εισαγωγή

Το Διαδίκτυο αποτελεί μια παγκόσμια διασύνδεση υπαρχόντων δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών, με το συνολικό αριθμό χρηστών να υπολογίζεται σε τάξεις δισεκατομμυρίων παγκοσμίως. Τα δίκτυα αυτά, οποία (στη μεγάλη τους πλειοψηφία) χρησιμοποιούν το πρότυπο του Internet Protocol Suite (TCP/IP). Πρόκειται για ένα "δίκτυο δικτύων" που αποτελείται από εκατομμύρια ιδιωτικούς, δημόσιους, ακαδημαϊκούς, επιχειρηματικούς, και άλλου είδους κόμβους οι οποίοι συνδέονται με ένα ευρύ φάσμα ηλεκτρονικών, οπτικών ή ασύρματων τεχνολογιών δικτύωσης [1]. Αξιοποιώντας τις υποδομές και τα πρωτόκολλα του Διαδικτύου διατίθεται ένα ευρύ φάσμα πόρων και υπηρεσιών, άλλων περισσότερο διαδεδομένων, όπως για παράδειγμα ο παγκόσμιος ιστός και η υποδομή για την υποστήριξη αποστολής και λήψης email, και άλλες περισσότερο εξειδικευμένων, όπως αποτελεί η δικτυακή τηλεφωνία, η τηλεδιάσκεψη το Video κατ' απαίτηση (video on demand) κ.λπ.

Το διαδίκτυο έχει επιφέρει δραματική αλλαγή στην σύγχρονη επικοινωνία. Προσπερνώντας το παραδοσιακό τηλέφωνο, υπηρεσίες όπως μετάδοση φωνής μέσω διαδικτύου (Voice over Internet Protocol - VoIP) και μετάδοση τηλεόρασης μέσω διαδικτυακού πρωτοκόλλου (Internet Protocol TeleVision - IPTV) έχουν κάνει την εμφάνισή τους και έχουν αφομοιώνονται σε αυξανόμενη κλίμακα από τους απλούς χρήστες. Το Διαδίκτυο πρόσθεσε επίσης νέες δυνατότητες ανθρώπινης επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης, αρχικά με τις υπηρεσίες άμεσων μηνυμάτων, και των κοινοτήτων συζητήσεων στο Διαδίκτυο (forum) και, τα τελευταία χρόνια, με την κοινωνική

δικτύωση [1], η οποία, φαίνεται να αποτέλεσε σημαντική παράμετρο στη σημερινή διάδοση και στην μετεξέλιξη του διαδικτύου.

Ιστορικά, οι αρχές του Διαδικτύου εντοπίζονται σε ερευνητικές προσπάθειες της δεκαετίας του 1960, και ξεκινούν από την κυβέρνηση των Ηνωμένων Πολιτειών στα πλαίσια του γενικότερου κλίματος της εποχής του Ψυχρού Πολέμου, να οικοδομηθούν ισχυρές κατακευματισμένες δομές δικτύωσης, οι οποίες να παρουσιάζουν συγκεκριμένες συμπεριφορές [1]. Τον σημαντικότερο ίσως σταθμό, στην περαιτέρω ανάπτυξη του διαδικτύου αποτελεί η εργασία [2], η οποία ουσιαστικά εισάγει και καθορίζει το πρωτόκολλο IP. Η εξέλιξη είναι λιγότερο η περισσότερο γνωστή, καθώς από τη δεκαετία του 1990 ξεκίνησε η ευρύτερη διάδοσή του και η ενσωμάτωσή του σε κάθε σχεδόν πτυχή της σύγχρονης ανθρώπινης ζωής.

Στην Ελλάδα, η εισαγωγή και χρήση του Διαδικτύου έγινε αρχικά από δημόσιους φορείς, όπως τα πανεπιστήμια και το ΙΤΕ, που κατόπιν ίδρυσαν την εταιρεία Forthnet, ενώ η εισαγωγή των ευρυζωνικών συνδέσεων το 2003 συνεισέφερε στην ευρύτερη διάδοση και υιοθέτηση του διαδικτύου από το ευρύ κοινό.

Το Διαδίκτυο δεν διοικείται κεντρικά και δεν υπακούει σε κανέναν είδος κεντρική πολιτική, η οποία να επηρεάζει ή να καθοδηγεί την πρόσβαση ή τη χρήση. Αντίθετα, κάθε συστατικός κόμβος του δικτύου ορίζει τις δικές του πολιτικές και απαιτήσεις. Μοναδικές εξαιρέσεις αποτελούν το σύστημα διαχείρισης διευθύνσεων IP και το σύστημα ονοματολογίας (DNS), τα οποία διαχειρίζεται το Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN) [η

κεντρική διαχείριση της ονοματολογίας γίνεται μόνο στο ανώτερο επίπεδο – η διαχείριση των λοιπών επιπέδων είναι αποκεντρωμένη. Η τεχνική υποστήριξη και η τυποποίηση των πρωτοκόλλων πυρήνα (IPv4 και IPv6) είναι μια δραστηριότητα του Internet Engineering Task Force (IETF), το οποίο είναι μια μη κερδοσκοπική οργάνωση. [1]

1.1 Το σύγχρονο διαδίκτυο

Στις μέρες μας, το Διαδίκτυο μπορεί να προσεγγιστεί σχεδόν από παντού και μάλιστα από πολλά μέσα, όπως οι κινητές συσκευές, κινητά τηλέφωνα, φορητές κονσόλες παιχνιδιών, επιτραπέζιους υπολογιστές, tablets, τηλεοράσεις κ.ο.κ. οι οποίες επιτρέπουν στους χρήστες να συνδεθούν στο διαδίκτυο ενσύρματα ή ασύρματα. Αυτό βρίσκει σημαντική ανταπόκριση σε πληθώρα εκφάνσεων της καθημερινής ζωής μας. Στη συνέχεια παρουσιάζουμε συνοπτικά ορισμένες από αυτές [1]:

- *Στην εκπαίδευση και την έρευνα:* Εκπαιδευτικό υλικό σε όλα τα επίπεδα από την προσχολική αγωγή μέχρι τη μεταδιδακτορική έρευνα είναι διαθέσιμο από διάφορες ιστοσελίδες. Στο διαδίκτυο θα βρούμε εικονικά σχολεία, σχολεία και πανεπιστήμια εξ αποστάσεως εκπαίδευσης, και τέλος, σχεδόν απεριόριστη πρόσβαση σε πληθώρα βιβλιογραφίας π.χ. μέσα από το Google Scholar. Εστιάζοντας στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση, το διαδίκτυο είναι ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία. Το διαδίκτυο γενικά και ο παγκόσμιος ιστός (World Wide Web) ειδικότερα είναι ιδιαίτερα σημαντικά και διευκολύνουν την τυπική και την άτυπη εκπαίδευση.

- *Επικοινωνία και συνεργασία:* Το χαμηλό κόστος και η σχεδόν στιγμιαία ανταλλαγή μηνυμάτων, έχει καταστήσει την ομαδική δουλειά από απόσταση σημαντικά ευκολότερη, με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού συνεργασίας. Η συνομιλία στο Διαδίκτυο, είτε με τη μορφή ενός δωματίου διαλόγου (chat room) στο IRC, ή μέσω άμεσων μηνυμάτων συστήματος, ή μέσω συστημάτων κοινωνικής δικτύωσης, είτε ακόμη μέσω δικτυακής τηλεφωνίας επιτρέπει στους χρήστες να διατηρούν επαφή με έναν πολύ εύκολο και άμεσο τρόπο, όταν χρησιμοποιούν τους υπολογιστές τους. Η τεχνολογία των άμεσων μηνυμάτων, που προσφέρεται πλέον από πλειάδα συστημάτων, υποστηρίζει επικοινωνία με μηνύματα που ανταλλάσσονται πιο γρήγορα και πιο εύκολα συγκριτικά με το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο. Τα συστήματα αυτά μπορούν, επιπρόσθετα, να επιτρέψουν ανταλλαγή αρχείων, σχεδίων και εικόνων, καθώς και επικοινωνία με φωνή και βίντεο μεταξύ των μελών της ομάδας.

Τα συστήματα διαχείρισης περιεχομένου επιτρέπουν συνεργαζόμενες ομάδες να εργάζονται σε κοινά σύνολα εγγράφων ταυτόχρονα. Οι ομάδες εργασίας μπορούν να μοιραστούν τα ημερολόγια, καθώς και τα έγγραφα και άλλες πληροφορίες. Η συνεργασία αυτή λαμβάνει χώρα σε ένα ευρύ φάσμα τομέων, όπως η επιστημονική έρευνα, ανάπτυξη λογισμικού, η διάσκεψη, και η δημιουργική γραφή. Η κοινωνική και πολιτική συνεργασία γίνεται επίσης όλο και πιο διαδεδομένη τόσο όσο η πρόσβαση στο διαδίκτυο γίνεται ευκολότερη από τον απλό χρήστη.

Οι εφαρμογές δεν περιορίζονται σε αυτές που μνημονεύονται ανωτέρω, η λίστα όμως είναι ενδεικτική των αλλαγών που έχουν επέλθει στην κοινωνία τα τελευταία χρόνια, σε όλους τους τομείς (εκπαίδευση, έρευνα, εργασία, κοινωνικότητα, δημόσια διοίκηση κ.λπ.) με τη συνδρομή του διαδικτύου. Το διαδίκτυο και οι εφαρμογές του θα μετεξελιχθούν στο διαδίκτυο του μέλλοντος.

1.2 Η εξέλιξη του στο διαδίκτυο του μέλλοντος

Από την ερευνητική σκοπιά, ως διαδίκτυο του μέλλοντος ορίζεται το σύνολο της ερευνητικής προσπάθειας πάνω σε θέματα δικτύων, τα οποία εν δυνάμει, μπορεί να αποτελέσουν τα μελλοντικά πρωτόκολλα, πρότυπα ή τεχνολογίες που θα υιοθετηθούν.

Ένα βασικό ερώτημα που προκύπτει είναι γιατί το διαδίκτυο του μέλλοντος πρέπει να μετεξελιχθεί, και μάλιστα, γιατί καταγράφεται τόσο έντονη ερευνητική δραστηριότητα, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια. Πέρα από την εγγενή τάση του ανθρώπου να βελτιώνει διαρκώς το περιβάλλον του, οι αιτίες θα πρέπει να αναζητηθούν στο ότι το διαδίκτυο λόγω του τρόπου που έχει δομηθεί και της μεγάλης εξάπλωσης που έχει γνωρίσει τα τελευταία χρόνια, έχει αρχίσει σταδιακά να δείχνει τις αδυναμίες του. Ορισμένες από αυτές είναι οι ακόλουθες:

- *Ασφάλεια*: Τα πρώτα βήματα στην ανάπτυξη του διαδικτύου, εντοπίζονται 50 χρόνια πριν, σε ένα αυστηρά ορισμένο και εξαιρετικά ελεγχόμενο περιβάλλον (αμερικάνικες ένοπλες δυνάμεις), και στη συνέχεια σε μια κοινωνία ανθρώπων με ιδιαίτερη ηθική και προπάντων, καλή πίστη (επιστημονική κοινότητα). Ως εκ τούτου, τα θέματα ασφάλειας

έχουν αγνοηθεί παντελώς στα πρώτα βήματα του διαδικτύου και έχει υιοθετηθεί η θεώρηση ότι όλα τα μέρη της επικοινωνίας είναι αξιόπιστα. Με την πάροδο του χρόνου κατέστη απολύτως σαφές ότι κάτι τέτοιο δεν μπορεί να αποτελεί υπόθεση, και έτσι έχουν σταδιακά εισαχθεί νέες τεχνολογίες σχετικά με την ασφάλεια σε μεταγενέστερο χρόνο και τυπικά με εξέταση συγκεκριμένων εφαρμογών κατά περίπτωση. Ο τομέας της ασφάλειας στο διαδίκτυο, αν και έχει προχωρήσει αρκετά, προσφέρει αρκετός χώρος ακόμη για νέες μεθόδους καθώς και για γενίκευσή τους.

- *Διευθυνσιοδότηση:* Οι διευθύνσεις στο διαδίκτυο αρχικά οριζόταν μέσω ενός αριθμού 32 bit (4 bytes - διεύθυνση IP). Ο τρόπος αυτός χρησιμοποιείται ακόμη και στις μέρες μας για την πλειοψηφία των επικοινωνιών στο διαδίκτυο. Η διεύθυνση IP χρησιμοποιείται σε όλα τα στάδια μιας επικοινωνίας, τόσο από τα άκρα όσο και από τους ενδιάμεσους κόμβους για τη δρομολόγηση. Αν και τα 4 bytes της διεύθυνσης, φάνταζαν ικανοποιητικά στην λογική των σχεδιαστών του πρωτοκόλλου IP, η σημερινή διάδοση του Διαδικτύου έχει καταστήσει το σχήμα της διευθυνσιοδότησης ανεπαρκές για να ικανοποιήσει τις σύγχρονες ανάγκες. Οι κυριότερες παράμετροι που καθιστούν το σχήμα αυτό ανεπαρκές είναι ο περιορισμένος αριθμός διευθύνσεων που υπάρχουν, το χαμηλό επίπεδο ασφαλείας που προσφέρει και η ελλιπής υποστήριξη πολυεκπομπής (multicast). Για τον λόγο αυτό, έχει ήδη ξεκινήσει η διαδικασία αντικατάστασης του, με το νεότερο και, θεωρητικά τουλάχιστον, ασφαλέστερο IPv6 [3]. Η διαδικασία αυτή εξελίσσεται με πολύ αργά βήματα,

καθώς το κόστος της μετάβασης εκτιμάται είναι αρκετά μεγάλο, καθώς απαιτείται οι συμβατές συσκευές να επαναρυθμιστούν με βάση το νέο πρωτόκολλο (απόδοση IP διευθύνσεων, δημιουργία πινάκων δρομολόγησης, θέματα συμβατότητας εφαρμογών που υποστηρίζουν μόνο το IPv4 κ.λπ.). Είναι γεγονός ότι η συγκεκριμένη μετάβαση είναι πλέον επιβεβλημένη καθώς οι διαθέσιμες διευθύνσεις IPv4 έχουν σχεδόν εξαντληθεί [4]

- Νέες υπηρεσίες: Η μετεξέλιξη του διαδικτύου θεωρείται επιβεβλημένη για την παροχή νέων, καινοτόμων υπηρεσιών οι οποίες δεν είναι δυνατό να υποστηριχθούν από τη σημερινή δομή, είτε στο σύνολό τους, είτε ορισμένα τμήματα αυτών.

2 Θέματα σχεδιασμού δικτύων νέας γενιάς

Το διαδίκτυο του παρόντος, έχει παρουσιάσει μεγάλη επιτυχία, αλλά, όπως έχει ήδη αναφερθεί, πρέπει σταδιακά να μετεξελιχθεί στο διαδίκτυο του μέλλοντος. Η υπάρχουσα κατάσταση και υποδομή όμως, αποτελεί μεγάλο σκόπελο, όσον αφορά στην υλοποίηση και εφαρμογή νέων αρχιτεκτονικών δικτύων, όπως αυτές που προετοιμάζει το διαδίκτυο του μέλλοντος. Ο σχεδιασμός δικτύων νέας γενιάς, σε μεγάλο βαθμό, βρίσκει σημαντικούς περιορισμούς από μια πληθώρα πεποιθήσεων αλλά και σταθερών, που έχει επιβληθεί από τον αρχικό σχεδιασμό του Διαδικτύου, όπως το πρωτόκολλο δικτύου IP, το πρωτόκολλο μεταφοράς TCP, το σύστημα ονοματολογίας DNS, ή το σύνολο των πρωτοκόλλων BGP για το επίπεδο της δρομολόγησης [3]. Η αλλαγή ή αντικατάσταση των πρωτοκόλλων αυτών είναι ένα εξαιρετικά δύσκολο εγχείρημα, καθώς επιβάλλει την σχεδόν ολοκληρωτική αλλαγή μεγάλων τμημάτων του υπάρχοντος εξοπλισμού. Χαρακτηριστικά, η αποδοχή του πρωτοκόλλου IPv6 συναντά εξαιρετικές δυσκολίες κυρίως από κατασκευαστές, μολονότι η ζωή του IPv4 είναι ήδη σε τελικό στάδιο, καθώς νέες τεχνικές και πρωτόκολλα πρέπει να ενσωματωθούν στα μηχανήματα και τις εφαρμογές [5]. Η ανάπτυξη και ενσωμάτωση νέων πρωτοκόλλων είναι επίσης δύσκολη διαδικασία. Τα πιο γνωστά παραδείγματα που μπορούμε να παρουσιάσουμε είναι τα προβλήματα που παρουσιάζονται με την εισαγωγή του IPv6 ή του IP multicast, τα οποία απαιτούν την τροποποίηση ή την αναβάθμιση των εγκατεστημένων κόμβων του δικτύου [3].

Στο πλαίσιο του διαδικτύου του μέλλοντος, υπάρχει το όραμα των διαφορετικών δικτύων, που αν και έχουν

κατασκευαστεί σύμφωνα με διαφορετικές αρχιτεκτονικές, μπορούν να συνυπάρξουν και να μοιράζονται μια κοινή υποδομή. Αυτές οι αρχιτεκτονικές δικτύου μπορεί να είναι ειδικά προσαρμοσμένες στις ιδιαίτερες απαιτήσεις των χρηστών ή σε ειδικές εφαρμογές και, επιπλέον, θα μπορούν να λαμβάνουν υπόψη τα χαρακτηριστικά των διαθέσιμων πόρων δικτύωσης [3].

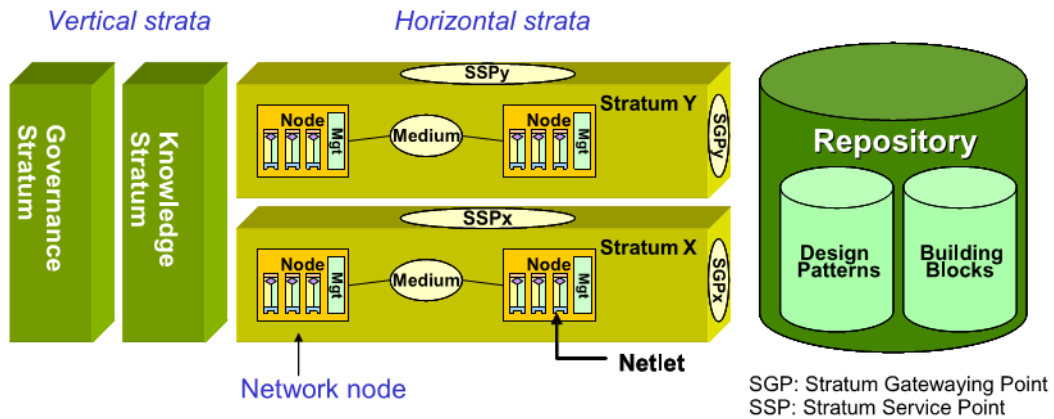
Στα πλαίσια των νέων σχεδιασμών, εκτενής διάλογος γίνεται για τον διαχωρισμό των επιπέδων κατά OSI. Μία από τις μεγαλύτερες ενστάσεις είναι η αδυναμία μεταφοράς γνώσης μεταξύ των επιπέδων, καθώς κάθε επίπεδο θεωρείται ως ένα μαύρο κουτί το οποίο εκτελεί μία συγκεκριμένη εργασία, λαμβάνει είσοδο συγκεκριμένης μορφής και παρέχει στην έξοδό του δεδομένα, επίσης με αυστηρά καθορισμένη δομή. Μολονότι αυτός ο σχεδιασμός διευκολύνει την αρθρωτή (modular) δομή και την ανεξάρτητη ανάπτυξη, έχουν επισημανθεί πολλές περιπτώσεις όπου απαιτείται να διαμοιράζονται πληροφορίες μεταξύ των επιπέδων προκειμένου να σχεδιαστούν ακόμη πιο αποτελεσματικά και αποδοτικά συστήματα επικοινωνιών. Επιπλέον, τα αυστηρά καθορισμένα μοντέλα αυτά είναι περιοριστικά όσον αφορά συστήματα επικοινωνίας που έχουν ειδικές απαιτήσεις, όπως για παράδειγμα τα δίκτυα αισθητήρων, το Διαδίκτυο των πραγμάτων, ή το Δίκτυο των Πληροφοριών (Network of Information - NetInf) [3]. Από την άλλη πλευρά, οι κατασκευαστές ισχυρίζονται ότι με αυτήν την αυστηρή προτυποποίηση, είναι εφικτή η διαλειτουργικότητα που έχει επιτύχει το Internet.

Προς την κατεύθυνση αυτή, νέες μεθοδολογίες οι οποίες θα συνδράμουν στο σχεδιασμό των δικτύων του

μελλοντικού Internet, όπως οι προτάσεις των [3], [6], [7] μέσα από ερευνητικά έργα FIND, SILO και 4WARD, αποτελούν μερικές από τις σύγχρονες ερευνητικές προτάσεις στον τομέα του μελλοντικού διαδικτύου.

Στην εργασία [3], η οποία περιγράφει αποτελέσματα που παρήχθησαν στα πλαίσια του έργου 4WARD, εισάγονται νέες έννοιες (strata, netlet) και προτείνεται ο σχεδιασμός των δικτύων του μελλοντικού διαδικτύου με μία συγκεκριμένη τεχνική που αξιοποιεί της παραπάνω έννοιες και δύο διαφορετικές απόψεις του δικτύου:

- *Τη μακροσκοπική άποψη*, η οποία σχετίζεται περισσότερο με το συνολικό σχεδιασμό του δικτύου, σε υψηλό επίπεδο και εν γένει αφαιρετικό, με χρήση των στρωμάτων (strata). Η έννοια του στρώματος δηλώνει έναν ευέλικτο τρόπο για την οικοδόμηση των υπηρεσιών του δικτύου, ο οποίος επιτρέπει τη χρήση πληροφοριών από διαφορετικά επίπεδα (layers).
- *Τη μικροσκοπική άποψη*, η οποία ασχολείται με τις λειτουργίες που απαιτούνται στο πλαίσιο των αρχιτεκτονικών δικτύου και τη σύνθεσή τους, η οποία βασίζεται στα ονομαζόμενα "Netlets". Με βάση αυτό το μοντέλο, κάθε κόμβος φιλοξενεί ένα σύνολο από Netlets.



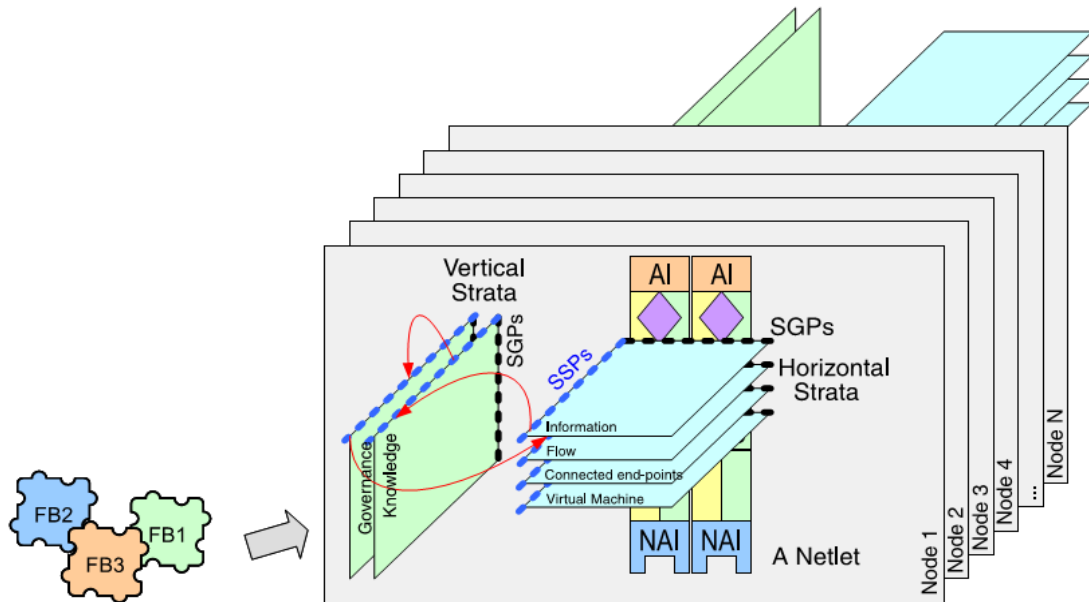
Εικόνα 1: Η διαδικασία σχεδίασης δικτύων σύμφωνα με την εργασία [3]

Πιο συγκεκριμένα, η μακροσκοπική διαστρωμάτωση του δικτύου περιλαμβάνει δύο ειδών στρώματα (strata): τα κατακόρυφα και τα οριζόντια. Ο βασικός σκοπός της κατακόρυφης διαστρωμάτωσης αφορά τη διαχείριση του δικτύου. Οι συγγραφείς στο [3] διακρίνουν δύο βασικά τμήματα: Το *στρώμα διακυβέρνησης* (governance stratum), το οποίο έχει ως στόχο να ελέγξει ότι όλη η σειρά των οριζόντιων στρωμάτων έχει αρχικοποιηθεί και ρυθμιστεί σωστά, βάσει των πολιτικών που διαθέτει το στρώμα αυτό και των πληροφοριών που αντλεί για την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου. Το *στρώμα γνώσης* (knowledge stratum) παρέχει πληροφορίες σε άλλα στρώματα για την τοπολογία του δικτύου, την τρέχουσα κατάσταση των πόρων, κ.λπ. Το στρώμα γνώσης παρακολουθεί επίσης συνεχώς την κατάσταση του δικτύου με τη συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία πληροφοριών κατάστασης από τα υπόλοιπα οριζόντια στρώματα και ανακαλύπτει νέες δυνατότητες στον ίδιο δικτυακό τομέα (domain) ή σε άλλους δικτυακούς τομείς.

Από την άλλη πλευρά, η οριζόντια διαστρωμάτωση ουσιαστικά αποτελείται από ένα σύνολο στρωμάτων το οποία παρέχει στην πράξη όλους εκείνους τους πόρους και τις δυνατότητες που καθιστούν εφικτή την επικοινωνία μεταξύ των δικτύων. Το «υπόστρωμα μηχανής» (machine stratum) παρέχει τις βασικές δυνατότητες επεξεργασίας και μετάδοσης σε άλλα στρώματα (μπορεί να αποτελείται από φυσικούς ή εικονικούς πόρους). Το «στρώμα διασύνδεσης τελικών σημείων» (Connected Endpoints Stratum) παρέχει τα απαραίτητα «κανάλια» επικοινωνίας. Το «στρώμα ροής» (flow stratum) παρέχει τις δυνατότητες για τη μεταφορά των δεδομένων διαμέσου διαφορετικών δικτύων, και τέλος "στρώμα πληροφοριών" (flow stratum) χειρίζεται τη διαχείριση των αντικειμένων δεδομένων στο δίκτυα.

Η οριζόντια διαστρωμάτωση αποτελείται από ένα σύνολο κόμβων που είναι συνδεδεμένοι μέσω ενός μέσου (medium). Η οντότητα αυτή ενθυλακώνει μια σειρά από λειτουργίες που κατανέμονται στους κόμβους. Αυτές οι λειτουργίες παρέχονται σε άλλα στρώματα μέσω δύο καλά ορισμένων διασυνδέσεων, της διασύνδεσης σημείου υπηρεσίας στρώματος (stratum service point - SSP) και της διασύνδεσης σημείου πύλης στρώματος (stratum gateway point - SGP). Οι λειτουργίες σε κάθε κόμβο υλοποιούνται με τη μορφή μπλοκ (είτε δομικά είτε λειτουργικά) και ομαδοποιούνται σε λογικά τμήματα, τα επονομαζόμενα *Netlets*. Τα *Netlets* μπορούν να θεωρηθούν ως ολοκληρωμένα τμήματα, τα οποία παρέχουν μια συγκεκριμένη υπηρεσία. Αποτελούνται από τις λειτουργίες που απαιτούνται είτε για να παρέχουν υπηρεσίες από άκρο-σε-άκρο (end-to-end), είτε για να εξυπηρετούν εσωτερικές υπηρεσίες δικτύου, όπως η δρομολόγηση. Η συλλογή όλων

των λειτουργιών οδηγεί στον ορισμό των πρωτοκόλλων που προβλέπονται από Netlet. Τα πρωτόκολλα περιέχουν Netlets και τα πρωτόκολλα αυτά αποτελούν το μέσο (medium) για τα στρώματα που ανήκουν. Ως εκ τούτου, μέσα στο ίδιο Netlet θα μπορούσαν να υπάρξουν λειτουργίες που σχετίζονται με διάφορα στρώματα.



Εικόνα 2: Σχέση μεταξύ Netlets και Στρωμάτων

Στην εικόνα 1, το αριστερό τμήμα περιέχει τα κάθετα στρώματα της διοίκησης και της γνώσης και αναπαριστά το σύνολο της λειτουργικότητας που σχετίζεται με τη διαχείριση και τον έλεγχο του δικτύου. Η λειτουργικότητα αυτή μπορεί να υλοποιηθεί μέσω ενός συνόλου κόμβων που επιτελούν τον συγκεκριμένο σκοπό μόνο ή να κατανεμηθούν σε άλλους κόμβους που αποτελούν τμήματα των οριζόντιων στρωμάτων που ορίστηκαν ανωτέρω. Τόσο το στρώμα διοίκησης όσο και το στρώμα γνώσης θα παρέχουν ένα καλά ορισμένο σύνολο από διεπαφές προς άλλα στρώματα, για να τους παρέχουν δυνατότητες όπως

π.χ. η διαπραγμάτευση της διασύνδεσης μεταξύ δύο διαφορετικών δικτύων.

Τέλος, στα δεξιά της εικόνας 1, υπάρχει ένα αποθετήριο (repository) που αναπαριστά ένα σύνολο από δομικά μπλοκ και σχεδιαστικά μοτίβα (design patterns), τα οποία χρησιμοποιούνται για να υποστηρίξουν τη διαδικασία σχεδιασμού. Προκειμένου να δημιουργηθεί το αποθετήριο σχεδιασμού αυτό και να υποστηριχθεί ο ορισμός της απαραίτητης λειτουργικότητας, μπορούν να ενσωματωθούν μεθοδολογίες από τον χώρο της Τεχνολογίας Λογισμικού. Για παράδειγμα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η βασισμένη σε συνιστώσες αρχιτεκτονική προκειμένου να αντιμετωπισθεί η ποικιλομορφία των απαιτήσεων.

3 Το μελλοντικό διαδίκτυο

Τα πρωτόκολλα και συστήματα συχνά σχεδιάζονται αγνοώντας σχεδόν εντελώς τα υπάρχοντα πρωτόκολλα και συστήματα. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα πρωτοκόλλων και υπηρεσιών τα οποία, παρόλο που είναι πολύ καλά σχεδιασμένα από τεχνική άποψη, η αποδοχή τους είναι εξαιρετικά περιορισμένη όπως για παράδειγμα η πολυεκπομπή (multicast) στο πρωτόκολλο IP και τα πρωτόκολλα ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Μεγαλύτερο, όμως, και σημαντικότερο θέμα αποτελεί τα σημερινά μοντέλα υπηρεσιών που έχουν αναπτυχθεί στο υπάρχον διαδίκτυο, να μπορέσουν να εκμεταλλευτούν το διαδίκτυο του μέλλοντος.

Στο κεφάλαιο αυτό, θα παρουσιαστεί η προσέγγιση του έργου 4WARD σχετικά με την προσαρμογή των υπάρχουσών κοινοτήτων στο μελλοντικό διαδίκτυο.

3.1 Αλλαγές στο διαδίκτυο του μέλλοντος

Μια από τις σημαντικότερες υπηρεσίες που προσφέρει το σημερινό διαδίκτυο αποτελούν οι διάφορες online κοινότητες που υπάρχουν, από την απλή μορφή κοινοτήτων συζητήσεων (περισσότερο γνωστά fora), έως τις κοινότητες ανοιχτής γνώσης (τα δημοφιλή wiki) και τις κοινότητες εμπορίας και ανταλλαγής προϊόντων, όπως το ebay [7].

Σύμφωνα με αυτά τα παραδείγματα, η επιτυχία μιας δικτυακής κοινότητας μπορεί να μετρηθεί ποσοτικά από τη διάρκεια ζωής της κοινότητας και από την ευρεία εξάπλωση της ώστε να συμπεριλάβει και επιχειρήσεις. Στο νέο μοντέλο κοινοτήτων, οι online κοινότητες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν καλύτερα ως νέοι τρόποι σύμφωνα με τους οποίους οι άνθρωποι θα επικοινωνούν ο ένας με τον

άλλο ώστε να μοιραστούν εμπειρίες, να αποκτήσουν νέες ικανότητες ή να εκτελέσουν εργασίες, να συνδράμουν στη διάδοση ειδήσεων και σχετικών πληροφοριών, στην παροχή βοήθειας, και ούτω καθ' εξής. Υπό αυτή την έννοια, η επιτυχία ενός παρόχου μιας τέτοιας κοινότητας δεν θα μετράται με τη διάρκεια ζωής της αλλά με την ικανοποίηση των χρηστών κατά τη χρήση των υπηρεσιών της, η οποία μπορεί να μετρηθεί, για παράδειγμα, στην αφοσίωση ενός χρήστη να αναζητήσει λύσεις εντός αυτής της κοινότητας μέσω ενός συγκεκριμένου παρόχου [7].

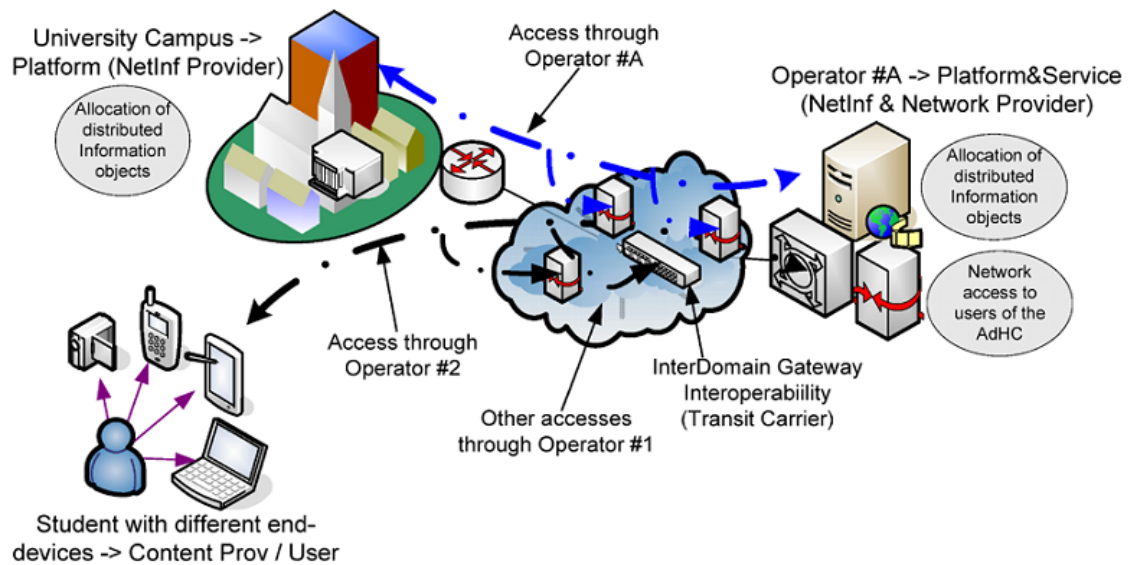
Βάσει του μοντέλου του έργου 4WARD για το μελλοντικό διαδίκτυο, οποιοδήποτε αντικείμενο πληροφοριών θα είναι πιθανώς σε θέση να καθορίσει μια νέα κοινότητα. Νέες κοινότητες είναι πολύ πιθανόν να προκύψουν από τα αντικείμενα πληροφοριών που αντιπροσωπεύουν είτε πρόσωπα είτε πράγματα και θα παρέχουν ένα γρήγορο και ασφαλή τρόπο διαμοιρασμού δεδομένων. Σημαντικές ανάγκες που πρέπει να καλυφθούν από τις κοινότητες είναι οι εξής [7]:

- *Εμπιστοσύνη*: Στην καθημερινή ζωή, αλλά πάνω από όλα σε περιόδους κρίσης, οι άνθρωποι αναζητούν αξιόπιστες πηγές για οποιαδήποτε πληροφορία, ή ενέργεια πρόκειται να χρειαστούν.
- *Χρόνος*: Η κοινότητα πρέπει να είναι σε θέση να παραδώσει τα αντικείμενα πληροφοριών που είναι αφενός, τα πιο πρόσφατα και αφετέρου από τη θέση που βρίσκεται πλησιέστερα προς τον αποδέκτη. Αυτό διαδραματίζει σημαντικό ρόλο και στην διακίνηση των δεδομένων.
- *Ασφάλεια*: Οι κοινότητες θα έχουν επιτυχία μόνο αν θα υπάρξουν εργαλεία τα οποία θα είναι εύκολα στη

χρήση και ταυτόχρονα ασφαλή για την υποβολή, την ανάκτηση και την επικοινωνία

- *Κίνηση δεδομένων*: ο όγκος της κυκλοφορίας, ανάλογα με τον αριθμό των συμμετεχόντων, θα πολλαπλασιαστεί για τα αντικείμενα πληροφορίας με μεγάλη ζήτηση, οπότε θα χρειαστεί μικρή προσπάθεια για την ανάπτυξη της απαιτούμενης κρίσιμης μάζας ώστε η κοινότητα να αποτελέσει μια πολύτιμη πηγή πληροφοριών για τα μέλη της.

Ένας βασικός στόχος των κοινοτήτων στο μελλοντικό διαδίκτυο είναι να αποτελέσουν βασικό συνεργάτη σε ποικίλες μορφές εργασίας. Ως «συνεργάτης», η κοινότητα θα «εργάζεται» για τους ανθρώπους: θα είναι ένας καταλύτης για να βελτιωθεί η εμπιστοσύνη στην ομάδα εργασίας, ακόμη και στην περίπτωση που τα μέλη της ομάδας βρίσκονται σε διαφορετικές τοποθεσίες και καταστάσεις. Επίσης, θα είναι ένας καταλύτης για την εξοικονόμηση χρόνου εργασίας με την έγκαιρη παράδοση των κατάλληλων αντικειμένων πληροφοριών διασφαλίζοντας παράλληλα και την ασφάλειά τους. Θα συνδράμει επίσης ενεργά ώστε να εντοπιστεί το καταλληλότερο αντικείμενο πληροφοριών, λαμβάνοντας υπόψη πολλαπλές οπτικές γωνίες: για παράδειγμα, μόνο ενημερωμένο περιεχόμενο, βελτιστοποιημένο για παρουσίαση στη συγκεκριμένη συσκευή που διαθέτει ο χρήστης, και μάλιστα, με γραφικό περιβάλλον κατάλληλα βελτιστοποιημένο για τις δεξιότητες και δυνατότητες του χρήστη, την πρόσβαση στην τοποθεσία που βρίσκεται το αντικείμενο να συσχετίζεται με το φορτίο της κυκλοφορίας και τα χαρακτηριστικά του δικτύου [7].



Εικόνα 3: Η λειτουργία μιας εξειδικευμένης online κοινότητας στο μελλοντικό διαδίκτυο [7]

Στην εργασία [7] , παρουσιάζεται ένα αναλυτικό σενάριο χρήσης (use case) το οποίο αφορά τον μετασχηματισμό μιας εξειδικευμένης online κοινότητας που αφορά τη χρήση της μέσα σε ένα πανεπιστημιακό ίδρυμα. Η συνολική αρχιτεκτονική εικόνα που προτείνεται στην εργασία [7] απεικονίζεται στην Εικόνα 3.

Πιο συγκεκριμένα, στο σενάριο αυτό οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση στην κοινότητα από παντού, μέσα από διαφορετικές συνδέσεις και συσκευές. Οι συνδέσεις παρέχονται από την υπηρεσία παροχής δικτύου και η πρόσβαση παρέχεται από διάφορους εναλλακτικούς παρόχους πρόσβασης. Υπάρχει ένας πάροχος της πλατφόρμας η οποία είναι υπεύθυνη για την παροχή του Δικτύου της πληροφορίας (Network of Information – NetInf), όσον αφορά ένα βασικό σύμπλεγμα των υπηρεσιών που θα αναμορφώσει τα αντικείμενα πληροφοριών σε ένα NetInf. Ο Πάροχος Δικτύου A είναι ο Διαχειριστής, που προσφέρει διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης. Έχει

διάφορες συμφωνίες διασύνδεσης με τους άλλους παρόχους. Το Δίκτυο του Πανεπιστημίου αντιπροσωπεύει το δίκτυο που οι φοιτητές χρησιμοποιούν για να τη σύνδεση στο διαδίκτυο από την πανεπιστημιούπολη. Αυτό το δίκτυο συνδέεται στο διαδίκτυο, χάρη στη συμφωνία διέλευσης μεταξύ του Πανεπιστημίου και των παρόχων (operators) A, #1 και #2. Ένας από τους εναλλακτικούς παρόχους πρόσβασης θα μπορούσε να είναι μια εικονική επιχείρηση [7].

Για να επιδειχθούν διάφορα σενάρια, έχουν επιλεγεί τα εξής μοντέλα διασύνδεσης [7]:

- Ο πάροχος #1 έχει μια συμφωνία ανταλλαγής κίνησης με τον πάροχο #A. Ως εκ τούτου, δεν θα υπάρχει χρέωση με βάση τον όγκο της κυκλοφορίας, δεδομένου ότι υποτίθεται ότι αυτοί οι δύο φορείς θα ανταλλάσσουν κίνηση με δίκαιο τρόπο (δηλαδή σχεδόν ισόποσα).
- Ο πάροχος #2 δεν έχει καμία συμφωνία ανταλλαγής κίνησης με το Διαχειριστή #A ή τον πάροχο #1. Μπορεί να υποτεθεί ότι η επιχείρηση αυτή είναι σε άλλη χώρα (π.χ. φοιτητές με υποτροφία Erasmus σε άλλη χώρα χρησιμοποιούν αυτό το δίκτυο) και στο Πανεπιστήμιο παίζει το ρόλο του εικονικού παρόχου (Virtual Operator).

Μέσα σε αυτό το σενάριο θα υπάρξουν τρεις διαφορετικοί ρόλοι για τους συμμετέχοντες [7]:

- *Πάροχος NetInf* – Πρόκειται για μία ομάδα που περιλαμβάνει το πανεπιστημιακό δίκτυο, την

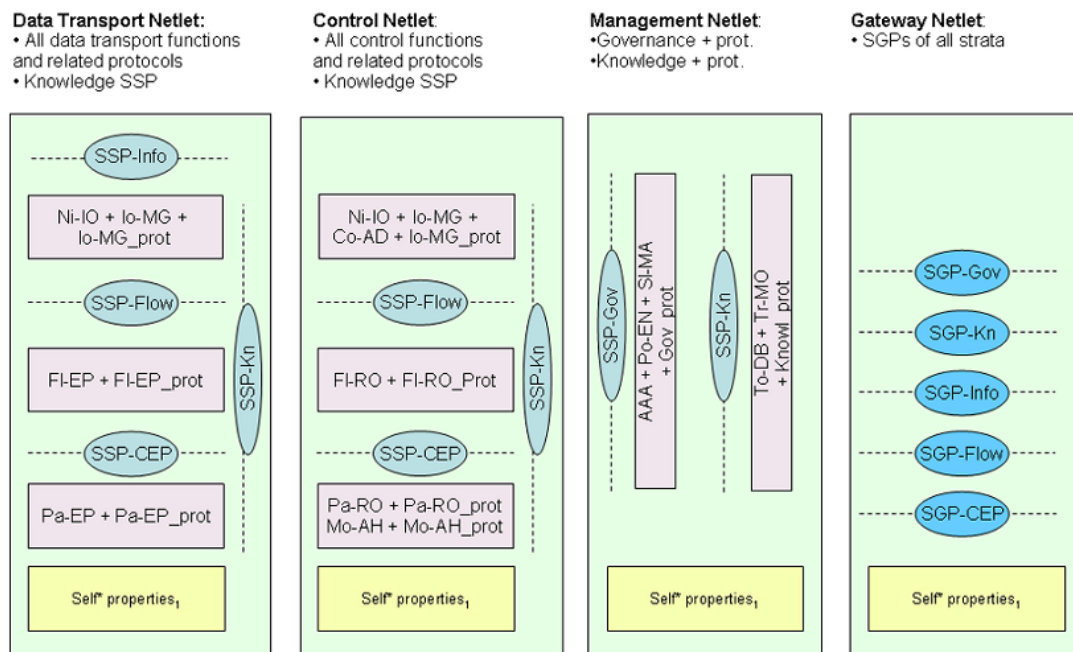
κινητικότητα εντός του δικτύου και τις κοινότητες. Η λειτουργία της ομάδας ρυθμίζεται από τον πάροχο #A.

- *Πάροχος διαδικτύου.* Πρόκειται για μία ομάδα που περιλαμβάνει τον πάροχο #1, τον πάροχο #2, την υπηρεσία κινητικότητας εντός του δικτύου και τον πάροχο υπηρεσίας ασύρματης πρόσβασης.
- Ο απλός χρήστης.

Ο Πάροχος NetInf διαθέτει μια πλατφόρμα, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως μια βιβλιοθήκη των βασικών λειτουργιών, έτσι ώστε οι πληροφορίες μπορούν εύκολα να παρασκευασθούν και να παραδίδονται στους χρήστες σε μια κατάλληλη μορφή. Η πλατφόρμα θα παρέχει μεγάλη ευκολία στη χρήση λειτουργίας και θα είναι σε θέση να βοηθήσει τον χρήστη σε όλη τη διαδικασία δημιουργίας της κοινότητας, ζητώντας από το χρήστη μόνο για το πιο βασικό στοιχείο. Ο Πάροχος NetInf παρέχει την αναγκαία δικτυακή υποδομή, έτσι ώστε κάθε χρήστης να είναι σε θέση να συνδεθεί μέσω του παρόχου A. Ο πάροχος A θα παρέχει μια πλατφόρμα έτσι ώστε το δίκτυο του Πανεπιστημίου και του παρόχου A να μπορούν να αλληλεπιδράσουν. Αυτές οι πληροφορίες και τα δεδομένα αποθηκεύονται στις εγκαταστάσεις του Παρόχου Δικτύου (π.χ. κέντρα δεδομένων) και αυτό θα γίνεται με χρέωση του παρόχου που λειτουργεί την υπηρεσία NetInf. Αυτές οι πληροφορίες θα πρέπει να οργανωθούν με έναν απλό και άμεσο τρόπο, έτσι ώστε οι χρήστες μπορούν να τις αναζητήσουν άμεσα και να έχουν πρόσβαση σε αυτές γνωρίζοντας μόνο το όνομά τους. Οι χρήστες / καταναλωτές θα πληρώνουν άμεσα τον πάροχο NetInf μόνο για τις συγκεκριμένες πληροφορίες που χρησιμοποιούν.

Διαφορετικά, οι χρήστες μπορούν να εγγραφούν στο Διαχειριστή ως συνδρομητές για ένα συγκεκριμένο κανάλι πληροφοριών και ο Διαχειριστής θα κάνει τις απαραίτητες συμφωνίες με (ίσως αρκετούς) παρόχους NetInf. Ο δικτυακός Πάροχος θα παρέχει στον πάροχο NetInf την υποδομή που είναι απαραίτητη για τις υπηρεσίες που παρέχει, επιτρέποντας στις υπηρεσίες αυτές να συνδέουν χρήστες και αντικείμενα πληροφοριών [7].

Με βάση την παραπάνω περιγραφή, στην εργασία [7], εξάγονται οι λειτουργικές και μη λειτουργικές απαιτήσεις της εφαρμογής, και προχωρούν σύμφωνα με τα πρότυπα του μελλοντικού διαδικτύου στη σχεδίαση της υπηρεσίας. Τα Netlets που προκύπτουν από την παραπάνω διαδικασία σχεδίασης φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί.



1. The Self* properties is omni-present, and should also be part of the Management agent in the Node architecture.

Εικόνα 4: Netlets που προκύπτουν για το πανεπιστημιακό σενάριο

4 Σχεδίαση πρωτοκόλλων στο μελλοντικό διαδίκτυο

Μερικές από τις πιο σημαντικές προκλήσεις στο επερχόμενο διαδίκτυο αποτελούν τα πρωτόκολλα του μελλοντικού διαδικτύου, τα οποία πρέπει να επιτυγχάνουν τη βέλτιστη δρομολόγηση, καλύτερη και διαφανέστερη υποστήριξη φορητών συσκευών (κινητά, smartphones, tablets), αλλά και πιθανών μελλοντικών συσκευών. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, πρέπει να συνυπολογιστούν οι νέες τηλεπικοινωνιακές εξελίξεις, με την ανάπτυξη ενσύρματων και ασύρματων συνδέσεων υψηλών ταχυτήτων (της τάξεως των 100Mbps) καθώς και η ευρεία ανάπτυξη οπτικών δικτύων υπερυψηλών ταχυτήτων.

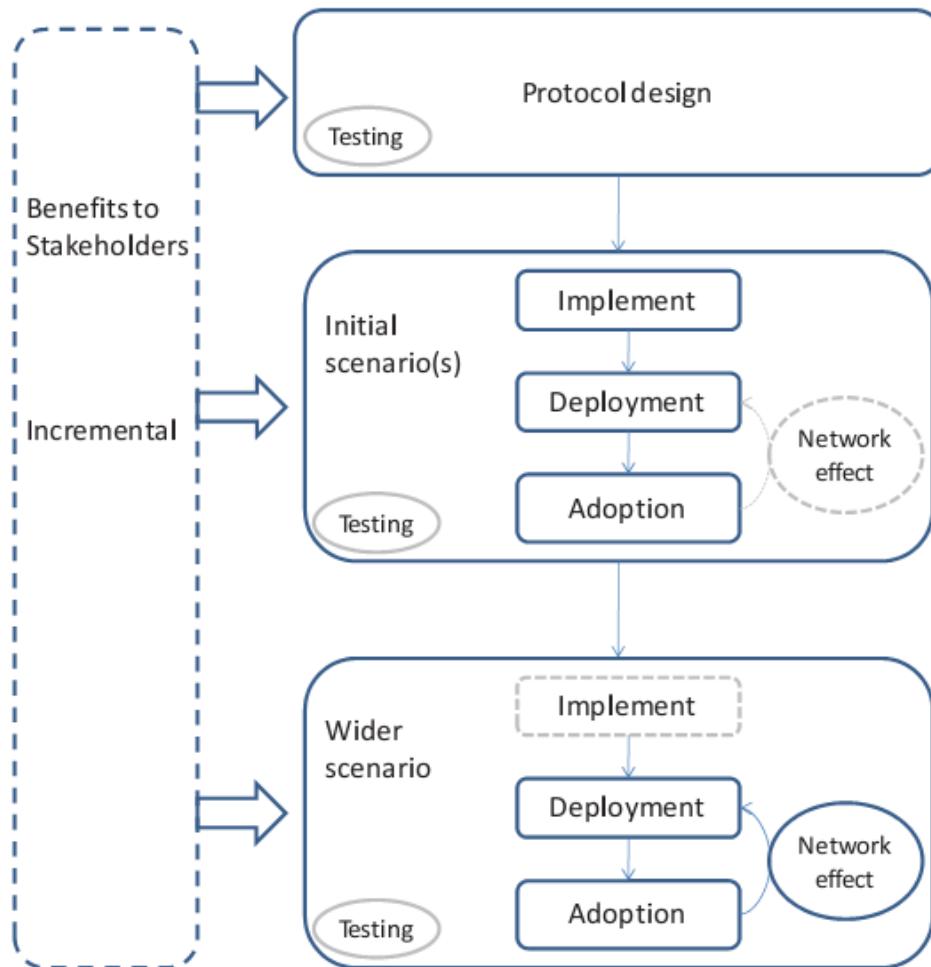
Τα πρωτόκολλα μέσα σε ένα δίκτυο αποτελούν μια από εκείνες τις σταθερές που αναφέρθηκαν προηγουμένως οι οποίες αλλάζουν με μεγάλη δυσκολία. Παράλληλα, η ορθή τους λειτουργία είναι κρίσιμη για ένα σύνολο από ορισμένες δικτυακές υπηρεσίες ή για το σύνολο του δικτύου. Ενδεικτικά αναφέρουμε τα πρωτόκολλα στα επίπεδα δρομολόγησης, ή πρωτόκολλα παρόμοια με το IP, τα οποία σε περίπτωση προβληματικής λειτουργίας είναι δυνατό να προκαλέσουν δικτυακές δυσλειτουργίες, μέχρι και (σε εξαιρετικά ακραίες περιπτώσεις) ολοκληρωτική κατάρρευση του δικτύου που εξυπηρετούν. Δεδομένου ότι τέτοιες περιπτώσεις είναι απευκταίες, η ερευνητική κοινότητα έχει εισάγει για το μελλοντικό διαδίκτυο εκείνες τις μεθοδολογίες που στο μέτρο του δυνατού εγγυώνται την απρόσκοπτη λειτουργία των σχεδιαζόμενων πρωτοκόλλων.

Πιο συγκεκριμένα, στην εργασία [8] προτείνεται ένα νέο πλαίσιο για την ανάπτυξη και την υιοθέτηση των νέων

πρωτοκόλλων στο μελλοντικό διαδίκτυο, το οποίο εποπτικά παρουσιάζεται στην Εικόνα 5, που παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, που απορρέουν από τις μεθοδολογίες ανάπτυξης στις οποίες στηρίζεται. Πιο συγκεκριμένα:

- Η μεθοδολογία ανάπτυξης και εφαρμογής λαμβάνει υπόψη τα οφέλη από την υιοθέτηση του πρωτοκόλλου, καθώς και το κόστος της εφαρμογής του σε ευρεία κλίμακα.
- Διαχωρίζει σαφώς τα στάδια της ανάπτυξης, της εγκατάστασης και της υιοθέτησης του πρωτοκόλλου.
- Υιοθετεί μια μεθοδολογία ανάπτυξης που βασίζεται στις ίδιες αρχές με το σπειροειδές μοντέλο ανάπτυξης εφαρμογών [9], καθώς προτείνει τη σταδιακή εφαρμογή του νέου πρωτοκόλλου, πραγματοποιώντας σταδιακές βελτιώσεις σε κάθε εφαρμογή του και λήψη της ανάλογης ανάδρασης.

Η μεθοδολογία της εργασίας [8] έχει εφαρμοστεί πιλοτικά στην ανάπτυξη και υιοθέτηση πρωτοκόλλων ([10], [11]). Στην εργασία [8] παρουσιάζεται η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας στην ανάπτυξη του πρωτοκόλλου MPTCP.



Εικόνα 5: Σχεδιασμός πρωτοκόλλων στο μελλοντικό διαδίκτυο

Η προτεινόμενη μεθοδολογία [8], ξεκινά θέτοντας το πρώτο βασικό ερώτημα που πρέπει να απαντήσει ο ερευνητής: ποια είναι τα οφέλη (και το κόστος) που σχετίζονται με την εισαγωγή/υιοθέτηση του πρωτοκόλλου; Ασφαλώς, το πρωτόκολλο για να παρουσιάζει κάποια οφέλη, πρέπει να *αντιμετωπίζει* και να *επιλύει* επιτυχώς μια πραγματική *ανάγκη*. Επομένως, το πρωτόκολλο πρέπει πρώτα από όλα να στοχεύει στην αντιμετώπιση ενός υπαρκτού προβλήματος. Στη συνέχεια, τα οφέλη και τα κόστη εξετάζονται για κάθε επιμέρους μονάδα η οποία θα επηρεαστεί από το νέο πρωτόκολλο. Σε κάθε περίπτωση, τα οφέλη της μετάβασης στο νέο πρωτόκολλο θα πρέπει να

είναι προφανή για εκείνες τις μονάδες οι οποίες θα προχωρήσουν στην συγκεκριμένη αλλαγή. Για παράδειγμα, ένα σύστημα NAT (Network Address Translator) επιτρέπει τη σύνδεση πολλαπλών συσκευών στο διαδίκτυο χρησιμοποιώντας μία μοναδική δημόσια διεύθυνση IP, ενώ παράλληλα προσφέρει και κάποιο όφελος ασφάλειας. Από την άλλη πλευρά, η ανάπτυξη του πρωτοκόλλου IPv6 παρουσιάζει σημαντικά κόστη για όλα τα τμήματα του δικτύου, αλλά τα οφέλη είναι μακροπρόθεσμα.

Η ανάπτυξη ενός νέου πρωτοκόλλου μπορεί να έχει και άλλου είδους κόστη, για παράδειγμα, ένα νέο πρωτόκολλο για μια συγκεκριμένη εφαρμογής μπορεί να απαιτεί αλλαγές σε επίπεδο λογισμικού και λειτουργικού συστήματος [8].

Στη συνέχεια, η μεθοδολογία που παρουσιάζεται στην εργασία [8] εξετάζει το ενδεχόμενο οι αλλαγές που απαιτούνται για τη μετάβαση στο νέο πρωτόκολλο να υιοθετηθούν σταδιακά. Στο ερώτημα αυτό σημαντικό ρόλο παίζει και η συμβατότητα με τις προηγούμενες εκδόσεις του πρωτοκόλλου. Η σταδιακή υιοθέτηση, προσφέρει σημαντική ανάδραση από την πρακτική εφαρμογή του πρωτοκόλλου στη φάση του σχεδιασμού και της υλοποίησης. Επιτυχημένα παραδείγματα περιλαμβάνουν το πρωτόκολλο https, το οποίο δεν απαιτεί την ανάπτυξη μιας υποδομής για τη διανομή των δημόσιων κλειδιών καθώς και το NAT, το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί από έναν διαδικτυακό πάροχο χωρίς να απαιτείται να πραγματοποιήσει σημαντικές αλλαγές στον εσωτερικό του δίκτυο. Αντιπαράδειγμα της συγκεκριμένης μεθοδολογίας αποτελεί το πρωτόκολλο του μελλοντικού διαδικτύου IPv6, καθώς απαιτεί σημαντικές

αλλαγές ευρείας κλίμακας, που επηρεάζουν το σύνολο των διαδικτυακών συσκευών.

Ο συνδυασμός αυτών των δύο βασικών παραγόντων οδηγεί στην ιδέα μιας σταδιακής διαδικασίας, όπου ο στόχος κάθε βήματος είναι να επιφέρει ένα μετρήσιμο όφελος για την ομάδα ή τις ομάδες που επενδύουν στην μετάβαση στο νέο πρωτόκολλο [8]. Έτσι, εμπορικά, και όχι τεχνικά, οι εκτιμήσεις θα πρέπει να καθορίσουν ποιό είναι το σωστό μέγεθος των αλμάτων που θα πραγματοποιούνται έτσι ώστε κάθε άλμα να προσθέτει επαρκή λειτουργικότητα και να καλύψει μια συγκεκριμένη ανάγκη και να αξιοποιήσει μία επιχειρηματική ευκαιρία. Εάν όλα τα βήματα είναι ίδια μεταξύ τους, θα πρέπει να υπάρχει μεγαλύτερο όφελος για αυτούς που προχώρησαν στην υιοθέτηση του πρωτοκόλλου νωρίτερα.

Ωστόσο, είναι πολύ πιθανό τα βήματα υιοθέτησης να είναι διαφορετικά, καθώς συνήθως κάθε πρωτόκολλο αναπτύσσεται και υιοθετείται στοχεύοντας σε ένα συγκεκριμένο σενάριο χρήσης και, εφ' όσον αποδειχθεί η χρησιμότητά του και διαστασιοποιηθούν οι ωφέλειες που προκύπτουν από αυτό, τότε επεκτείνεται η χρήση του.

Επιπρόσθετα, κάθε βήμα μπορεί να περιλαμβάνει διαφορετικές ομάδες χρηστών, όπως για παράδειγμα το πρωτόκολλο BitTorrent, το οποίο ενώ αρχικά υιοθετήθηκε από τους προγραμματιστές εφαρμογών (και τους τελικούς χρήστες τους) για τη μεταφορά πολύ μεγάλων αρχείων, αργότερα επεκτάθηκε σημαντικά σε άλλους τομείς, και έτσι προέκυψε η χρήση του στους παρόχους περιεχομένου, για την μεταφορά Online TV [8]. Έτσι το πλαίσιο διαχωρίζει τα αρχικά σενάρια από τα πιθανά σενάρια εξάπλωσης.

Σε κάθε βήμα της διαδικασίας σχεδιασμού πρωτοκόλλων που προτείνεται στο [8], χρειάζεται να πραγματοποιείται προσεκτική εξέταση στα οφέλη του πρωτοκόλλου και στη δυνατότητα σταδιακής εφαρμογής. Μια τέτοια εξέταση δεν είναι απαραίτητο να αναβάλλεται μέχρι τη στιγμή κατά την οποία το αρχικό σενάριο είναι έτοιμο να εφαρμοστεί: είναι δυνατόν να διεξαχθεί ένα «ιδεατό» πείραμα, εξετάζοντας μία περίπτωση χρήσης περιορισμένης έκτασης καθώς και το τελικό στάδιο, της ευρείας διάδοσης και υιοθέτησης του πρωτοκόλλου από τους τελικούς χρήστες. Όσο σαφέστερο και περισσότερο συγκεκριμένο είναι το ιδεατό πείραμα, τόσο μεγαλύτερες είναι οι πιθανότητες να αποκαλύψει παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη ώστε να οδηγηθούμε στη δημιουργία ενός επιτυχημένου πρωτοκόλλου.

Τέλος, σε κάθε βήμα το πλαίσιο κάνει διάκριση μεταξύ των εννοιών της ανάπτυξης, της θέσης σε λειτουργία και της υιοθέτησης [8]:

- Η *ανάπτυξη* αναφέρεται στη δημιουργία του κώδικα που θα υλοποιεί το νέο πρωτόκολλο. Η δημιουργία του κώδικα γίνεται από τους προγραμματιστές
- Η *θέση σε λειτουργία* αναφέρεται στη διαδικασία όπου το πρωτόκολλο εγκαθίσταται στον απαιτούμενο εξοπλισμό δικτύου και στους υπολογιστές των τελικών χρηστών
- Η *υιοθέτηση* εξαρτάται από τη θέση σε λειτουργία, ενσωματώνοντας το επιπλέον βήμα ότι το πρωτόκολλο πράγματι χρησιμοποιείται.

Για τον εξοπλισμό του δικτύου, η διάκριση μεταξύ της θέσης σε λειτουργία και της ανάπτυξης είναι ιδιαίτερα σημαντική, διότι εμπλέκονται διαφορετικοί συμμετέχοντες, όπως οι κατασκευαστές του εξοπλισμού, οι διαχειριστές δικτύων και οι τελικοί χρήστες, όπου κάθε ένας εκτελεί διαφορετικές λειτουργίες και έχει διακριτούς σκοπούς και κίνητρα [8].

Κάτω από ιδανικές συνθήκες, δε θα χρειαστεί περαιτέρω ανάπτυξη ή βελτιστοποίηση για την πρακτική εφαρμογή του πρωτοκόλλου στο ευρύτερο σενάριο, αν ληφθεί υπόψη ότι το λογισμικό του έχει ήδη αναπτυχθεί για το αρχικό σενάριο και είναι απλά ένα θέμα επέκτασης και υιοθέτησης αυτού σε ευρύτερη κλίμακα. Ίσως μια βελτιωμένη έκδοση του πρωτοκόλλου μπορεί να συμπεριλαμβάνει τις εμπειρίες οι οποίες αντλήθηκαν από την αρχική περίπτωση χρήσης. Ωστόσο, για ορισμένα πρωτόκολλα το ευρύτερο σενάριο απαιτεί επιπλέον κρίσιμη λειτουργικότητα - για παράδειγμα τα χαρακτηριστικά ασφαλείας, αν το αρχικό σενάριο είναι μέσα σε ένα αξιόπιστο τομέα. Επίσης, στο στάδιο του ευρύτερου σεναρίου, το όφελος για έναν που τις υιοθετεί είναι μεγαλύτερο όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των χρηστών που έχουν υιοθετήσει ήδη το πρωτόκολλο [8].

Διαδικασίες ελέγχου του νέου πρωτοκόλλου περιλαμβάνονται στο κάθε ένα από αυτά τα στάδια. Για παράδειγμα, οι κατάλληλοι ειδικοί θα αξιολογήσουν την εφαρμογή του νέου πρωτοκόλλου, οι πάροχοι που έχουν εγκαταστήσει το πρωτόκολλο στο δίκτυό τους θα ελέγξουν ότι λειτουργεί με επιτυχία, και οι χρήστες θα παραπονεθούν εάν θα το υιοθετήσουν και προκαλέσει οποιοδήποτε πρόβλημα.

Όταν υπάρχουν ανταγωνιστικές προτάσεις είναι σημαντικό να υπολογιστούν όλες οι παράμετροι που εισάγονται μέσα από το συγκεκριμένο μοντέλο ανάπτυξης. Σε διαφορετική περίπτωση, ένα εκ πρώτης όψεως ανώτερο πρωτόκολλο μπορεί να επιλεγεί, χωρίς όμως να διαθέτει άμεσα τη δυνατότητα να τεθεί σε λειτουργία. Μπορεί να είναι πιο συνετή λύση να τεθεί μία περιορισμένη έκδοσή του σε λειτουργία και τα πιο προηγμένα χαρακτηριστικά και δυνατότητές του να ενσωματωθούν σε μια μελλοντική, βελτιωμένη έκδοση.

5 Ποιοτικά χαρακτηριστικά δικτύωσης νέας γενιάς

5.1 Ασφάλεια

Μια πληθώρα καινοτόμων αρχιτεκτονικών έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία, οι οποίες επιδιώκουν την αντικατάσταση της βασικής οικογένειας πρωτοκόλλων του διαδικτύου με μια διαφορετική διαστρωμάτωση στην βασική δομή του Διαδικτύου. Ο αρχικός σχεδιασμός των νέων αρχιτεκτονικών επιτρέπει τον συνυπολογισμό βασικών θεμάτων που έχουν προκύψει στο σύγχρονο Διαδίκτυο εξαρχής. Όταν αυτές οι νέες προτάσεις αναπτυχθούν και υιοθετηθούν ως βασικό δομικό στοιχείο της υποδομής του δημόσιου Διαδικτύου, θα πρέπει να είναι σε θέση να λειτουργήσουν σε ένα εξαιρετικά εχθρικό περιβάλλον, όπου ένας μεγάλος αριθμός των χρηστών υποτίθεται ότι ενεργεί εναντίον του δικτύου ή εναντίον άλλων χρηστών. Έτσι, από τώρα ήδη σχεδιάζονται μορφές ασφάλειας για το μελλοντικό διαδίκτυο.

Μια από αυτές, που παρουσιάζεται στην εργασία [12], προτείνει μια μεθοδολογία ασφάλειας με χρήση της στοίβας δικτύου για τη δεδομενοκεντρική (data-centric) αρχιτεκτονική, η οποία αρχιτεκτονική ακολουθεί το μοντέλο δημοσίευσης-συνδρομής (publish-subscribe ή pub-sub). Η προτεινόμενη μεθοδολογία επιτυγχάνει τη διαθεσιμότητα και την ακεραιότητα των πληροφοριών και επιτρέπει την εφαρμογή ειδικών πολιτικών για την ασφάλεια, παραμένοντας ταυτόχρονα και επεκτάσιμη.

Η αρχιτεκτονική δημοσίευσης-συνδρομής του διαδικτύου αντιστρέφει τον έλεγχο μεταξύ του αποστολέα και του παραλήπτη. Με τον τρόπο αυτό, προσφέρει εγγενή ασφάλεια απέναντι σε κατανεμημένες επιθέσεις άρνησης

παροχής υπηρεσιών (Distributed Denial of Service DDoS), όπου ένας μεγάλος αριθμός κόμβων προσπαθούν να πλημμυρίσουν το δίκτυο του εκδότη (publisher) με ανεπιθύμητη κίνηση, ώστε να μην μπορεί να αντεπεξέλθει στις απαιτήσεις των χρηστών του.

Τα περισσότερα συστήματα δημοσίευσης-συνδρομής χρησιμοποιούν επικαλύψεις (overlays) πάνω από το πρωτόκολλο IP, αλλά ο απώτερος στόχος τους είναι να αντικαταστήσουν ολόκληρη τη σουίτα πρωτοκόλλων του διαδικτύου (Internet Protocol Suite) με ένα δικτυακό υπόστρωμα καθαρά προσανατολισμένο στο μοντέλο δημοσίευσης-συνδρομής [13]. Με αυτόν τον τρόπο επιτρέπονται νέοι τρόποι προστασίας της δικτυακής αρχιτεκτονικής με ένα πιο ουσιαστικό τρόπο συγκριτικά με τις υπάρχουσες λύσεις, καθώς το υπόστρωμα δεν μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί για να ξεκινήσει επιθέσεις τύπου DDoS ενάντια στους κόμβους του δικτύου.

Σύμφωνα με την εργασία [12], οι σχετιζόμενοι με την ασφάλεια στόχοι που η εργασία προσπαθεί να καλύψει είναι οι ακόλουθοι:

- Διαθεσιμότητα (availability) των υπηρεσιών και των δεδομένων, που σημαίνει ότι ο επιτιθέμενος δεν μπορεί να αποτρέψει την επικοινωνία μεταξύ ενός «νόμιμου» εκδότη και ενός κόμβου-συνδρομητή.
- Η ακεραιότητα των πληροφοριών, η οποία εγγυάται ότι η σύνδεση μεταξύ της ταυτότητας της δημοσίευσης και το περιεχόμενό της δεν μπορεί να είναι διαταραχθεί χωρίς αυτό να γίνει αντιληπτό από τον συνδρομητή.

- Εφαρμογή ειδικών πολιτικών για την ασφάλεια, που σημαίνει ότι η αρχιτεκτονική μπορεί να ενσωματώσει τις εξειδικευμένες πολιτικές ασφάλειας των διαφόρων τύπων των εφαρμογών.

Οι παραπάνω στόχοι πρέπει να μπορούν να επιτευχθούν, υπό τους περιορισμούς της διατήρησης της *ικανότητας κλιμάκωσης* και της *αποτελεσματικότητας*.

Στα δίκτυα δημοσίευσης-συνδρομής, όπως αυτά θεωρούνται στην εργασία [12], ο παραλήπτης εκφράζει το ενδιαφέρον του σε ορισμένα δεδομένα, τα οποία το δίκτυο επιστρέφει στη συνέχεια, όταν καταστούν διαθέσιμα. εκμεταλλευόμενο τις δυνατότητες πολυεκπομπής και προσωρινής αποθήκευσης. Πρέπει να τονιστεί ότι τα στοιχεία δεδομένων είναι δομημένα και είναι δυνατό να συνδεθούν με άλλα δεδομένα.

Μια αμετάβλητη συσχέτιση δημιουργείται ανάμεσα σε έναν *προσδιοριστή ραντεβού* (rendezvous identifier - RID) και μια τιμή δεδομένων που παράγεται από έναν εκδότη. Η συσχέτιση αυτή καλείται *δημοσίευση*. Σε κάποιο χρονικό σημείο, μια πηγή δεδομένων μπορεί να δημοσιεύει: τη δημοσίευση εντός ενός συνόλου από *εμβέλεις* (scopes). Κάθε εμβέλεια μπορεί να καθορίζει τις δικές της πολιτικές διανομής, όπως έλεγχο πρόσβασης, αλγόριθμο δρομολόγησης, ποιότητα υπηρεσίας, προσπελασιμότητα κ.λπ.

Παρά το γεγονός ότι το επίπεδο ελέγχου της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής, υλοποιεί τη λειτουργία των ραντεβού [14] και λειτουργεί αποκλειστικά και μόνο με τη χρήση του μοντέλου δημοσίευσης-συνδρομής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία της επικοινωνίας με τη

χρήση οποιοδήποτε είδος αφαίρεσης της λειτουργίας μεταφοράς στο επίπεδο των δεδομένων.

Κάτω από το επίπεδο ελέγχου, το δίκτυο αποτελείται από *τομείς* (domains), οι οποίοι ενθυλακώνουν πόρους, όπως επικοινωνιακούς συνδέσμους, αποθηκευτικό χώρο, επεξεργαστική ισχύ σε δρομολογητές, και πληροφορίες. Η έννοια του τομέα είναι εδώ πολύ γενική, και μπορεί να αναφέρεται γενικά σε διακρίσεις οποιουδήποτε βαθμού λεπτομέρειας, όπως οι συνιστώσες λογισμικού, ή οι μεμονωμένοι κόμβοι. Ορίζεται στη συνέχεια το «urgraph» ενός κόμβου, ως το σύνολο των δυνητικών πόρων οι οποίοι μπορεί να παρασταθούν με τη μορφή ενός χάρτη δικτύου που να περιλαμβάνει περιοχές και τη συνδεσιμότητά τους, και στους οποίους πόρους ο κόμβος διαθέτει ανεξάρτητη πρόσβαση με βάση την τοποθεσία και τις συμβάσεις μεταξύ του ιδίου και των παρόχων [12].

Οι σύνδεσμοι στα urgraphs αντιπροσωπεύουν πόρους οι οποίοι είναι δυνατό να περιοριστούν ώστε να αναπαριστούν μόνο λειτουργικότητα μεταφοράς ή λειτουργικότητα πρωτοκόλλων. Κάθε πρωτόκολλο μεταφοράς περιγράφει γενικά μια λειτουργικότητα επικοινωνίας, ενώ κάθε πραγματική με βάση αυτό το πρωτόκολλο επικοινωνία που καταναλώνει τους πόρους του δικτύου διαθέτει ένα *θέμα*, ένα *graphlet* και ένα *σύνολο από ρόλους*. Για παράδειγμα, αν εντάξουμε το πρωτόκολλο IP στη δικτυακή μας αρχιτεκτονική ως λειτουργικότητα μεταφοράς, οι ρόλοι των άκρων (endpoints) στη δεδομενοκεντρική προσέγγιση θα είναι: μια πηγή δεδομένων (*publisher*) και ο συνδρομητής (*subscriber*). Το *θέμα* προσδιορίζεται με ένα μοναδικό προσδιοριστή (RID)

και χρησιμοποιείται για να ταυτοποιεί τους δύο κόμβους της επικοινωνίας.

Ένα graphlet καθορίζει τους πόρους του δικτύου που χρησιμοποιούνται κατά τη μετάδοση των δεδομένων στην επικοινωνία και μπορεί να είναι οτιδήποτε, από την διαδρομή ενός πακέτου IP έως και ιδιωτικά εικονικά κυκλώματα. Μερικά πρωτόκολλα είναι δυνατό να απαιτήσουν ένα πρόσθετο στάδιο για δέσμευση ενός graphlet πριν τη μεταφορά των δεδομένων. Το graphlet συμμορφώνεται με τις πολιτικές μιας σειράς από εμβέλεις, οι οποίες είναι υπεύθυνες για ταίριασμα κόμβων σε στιγμιότυπα διαδράσεων λαμβάνοντας υπ' όψιν τις πολιτικές, για τη συλλογή των πληροφοριών προκειμένου να δημιουργηθεί μία από άκρο-σε-άκρο διαδρομή και για τον ορισμό περιορισμών πάνω στους πόρους του graphlet. Ένα graphlet συνδέει ένα σύνολο τελικών κόμβων, όπου ο καθένας από αυτούς, αναλαμβάνει ένα συγκεκριμένο ρόλο στη μεταφορά.

5.2 Θέματα διασύνδεσης δικτύων

Το Διαδίκτυο είναι δομημένο σε αυτόνομα συστήματα τα οποία διασυνδέονται μεταξύ τους. Αυτή η διασύνδεση διέπεται από συμφωνίες ανταλλαγής κίνησης που υπογράφονται μεταξύ των εταιρειών παροχής υπηρεσιών διαδικτύου (ISP) που διαχειρίζονται αυτά τα συστήματα. Οι συμφωνίες μεταξύ ομοτίμων περιλαμβάνουν τις τεχνικές και οικονομικές συνθήκες κάτω από τις οποίες πραγματοποιείται η διασύνδεση. Μέσα σε αυτές τις συνθήκες, συνήθως υπάρχουν συμφωνίες επιπέδου υπηρεσίας (Service Level Agreements - SLAs), οι οποίες τυπικά είναι σημαντικό μέρος της διαπραγμάτευσης που αφορά τις συμφωνίες για την ανταλλαγή της κίνησης. Από τη στιγμή

που η ποιότητα υπηρεσίας είναι ένα από τα πιο σημαντικά συστατικά οποιασδήποτε SLA, ανάλογη αναφορά γίνεται και για την εξέλιξη της ποιότητας υπηρεσίας στο μελλοντικό διαδίκτυο [15].

Πριν προχωρήσουμε στην περαιτέρω ανάπτυξη, ας αποσαφηνίσουμε τι είναι ένας τομέας δικτύου (domain). Διαισθητικά, η έννοια του τομέα στον κόσμο δικτύωσης είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την διαδικασία κατάτμησης και των συνόρων. Επίσης, έχει ισχυρές βάσεις σχετικές με θέματα επιχειρηματικά, διοικητικά, ακόμη και νομικά. Ένας τομέας μπορεί περαιτέρω να εξειδικευτεί μέσω ενός συνόλου από μία ή περισσότερες ιδιότητες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν την πλειονότητα των οντοτήτων που απαρτίζουν του τομέα. Παραδείγματα τέτοιων είναι οι εξής [15]:

- τεχνολογία (π.χ. τεχνολογία δικτύου πρόσβασης).
- πρωτόκολλα (π.χ. πρωτόκολλο δρομολόγησης).
- μηχανισμούς (π.χ. παροχή QoS).
- το όνομα και τον χώρο διευθύνσεων (π.χ. Ethernet, IPv4, IPv6, E.164).
- οργανωτικές και επιχειρηματικές πολιτικές (κοινός ιδιοκτήτης, πάροχος, αρχές τιμολόγησης, κ.λπ.).

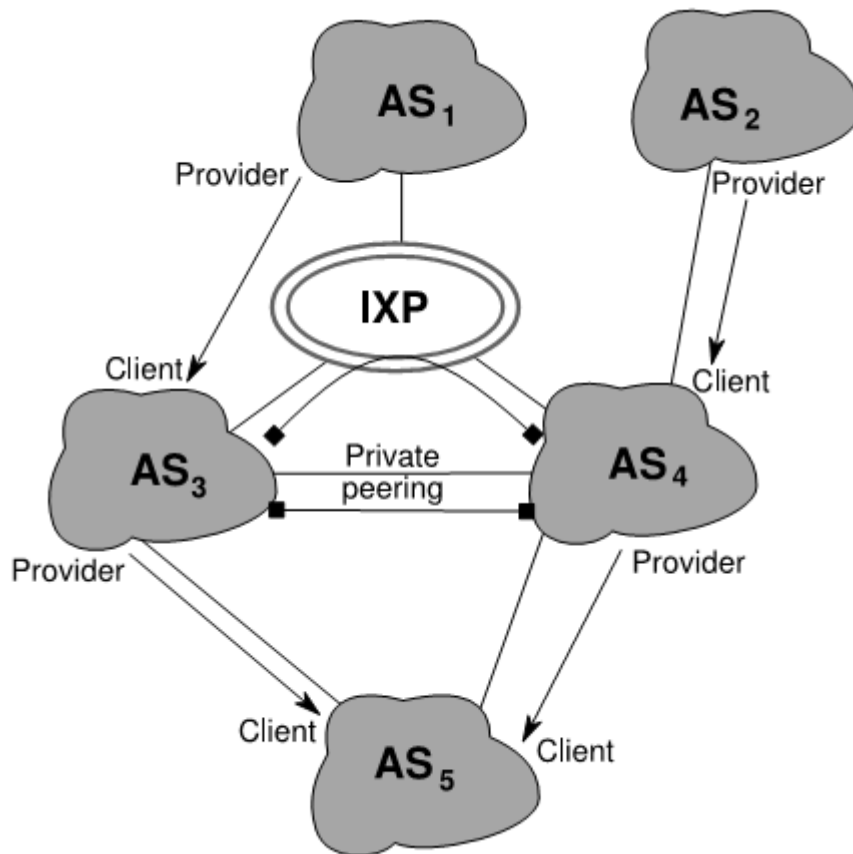
Αυτοί είναι μερικοί από τους λόγους για τους οποίους ο κάθε τομέας είναι περιορισμένος. Αν και η ανωτέρω κατηγοριοποίηση θα μπορούσε να οδηγεί σε μια ιεραρχία (με την έννοια της «απλής δενδρικής δομής»), αυτό δεν αποτελεί τον κανόνα. Κάθε στοιχείο δικτύου είναι υπό κανονικές συνθήκες μέρος πολλών τομέων οι οποίοι έχουν διαφορετικούς τύπους. Επιπροσθέτως, πρέπει να σημειωθεί ότι η έννοια ενός τομέα έχει κατά βάση αναδρομικό

χαρακτήρα, δηλαδή ένας τομέας μπορεί να αποτελείται από άλλους υπο-τομείς, καθώς και να ανήκει σε κάποιον υπερ-τομέα.

Το διαδίκτυο είναι χωρισμένο σε τομείς, οι οποίοι, εν γένει, αποτελούν αυτόνομα συστήματα. Οι τομείς αυτοί διασυνδέονται μεταξύ τους, αξιοποιώντας από τεχνική σκοπιά, ανταλλαγή πληροφοριών δρομολόγησης βάσει του πρωτοκόλλου Border Gateway Protocol (BGP-4). Εξετάζοντας το πρόβλημα από νομική ή επιχειρηματική άποψη, η διασύνδεση των τομέων στο Διαδίκτυο διέπεται από συμφωνίες ανταλλαγής κίνησης που έχουν υπογράψει μεταξύ οι πάροχοι υπηρεσιών διαδικτύου. Οι συμφωνίες καθορίζουν τις τεχνικές και οικονομικές συνθήκες κάτω από τις οποίες η διασύνδεση λαμβάνει χώρα.

Οι πάροχοι υπηρεσιών διαδικτύου έχουν δημιουργήσει μια κατάταξη μεταξύ τους, η οποία αντανακλά τη σημασία τους, όσον αφορά τη γειτνίαση με τον βασικό πυρήνα του Διαδικτύου, τους επονομαζόμενους παρόχους επιπέδου 1 (tier 1). Πέρα από αυτούς, υπάρχουν διαφορετικά επίπεδα παρόχων μερικώς διασυνδεδεμένα μεταξύ τους ώστε τελικά να παρέχουν πλήρη πρόσβαση στο διαδίκτυο στους τελικούς χρήστες. Ενώ μεταξύ των παρόχων επιπέδου 1 υπάρχει πλήρης ανταλλαγή πληροφοριών δρομολόγησης, στα υπόλοιπα επίπεδα, κατά κανόνα κυριαρχούν πολύπλοκα δίκτυα σχέσεων μεταξύ των ανεξάρτητων συστημάτων που διασυνδέονται. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 6, υπάρχουν δύο βασικές σχέσεις μεταξύ των ανεξάρτητων συστημάτων:

1. Σχέση Πελάτη – παρόχου
2. Ομότιμη σχέση



Εικόνα 6: Σχέσεις μεταξύ των ανεξάρτητων δικτύων (αυτόνομα συστήματα - AS) στο διαδίκτυο [15]

Αυτές οι σχέσεις μεταξύ των αυτόνομων συστημάτων αντανακλούν τις εμπορικές σχέσεις τους και το πώς πραγματοποιείται η ανταλλαγή κίνησης μεταξύ τους. Τα ομότιμα συστήματα ανταλλάσσουν πληροφορίες δρομολόγησης που αφορούν τον εαυτό τους και τους πελάτες τους. Στην ακραία περίπτωση των αυτόνομων συστημάτων που βρίσκονται στο επίπεδο 1, αυτό συνεπάγεται την πλήρη ανταλλαγή των πινάκων δρομολόγησης. Αντίθετα, τα ανεξάρτητα συστήματα που βρίσκονται σε υψηλότερο επίπεδο ακολουθούν συνήθως το ακόλουθο σύνολο κανόνων:

1. Αποστολή του συνόλου της κίνησης που προορίζεται για τους πελάτες απευθείας σε αυτούς

2. Αποστολή του συνόλου της κυκλοφορίας που κατευθύνεται προς τους ομότιμους εταίρους και τους πελάτες τους (τους πελάτες δηλαδή των ομοτίμων εταιρών) απευθείας στους ομότιμους εταίρους
3. Αποστολή της υπόλοιπης της κυκλοφορίας στους παρόχους.

Οι κανόνες αυτοί μεταφράζονται σε πολιτικές δρομολόγησης που πρέπει να προγραμματιστούν στους κεντρικούς δρομολογητές του διαδικτύου, προκειμένου να ελέγξουν την κατά BGP-4 ανταλλαγή πληροφοριών. Αυτή η παρεμβολή στην φυσική συμπεριφορά του πρωτοκόλλου έχει σοβαρές παρενέργειες στα χαρακτηριστικά του που αφορούν τη σύγκλιση των διαδρομών που παράγει.

Στην αρχή, τα αυτόνομα δίκτυα είχαν διασυνδεθεί χρησιμοποιώντας γραμμές τύπου σημείο-προς-σημείο που εξελίσσονται σε δέσμες γραμμών σημείου-προς-σημείο, καθώς η κίνηση μεγαλώνει. Τελικά οι δέσμες αυτές άρχισαν να αντικαθιστώνται από άλλες γραμμές σημείο-προς-σημείο με μεγαλύτερη χωρητικότητα και όταν η κίνηση ανήλθε πάνω από ορισμένα όρια, νέες δέσμες εισήχθησαν ξανά, και ούτω καθεξής. Η εξέλιξη αυτή ήταν ευπρόσδεκτη από τους τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς, αλλά όχι από τους ISP. Το κόστος της διασύνδεσης δεν περιλαμβάνει μόνο το κόστος μεταφοράς. Ένα βασικό συστατικό στις ομότιμες συμφωνίες μεταξύ ISPs είναι η διαδικασία χρέωσης για τα δεδομένα που ανταλλάσσονται μεταξύ τους.

Το Internet Exchange Point (IXP) ιδέα γεννήθηκε ως ένα μέσο για τους ISP να μειώσουν το κόστος διασύνδεσης. Αντί της μίσθωσης πολλών μακράς απόστασης γραμμών, οι ISP δημιουργούν μικρότερες συνδέσεις σε μια κοινή

υποδομή, συνεπώς οι ISP θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τα IXPs για να ανταλλάσσουν κίνηση σε μια δίκαιη βάση. Στην Ελλάδα, πρωτοδημιουργήθηκε το Athens Internet eXchange (AIX) στους χώρους του ΟΤΕ με ταχύτητες μέχρι 100 Mbps, ενώ σήμερα λειτουργεί από το ΕΔΕΤ το Greek Internet eXchange (GRIX) με ταχύτητες άνω των 10 Gbps.

Δεδομένου ότι οι κινητές υπηρεσίες δεδομένων άρχισαν να αποκτούν ιδιαίτερη ανταπόκριση από το κοινό και οι κινητές/φορητές συσκευές άρχισαν να κερδίζουν μερίδιο αγοράς, οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας έχουν αρχίσει πλέον να αποκτούν ενεργό ρόλο και στο κομμάτι αυτό.

Η GSM Association (GSMA) αναγνώρισε την ανάγκη να παρέχεται ένας αποτελεσματικός τρόπος για την υποστήριξη των υπηρεσιών περιαγωγής δεδομένων για τους χρήστες με λογικό κόστος. Δύο μοντέλα προέκυψαν για τη διασύνδεση δεδομένων από κινητές/φορητές συσκευές: η περιαγωγή GSM Exchange (GRX) και την IP Packet Exchange (IPX). Και οι δύο ορίζονται στη σύσταση GSMA IR.34 [16]. Η GRX αποτελεί εξέλιξη του μοντέλου διασύνδεσης στο διαδίκτυο, προκειμένου να παρασχεθούν υπηρεσίες περιαγωγής δεδομένων για τους χρήστες κινητών. Τα συστήματα GRX διασυνδέουν τα δίκτυα κορμού των παρόχων κινητής δικτύωσης IP, υποστηρίζοντας την περιαγωγή στο Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών. Παρέχουν ένα κεντριοποιημένο και δρομολογούμενο βάσει IP δίκτυο για τη διασύνδεση δικτύων GPRS και UMTS. Αυτό το βασικό μοντέλο μπορεί να θεωρηθεί ως ένα παράλληλο διαδίκτυο για τους χρήστες κινητών. Η GRX παρέχει τις βασικές λειτουργίες σε μια υποδομή IP, όπου η ποιότητα

υπηρεσίας ακολουθεί τη λογική της «καλύτερης προσπάθειας» (Best Effort - BE).

Η πρόκληση του μοντέλου GRX είναι να παρέχει ένα συνεπές επίπεδο υπηρεσιών, σε ό,τι αφορά την ποιότητα υπηρεσίας και το κόστος, προκειμένου να βελτιωθεί η εμπειρία του χρήστη τόσο κατά τη χρήση του βασικού δικτύου σύνδεσής του, όσο και όταν αυτός συνδέεται μέσω άλλων δικτύων. Σε σύγκριση με την αμιγή διασύνδεση IP, και με το μοντέλο GRX, το μοντέλο IPX παρέχει μία υποδομή που υλοποιεί τη διαλειτουργικότητα των υπηρεσιών.

Όλα τα μοντέλα διασύνδεσης που περιγράφονται ανωτέρω έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό. Μπορούν να θεωρηθούν οριζόντιες διασυνδέσεις, με την έννοια ότι καθορίζουν τη διασύνδεση των ισοδύναμων υποδομών σε ισοδύναμα στρώματα στη στοίβα πρωτοκόλλου. Η μοναδική ιεραρχική σχέση που θα μπορούσε να βοηθήσει στον εντοπισμό μιας κάθετης διασύνδεσης ανάμεσα σε δύο δίκτυα ή παρόχους δικτύου, είναι η σχέση παρόχου-πελάτη. Λαμβάνοντας υπόψη ότι προηγμένα χαρακτηριστικά, όπως η ριζική εικονικοποίηση, η διάθεση στοιβών πρωτοκόλλων με τη μορφή plug-ins και τα εξαιρετικά ετερογενή δίκτυα πρόκειται να είναι ένα ουσιαστικό συστατικό του μελλοντικού διαδικτύου, καθίσταται φανερό ότι απαιτείται ένα μοντέλο διασύνδεσης που να είναι πιο ευέλικτο σε σχέση με το μοντέλο διασύνδεσης του σημερινού διαδικτύου. Οι απαιτήσεις για το μοντέλο αυτό διερευνηθούν στη συνέχεια. Τα προβλήματα αυτά παρουσιάζονται με τις προτάσεις και τις εξελίξεις στο έργο 4WARD [15].

Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι η διαδικτύωση ετερογενών δικτύων είναι απαραίτητη, πέρα από την εισαγωγή εξειδικευμένων αρχιτεκτονικών στοιχείων που θα υλοποιήσουν τη λειτουργία της διαδικτύωσης, είναι απαραίτητο να οριστούν βασικές αρχές διαδικτύωσης προκειμένου να διασφαλιστεί μια ομαλή και αποδοτική διαδικασία θέσης σε λειτουργία. Στο έργο 4WARD [15], όπου το περιβάλλον του δικτύου είναι ετερογενές, η διαλειτουργικότητα διασφαλίζει ότι τα μέσα για να αντιμετωπισθεί η ετερογένεια είναι διαθέσιμα, παρέχοντας εγγυήσεις ότι οι εφαρμογές θα τρέχουν ικανοποιητικά από άκρο σε άκρο. Η ετερογένεια μπορεί να εντοπίζεται σε πολλά διαφορετικά σημεία καθώς και σε επίπεδα της δικτύωσης. Η εμβέλεια και η εστίαση της διαλειτουργικότητας μπορεί ενδεχομένως να προσαρμοστεί σε διαφορετικά δίκτυα, καθώς και το ζήτημα της επίτευξης της διαλειτουργικότητας μεταξύ αυτών των δικτύων ανάγεται στην παροχή των κατάλληλων διεπαφών στα μεταξύ τους όρια. Σε ό,τι αφορά το Μελλοντικό διαδίκτυο, τα δίκτυα μπορεί να μην έχουν μόνο τη διασύνδεση όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, αλλά και διασύνδεση σε επίπεδο χρηστών-παρόχων όπου τα «στρώματα» του δικτύου (ή μάλλον η λειτουργικότητά τους) σχηματίζουν μία στοίβα, χρησιμοποιώντας μία κοινή φυσική υποδομή.

Για να υποστηρίξει τη διαλειτουργικότητα και να διασφαλίσει ότι οι εφαρμογές μπορούν να λειτουργούν απρόσκοπτα από άκρη σε άκρη με εγγυήσεις επιδόσεων, το έργο 4WARD προσδιόρισε τις ακόλουθες αρχές διαλειτουργικότητας [15]:

1. *Τα χαρακτηριστικά των εφαρμογών θα πρέπει να διατηρούνται στα όρια μεταξύ των δικτύων. Στο*

μελλοντικό Διαδίκτυο μπορεί να προβλεφθεί ένα ευρύ σύνολο εφαρμογών και υπηρεσιών, το καθένα με τις δικές του απαιτήσεις (παραμέτρους απόδοσης του δικτύου, περιορισμούς ασφαλείας, κ.λπ.). Με τον ίδιο τρόπο που θεωρείται δεδομένο ότι κάθε δίκτυο και δίκτυο διέλευσης παρέχει και υλοποιεί τις απαραίτητες ιδιότητες, τις λειτουργίες και τεχνολογίες για την κατάλληλη υποστήριξη εφαρμογών, έτσι και τα σύνορα του κάθε τομέα δεν πρέπει να θέτουν σε κίνδυνο τα χαρακτηριστικά της εφαρμογής, υποβαθμίζοντάς τα κάτω από ένα επίπεδο που θεωρείται ικανοποιητικό από τους χρήστες της εφαρμογής, ώστε να διατηρηθούν τα επιθυμητά από άκρο σε άκρο χαρακτηριστικά της. [15]

2. *Τα όρια του δικτύου θα πρέπει μόνο να διατηρούν μόνο τα χαρακτηριστικά για συγκεκριμένες εφαρμογές που η εκτέλεσή τους τέμνει τα σύνορα του δικτύου.* Προκειμένου να εξασφαλιστεί η διατήρηση των χαρακτηριστικών της εφαρμογής στην διαδρομή από άκρη ως άκρη, τα ενδιάμεσα δίκτυα θα συμφωνήσουν εκ των προτέρων σε σχέση με τα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να διατηρηθούν για κάθε εφαρμογή (και το κόστος) και θα ρυθμίσουν τα σύνορα του κάθε τομέα ή δικτύου ανάλογα κατά τη φάση της διαπραγμάτευσης. Η εγγύηση θα παρέχεται μόνο ως προς τα χαρακτηριστικά των εφαρμογών που γνωρίζουν εκ των προτέρων. Οι υπόλοιπες εφαρμογές (δηλαδή αυτές που διαθέτουν νέα χαρακτηριστικά, τα οποία δεν ήταν γνωστά) δεν θα εμποδίζονται, απλώς δεν διατηρούνται τα χαρακτηριστικά τους, καθώς καμία διαπραγμάτευση

δεν έχει γίνει γι' αυτά. Η συγκεκριμένη επιλογή συνάδει με τα επιχειρηματικά πρότυπα που διέπουν το Διαδίκτυο [15].

3. Τα χαρακτηριστικά των εφαρμογών επιβάλλεται να κωδικοποιούνται στα όρια του δικτύου ρητώς, με γενικό τρόπο και με κοινή αναπαράσταση. Τα ποικιλόμορφα σύνολα χαρακτηριστικών των εφαρμογών θα πρέπει να μοντελοποιηθούν με ένα γενικό σύνολο χαρακτηριστικών, για να αποφευχθεί η άμεση εξάρτηση μιας εφαρμογής από άλλες, καθώς και για λόγους επεκτασιμότητας και αποφυγής πολυπλοκότητα όταν νέες εφαρμογές θα εμφανιστούν. Ενδεικτικά, τέτοια γενικά χαρακτηριστικά μπορεί να είναι η συνολική καθυστέρηση, η διακύμανση της καθυστέρησης, η προστασία της ιδιωτικότητας, και η απώλεια πακέτων. Ως εκ τούτου, οι αιτήσεις θα πρέπει να ομαδοποιηθούν σε τύπους εφαρμογών ή κλάσεις υπηρεσιών (π.χ. κλάση υπηρεσιών με απαιτήσεις πραγματικού χρόνου, κλάση εφαρμογών ροής δεδομένων (streaming), αντί θεώρησης μεμονωμένων εφαρμογών π.χ. Skype, Messenger, YouTube ή συγκεκριμένες εφαρμογές που δίνει ο κάθε πάροχος). Η ρητή, γενική και κοινή κωδικοποίηση αποφεύγει τις εξαρτήσεις από συγκεκριμένες τεχνολογικές λύσεις, και πρότυπα. Η ίδια κωδικοποίηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και εντός των δικτύων. Οι τελικοί χρήστες θα επωφεληθούν επίσης από την αρχή αυτή, δεδομένου ότι δεν θα χρειαστεί να προσαρμόσουν τις προδιαγραφές της εφαρμογής τους στο δίκτυο που

χρησιμοποιούν, δεδομένου ότι η περιγραφή θα είναι κοινώς κατανοητή από όλους τους τομείς που παρέχουν εγγυήσεις για τέτοιου είδους εφαρμογή. Αυτό επιτρέπει στους τελικούς χρήστες να απολαμβάνουν εγγυημένα χαρακτηριστικά και επιδόσεις, ανεξάρτητα από το δίκτυο που χρησιμοποιούν [15].

4. Κάθε όριο του δικτύου θα πρέπει να παρέχει τις αναγκαίες ικανότητες και τα μέσα για να εξυπηρετήσει τα δίκτυα που συνδέονται μέσω αυτού. Προκειμένου να διατηρηθούν τα χαρακτηριστικά των εφαρμογών σε όλη τη διαδρομή από άκρο σε άκρο, η σύνθεση (composability) μεταξύ διαφορετικών δικτύων είναι απαραίτητη. Σε γενικές γραμμές, τα δίκτυα θα πρέπει να είναι σε θέση να δημιουργήσουν δυναμικά ένα ικανοποιητικό επίπεδο εμπιστοσύνης, και να διαπραγματευθούν SLA (συμφωνίες επιπέδου υπηρεσιών) που ρυθμίζει τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε ένα από τα συμμετέχοντα δίκτυα οι πόροι και οι υπηρεσίες [15].

Προκειμένου να ξεπεραστούν οι υπάρχοντες περιορισμοί που οφείλονται στην αρχιτεκτονική, απαιτούνται νέα μοντέλα ομοτίμων σχέσεων. Το τρέχον μοντέλο προβλέπει δύο κύριους τύπους ομοτίμων σχέσεων: οριζόντια και κάθετη. Οι όροι αυτοί αφορούν τόσο τις σχέσεις μεταξύ επιχειρήσεων όσο και τις ιεραρχικές θέσεις στο Διαδίκτυο. Σύμφωνα με αυτά, τα ομότιμα αυτόνομα δίκτυα εγκαθιδρύουν μία οριζόντια ομότιμη σχέση για να ανταλλάξουν πληροφορία, ενώ στη σχέση πελάτη-πάροχου τα δίκτυα δημιουργούν μια κάθετη ομότιμη σχέση. Ωστόσο,

στο Διαδίκτυο του μέλλοντος, αυτό το μοντέλο θα πρέπει να επεκταθεί για λόγους ευελιξίας [15].

Οι τομείς στο διαδίκτυο του μέλλοντος σύμφωνα με το 4WARD, αποτελούνται από διαφορετικά στρώματα, τα οποία ελέγχονται από τα δύο κατακόρυφα στρώματα (Εικόνα 1). Τα στρώματα είναι σύνολα λογικών κόμβων που είναι συνδεδεμένοι και ενσωματώνουν λειτουργίες που παρέχονται μέσω των κόμβων. Αυτές οι λειτουργίες που παρέχονται σε άλλα στρώματα μέσω δύο διεπαφών [15]:

- Τη διασύνδεση *σημείου υπηρεσίας στρώματος* (Service Stratum Point - SSP) η οποία παρέχει τις υπηρεσίες στα άλλα στρώματα που βρίσκονται στο ακριβώς επάνω ή κάτω στρώμα στον ίδιο τομέα.
- Τη διασύνδεση *σημείου πύλης στρώματος* (Service Gateway Point - SGP) η οποία προσφέρει διασύνδεση με άλλα στρώματα του ίδιου τύπου.

Έτσι, τα στρώματα επικοινωνούν με τον έξω κόσμο μέσω του SGP, ενώ εντός του τομέα επικοινωνούν χρησιμοποιώντας την SSP. Με τον ορισμό αυτό κατά νου, καθορίζονται τρεις τύπους ομοτιμίας [15]:

1. *Κάθετη ομότιμη σχέση μέσω της SSP*, η οποία παρέχει διαλειτουργικότητα μεταξύ των στρωμάτων εντός ενός τομέα.
2. *Οριζόντια ομότιμη σχέση μέσω του SGP*, η οποία παρέχει διασύνδεση μεταξύ των τομέων, όταν επικοινωνούν λειτουργικά ισοδύναμα στρώματα σε διαφορετικούς τομείς

3. *Εγκάρσιες ομότιμες σχέσεις*, η οποία υλοποιεί τη διασύνδεση λειτουργικά διαφορετικών στρωμάτων που ανήκουν σε διαφορετικούς τομείς.

Αν το στρώμα υλοποιείται με τη χρήση Netlets, η διαλειτουργικότητα υλοποιείται στα εξειδικευμένα Interop netlets. Η πολυπλοκότητα των Interop Netlets είναι απαραίτητη προκειμένου να μεσολαβήσουν μεταξύ ομοειδών ή ακόμη και διαφορετικών αρχιτεκτονικών δικτύου και ως εκ τούτου πρέπει να είναι έτοιμα να εφαρμόσουν διάφορες λειτουργίες σχετικές με τη διαλειτουργικότητα [15].

5.3 Θέματα ποιότητας υπηρεσίας

Η ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service - QoS) θα αποτελέσει βασική έννοια στην εξέλιξη του Διαδικτύου. Σημαντικές εφαρμογές και νέες καινοτόμες τεχνολογίες, όπως η υπολογιστική νέφους (cloud computing), εξαρτώνται σημαντικά από την ποιότητα υπηρεσίας [15].

Τα θέματα που σχετίζονται με την ποιότητα υπηρεσίας θα είναι πιθανότατα διαρκώς μεταβαλλόμενα. Η ποιότητα υπηρεσίας μέχρι τώρα έχει αποδειχθεί ένας «κινούμενος στόχος», ανάλογα με τις υπηρεσίες και εφαρμογές, καθώς και τα χαρακτηριστικά της υποδομής του δικτύου, και κατά πάσα πιθανότητα το ίδιο θα συνεχίσει να ισχύει και στο μέλλον. Καθώς το διαδίκτυο θα εξελίσσεται, θα δημιουργηθούν νέες προσεγγίσεις στον χειρισμό της ποιότητας υπηρεσίας και νέες προκλήσεις και απαιτήσεις είναι βέβαιο ότι θα προκύψουν [15].

Για σειρά ετών, η ποιότητα υπηρεσίας αντιπροσωπεύει μία από τις πιο ενεργές περιοχές στην έρευνα της δικτύωσης. Το κύριο αποτέλεσμα αυτής της προσπάθειας

είναι μια *εργαλειοθήκη*, ή μια σειρά από δομικά στοιχεία, την οποία οι πάροχοι δικτύου μπορούν να συνδυάζουν και να χρησιμοποιούν για να ολοκληρώσουν τις ειδικές απαιτήσεις παροχής υπηρεσιών [15].

Μέχρι σήμερα, δεν έχει υλοποιηθεί κάποια καθολική από άκρο-σε-άκρο λύση για την παροχή υπηρεσιών με διασφαλισμένη ποιότητα σε μεγάλης κλίμακας ετερογενή δίκτυα και είναι αμφίβολο ότι μία τέτοια λύση θα είναι ποτέ εφικτή. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην αποκεντρωμένη φύση του διαδικτύου, στην απουσία αρχής υπεύθυνης για τη διαχείριση του Διαδικτύου σε παγκόσμιο επίπεδο και στην απουσία μιας κοινής πολιτικής για τη διαχείριση των πόρων σε ετερογενή δίκτυα. Από τη σκοπιά του τελικού χρήστη, η αντιληπτή ποιότητα υπηρεσίας θα είναι πάντα στο επίπεδο «από άκρο ως άκρο» και θα εξαρτάται από το αθροιστικό αποτέλεσμα των επιμέρους πολιτικών που εφαρμόζουν τα επιμέρους δίκτυα [15].

Έχει επίσης καταστεί σαφές ότι οι δείκτες της ποιότητα υπηρεσίας από μόνοι τους δεν αντικατοπτρίζουν απαραίτητα την ποιότητα των υπηρεσιών η οποία γίνεται αντιληπτή από τους χρήστες. Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητη μία πρόσθετη έννοια για να περιγραφεί σωστά η οπτική γωνία του χρήστη: η νέα αυτή έννοια καλείται συνήθως δείκτης *ποιότητας εμπειρίας* (Quality of Experience - QoE) και υποτίθεται ότι παρέχει ένα υποκειμενικό μέτρο της εμπειρίας του χρήστη. Σε σύγκριση με την ποιότητα υπηρεσίας, η ποιότητα εμπειρίας έχει ευρύτερο πεδίο εφαρμογής, δεδομένου ότι λαμβάνει υπόψη κάθε στοιχείο που ενδεχομένως συμβάλλει στην ικανοποίηση των χρηστών και τελικά καθορίζει την προσλαμβανόμενη από τους χρήστες αξία της υπηρεσίας

αναφορικά με χαρακτηριστικά όπως η ευελιξία, η κινητικότητα, η ασφάλεια ή το κόστος. Η ποιότητα υπηρεσίας σε σενάρια που περιλαμβάνουν πάνω από έναν δικτυακούς τομείς εξακολουθεί να αποτελεί πρόκληση σήμερα και εκτιμάται ότι θα εξακολουθήσει να αποτελεί πρόκληση στο μελλοντικό διαδίκτυο, όπου θα υπάρχουν πιθανότατα πρόσθετες προκλήσεις [15].

Οι μηχανισμοί ποιότητας υπηρεσίας και τα σχετικά εργαλεία επιβάλλεται να επανεξεταστούν υπό το πρίσμα των νέων εννοιών της δικτύωσης. Το μελλοντικό διαδίκτυο αναμένεται να υποστηρίξει μια πληθώρα εφαρμογών και υπηρεσιών, με ένα πολύ ευρύ φάσμα χαρακτηριστικών και απαιτήσεων. Η αιτιοκρατική απόδοση, συχνά συμπεριλαμβάνεται στη λίστα επιθυμητών χαρακτηριστικών του μελλοντικού διαδικτύου, ωστόσο η επίτευξή της είναι εξαιρετικά δύσκολη, καθώς είναι ιδιαίτερα μεγάλος ο αριθμός των παραγόντων που εμπλέκονται και παράλληλα είναι πιθανό να εισάγονται στοχαστικά φαινόμενα σε διάφορα τμήματα [15].

Από την άλλη πλευρά, είναι ευρέως διαδεδομένη η πεποίθηση ότι η υπερβολική αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου είναι από μόνη της επαρκής ώστε να εξασφαλίζεται αποδεκτή ποιότητα υπηρεσίας στις περισσότερες περιπτώσεις, παρακάμπτοντας έτσι την ανάγκη να χρησιμοποιούνται περίπλοκοι και δαπανηροί μηχανισμοί ποιότητας υπηρεσίας. Ωστόσο, η υπερβολική αφθονία του δικτύου δεν μπορεί να θεωρείται δεδομένη, είτε για οικονομικούς λόγους, ή για εγγενείς τεχνολογικούς περιορισμούς (π.χ. διαθεσιμότητα φάσματος στα ασύρματα δίκτυα). Επίσης, ακόμη και στις περιπτώσεις κατά τις οποίες η παροχή πλεοναστικών πόρων είναι μια εφικτή

λύση, η πιθανότητα της συμφόρησης σε κάποιο σημείο του δικτύου δεν μπορεί να μηδενιστεί, και μπορεί στην πραγματικότητα να προκύψει ως αποτέλεσμα από πολλές πιθανές αιτίες, όπως κακόβουλες ενέργειες (π.χ. κατανεμημένες επιθέσεις άρνησης παροχής υπηρεσιών), εποχική αύξηση της κυκλοφορίας στο δίκτυο λόγω δημοφιλούς περιεχόμενου, ανακατανομή της κυκλοφορίας που προκαλείται από την αποτυχία του δικτύου, ή ακόμα και διακυμάνσεις του όγκου της κυκλοφορίας σε ένα σύνδεσμο, ως αποτέλεσμα της κανονικής στοχαστικής συμπεριφοράς. Επίσης, είναι ένα ιστορικά επαληθεύσιμο γεγονός ότι η αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου τείνει να συνοδεύεται από μια αντίστοιχη αύξηση στη ζήτηση εύρους ζώνης χρήστες [15].

Καθώς η παροχή πλεοναστικών πόρων δεν είναι καθ' εαυτή η απάντηση στο πρόβλημα της ποιότητας υπηρεσίας, είναι σαφές ότι θα απαιτηθεί στο μελλοντικό διαδίκτυο κάποια μορφή ελέγχου ποιότητας υπηρεσίας. Για τους παρόχους, η εφαρμογή των τεχνικών ποιότητας υπηρεσίας σε μεγάλη κλίμακα δεν είναι μία απλή υπόθεση και θεωρείται συχνά ως ένα κόστος, το οποίο πολλοί φορείς εκμετάλλευσης θα προτιμούσαν να αποφύγουν, ή τουλάχιστον να ελαχιστοποιήσουν. Πολλοί διαχειριστές δικτύου επιλέγουν να μην ενεργοποιήσουν μηχανισμούς ποιότητας υπηρεσίας στα δίκτυά τους, επειδή αυτοί είναι δύσκολο να ρυθμιστούν σωστά, ενώ παράλληλα απαιτούν την πλήρη κατανόηση των εξαιρετικά πολύπλοκων μηχανισμών που βρίσκονται πίσω από τη δυναμική της κίνησης [15].

Σε αυτό το σενάριο η «διαχείριση εντός του δικτύου» (In Network Management - INM) αποτελεί ένα πολλά

υποσχόμενο εργαλείο για την απλούστευση και τη βελτίωση των μηχανισμών διαχείρισης ποιότητας υπηρεσίας. Η «διαχείριση εντός του δικτύου» ξεπερνά τους παραδοσιακούς περιορισμούς διαχείρισης του δικτύου μέσω της παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο των λειτουργιών του δικτύου και της αυτοματοποιημένης διαχείρισης. Η «διαχείριση εντός του δικτύου» μπορεί να υποστηρίξει την προσαρμογή και την αυτορρύθμιση των μεγάλης κλίμακας δικτύων, σύμφωνα με εξωτερικά γεγονότα και τους περιορισμούς χαμηλού κόστους λειτουργίας. Οι δυνατότητες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απλοποίηση της διαχείρισης της ποιότητας υπηρεσίας τοποθετώντας τις διαδικασίες χειρισμού της ποιότητας υπηρεσίας στο ίδιο το δίκτυο και διαμοιράζοντας τη λογική διαχείρισης της ποιότητας υπηρεσίας σε όλους τους κόμβους. Στη «διαχείριση εντός του δικτύου», η αρχιτεκτονική του κάθε κόμβου δικτύου περιέχει μία λειτουργική συνιστώσα διαχείρισης ποιότητας υπηρεσίας (το QoS dmFC), η οποία χειρίζεται όλες τις λειτουργίες που σχετίζονται με τη διασφάλιση ενός συγκεκριμένου επιπέδου ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών προς τους χρήστες. Η συνιστώσα λαμβάνει υπ' όψιν τρεις ομάδες δυνατοτήτων διαχείρισης: την πρόσβαση φυσικούς πόρους, τον από κοινού χειρισμό από διαφορετικά στρώματα των παραμέτρων ποιότητας υπηρεσίας και των σχετικών δεδομένων, καθώς και υπολογισμό συνδυαστικών μετρικών [15].

Όπως αναφέρθηκε, η ικανοποίηση του χρήστη δεν μπορεί να μετρηθεί μόνο με την ποιότητα υπηρεσίας, καθώς απαιτεί ένα ευρύτερο σύνολο μετρήσεων, οι οποίες συνήθως συνδυάζονται την έννοια του QoE. Σε αυτό το

πλαίσιο, το «Δίκτυο της Πληροφορίας» - NetInf μπορεί να φέρει σημαντικά οφέλη όσον αφορά την αναβάθμιση της ποιότητας της εμπειρίας γίνεται αντιληπτή από το χρήστη [15].

- *Αποτελεσματική μεγάλη κλίμακας διανομή:* Το «Δίκτυο της Πληροφορίας» παρέχει μια ανεξάρτητη από την εκάστοτε υπηρεσία για τη διανομή πληροφοριών σε μεγάλη κλίμακα, η οποία είναι ανθεκτική σε ραγδαίως μεταβαλλόμενη ζήτηση πόρων.
- *Αύξηση της διαθεσιμότητας των πληροφοριών:* καθώς οι αιτήσεις για πληροφορίες στο NetInf μπορούν να εξυπηρετηθούν από οποιοδήποτε υπολογιστή που κατέχει αυτές τις πληροφορίες, δεν υπάρχει καμία εξάρτηση από τη συνδεσιμότητα σε ένα συγκεκριμένο εξυπηρετή. Επίσης, η διαθεσιμότητα των πληροφοριών βελτιώνεται διότι οι προσδιοριστές τους είναι ανεξάρτητοι από τη θέση τους, πράγμα που σημαίνει ότι η πληροφορία μπορεί να μεταφερθεί.
- *Αυξημένη ασφάλεια:* οι μηχανισμοί για τον έλεγχο ταυτότητας δημιουργού και την επαλήθευση της προέλευσης, καθώς και οι μηχανισμοί για τον έλεγχο της ακεραιότητας του περιεχομένου, ενσωματώνονται στην υπηρεσία (αντίθετα με το σημερινό δίκτυο, όπου η ασφάλεια ως επί το πλείστον βασίζεται στην εμπιστοσύνη του παραλήπτη προς τον εξυπηρετή που παρέχει τις πληροφορίες).

Είναι δεδομένο ότι η ικανότητα ελέγχου της ποιότητας υπηρεσίας θα παραμείνει μια από τις βασικότερες απαιτήσεις για τα δίκτυα του μέλλοντος. Οι μεταβολές που

θα επέλθουν, θα επιτρέπουν την ανάπτυξη νέων τρόπων βελτιστοποίησης της ποιότητας υπηρεσίας και θα προσφέρουν νέα εργαλεία για τη βελτίωση της ποιότητας εμπειρίας του χρήστη. Νέα θέματα φυσικά θα προκύψουν, όπως το πώς θα καταστεί εφικτή η διαχείριση της από άκρο-σε-άκρο ποιότητας υπηρεσίας πάνω από ετερογενή δίκτυα ή σε πολλαπλούς τομείς, το πώς θα παρασχεθούν εγγυήσεις ικανότητας κλιμάκωσης και πώς η ποιότητα υπηρεσίας θα συνυπάρξει αρμονικά με τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως η κινητικότητα και η ασφάλεια [15]. Οι τεχνικές όμως, που προτείνονται από το έργο 4WARD, αν τελικώς υλοποιηθούν, φαίνεται να είναι σε θέση να λύσουν πολλά προβλήματα, το βασικότερο από τα οποία αποτελεί το θέμα της ποιότητας εμπειρίας. Ο απλός χρήστης του διαδικτύου είναι απαιτητικός στον τομέα αυτό και με την εξέλιξη που παρατηρεί στο διαδίκτυο θα είναι εξαιρετικά αυστηρός σε θέματα της ποιότητας των υπηρεσιών που απολαμβάνει.

6 Εφαρμογές στο Μελλοντικό Διαδίκτυο

Το μελλοντικό διαδίκτυο θα επιφέρει σημαντικές αλλαγές και στις εφαρμογές, αλλάζοντας πιθανόν τη μορφή με την οποία τις γνωρίζουμε σήμερα. Πιο συγκεκριμένα, οι σημαντικότερες αλλαγές που προωθεί το μελλοντικό διαδίκτυο και που επηρεάζουν τις εφαρμογές είναι συνοπτικά οι ακόλουθες:

- Καλύτερη ενσωμάτωση των φορητών συσκευών στο πλέγμα των συσκευών του διαδικτύου, με μεγάλη έμφαση στα έξυπνα τηλέφωνα (smartphones).
- Υποστήριξη εφαρμογών με τη μορφή «λογισμικό ως υπηρεσία» (ΛωΥ - Software as a Service – SaaS).
- Δημιουργία εφαρμογών πάνω από την αρχιτεκτονική δημοσίευσης-συνδρομής.
- Δημιουργία εφαρμογών οι οποίες θα υποστηρίζουν το Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things).

Παράλληλα με τις ανωτέρω καινοτόμες τεχνολογίες του μελλοντικού διαδικτύου, σημαντικές αλλαγές εκτιμάται ότι θα υπάρξουν και στο σύνολο των υπάρχουσών εφαρμογών. Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα αναφερθούμε αναλυτικότερα στα παραπάνω θέματα. Σημειώνεται ότι εφαρμογές βάσει του μοντέλου ΛωΥ υπάρχουν ήδη στο σημερινό διαδίκτυο.

Καθώς το μελλοντικό διαδίκτυο είναι ακόμη στα σπάργανά του, οι εφαρμογές οι οποίες αναπτύσσονται για αυτό σε αρκετές περιπτώσεις είναι ακόμη σε πρώιμο στάδιο, ενώ ταυτόχρονα έχουν αρχίσει να αναπτύσσονται σε πιο έντονο βαθμό εφαρμογές που έχουν σχέση με τη διαχείριση των νέων δικτύων.

6.1 Λογισμικό με τη μορφή υπηρεσίας

Το λογισμικό με τη μορφή υπηρεσίας είναι ένα νέο μοντέλο παράδοσης λογισμικού σύμφωνα με το οποίο το σύνολο του λογισμικού και των σχετικών δεδομένων φιλοξενείται στο διαδίκτυο. Οι συγκεκριμένες υπηρεσίες είναι συνήθως προσβάσιμες από τους χρήστες, χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό στον προσωπικό τους υπολογιστή ή απλά μία εφαρμογή πλοήγησης.

Αν και οι συγκεκριμένες υπηρεσίες έχουν αρχίσει σιγά-σιγά να πραγματοποιούν την εμφάνισή τους, οι υποδομές που εισάγονται στο μελλοντικό διαδίκτυο και κυρίως οι εξειδικευμένες μονάδες που υλοποιούν συγκεκριμένες λειτουργίες πίσω από ένα μοναδικό σημείο εισόδου, εικάζεται ότι θα αξιοποιηθούν πλήρως στη συγκεκριμένη μορφή διάδοσης υπηρεσιών.

Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει αρχίσει σταδιακά να διαδίδεται και να υιοθετείται από μεγάλες εταιρείες παραγωγής λογισμικού όπως η Microsoft (Office 365), η Google (το σύνολο των υπηρεσιών της, όπως Search, Drive, Calendar, κ.λπ.), η Amazon και η Apple (iCloud), ενώ ταυτόχρονα γνωρίζει και μεγάλη αποδοχή από μεγάλη ομάδα χρηστών. Οι πιο σημαντικοί λόγοι για την υιοθέτηση του συγκεκριμένου μοντέλου υπηρεσιών από της εταιρείες κατασκευής λογισμικού είναι οι ακόλουθοι:

1. *Χρηματοοικονομικοί:* Με το συγκεκριμένο μοντέλο (SaaS), ο χρήστης πληρώνει την υπηρεσία που απολαμβάνει για όσο διάστημα επιθυμεί. Έτσι, η εταιρεία, για όσο χρονικό διάστημα διαθέτει επαρκή αριθμό χρηστών, έχει μια διαρκή ροή ρευστού στα ταμεία της. Επίσης, εξαιτίας της απουσίας της αλυσίδας

πώλησης λογισμικού, μπορεί να προσφέρει σε εξαιρετικά χαμηλότερες τιμές (για τον τελικό χρήστη), ενώ παράλληλα να έχει και αυξημένο κέρδος.

2. *Καταπολεμά σχεδόν απόλυτα την πειρατεία λογισμικού:* Μια από τις μεγαλύτερες μάστιγες της αγοράς λογισμικού είναι η πειρατεία. Με τη διαδικτυακή παροχή των υπηρεσιών, όπου απαιτείται διαρκής αυθεντικοποίηση και πιστοποίηση των χρηστών, η πειρατεία του λογισμικού δεν έχει έδαφος εφαρμογής.
3. *Προστατεύει την πνευματική ιδιοκτησία της εταιρείας λογισμικού:* Στο μοντέλο παροχής λογισμικού με μορφή υπηρεσιών, το λογισμικό διατηρείται σχεδόν εξ ολοκλήρου στον εξυπηρέτη της εταιρείας και όχι στους υπολογιστές των χρηστών. Έτσι, αποφεύγονται τεχνικές αντίστροφης μηχανικής («reverse engineering») οι οποίες χρησιμοποιούν συνήθως για τον εντοπισμό της λογικής των εφαρμογών
4. *Η συντήρηση του λογισμικού και η διάδοση των αναβαθμίσεων είναι άμεση:* Με την παροχή του λογισμικού με μορφή υπηρεσιών, μέσα από διαδικτυακούς εξυπηρέτες σε πληθώρα ταυτόχρονων χρηστών, η διόρθωση των προβλημάτων καθώς και η εισαγωγή νέων λειτουργιών είναι ταυτόχρονη για όλους τους χρήστες, καθώς πραγματοποιείται στους εξυπηρέτες της εταιρείας παροχής

Αντίστοιχα πλεονεκτήματα έχουν και οι πελάτες - τελικοί χρήστες τέτοιων εφαρμογών. Πιο συγκεκριμένα:

1. Ο χρήστης πληρώνει το λογισμικό μόνο για το χρονικό διάστημα για το οποίο πραγματικά το χρειάζεται. Ως εκ τούτου, στις περιπτώσεις περιορισμένης (χρονικά) χρήσης του λογισμικού, κάνει σημαντική οικονομία.

2. Ο τελικός χρήστης δεν χρειάζεται να επενδύσει σε υλικό (ισχυρό υπολογιστή σε ό,τι αφορά τη μνήμη και την επεξεργαστική ισχύ) για να εκτελέσει λογισμικά με υψηλές απαιτήσεις, , καθώς το σύνολο σχεδόν της επεξεργασίας πραγματοποιείται στους εξυπηρέτες της εταιρείας παροχής.
3. Ο χρήστης απολαμβάνει κάθε στιγμή την τελευταία έκδοση της εφαρμογής.
4. Ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση στις συγκεκριμένες υπηρεσίες σχεδόν από παντού, ακόμη και από φορητές συσκευές. Δεν χρειάζεται να μεταφέρει παντού τον προσωπικό του φορητό υπολογιστή, καθώς αρκεί μια συμβατή συσκευή και σύνδεση στο διαδίκτυο.

Το συγκεκριμένο μοντέλο λογισμικού, όπως είναι προφανές, έχει και κάποια μειονεκτήματα και αυτά αφορούν κατά κύριο λόγο την απαίτηση της διαρκούς σύνδεσης του χρήστη με το διαδίκτυο. Αν τα σφάλματα σύνδεσης μπορούν να θεωρούνται εν γένει επιλύσιμα, σημαντικός λόγος πρέπει να γίνει για την ασφάλεια των δεδομένων των χρηστών, όχι μόνο από κακόβουλους χρήστες αλλά ακόμα κι από την ίδια την εταιρεία που τα διατηρεί στους εξυπηρέτες της. Σημαντικός διάλογος πραγματοποιείται στους κόλπους της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τους όρους χρήσης τέτοιων υπηρεσιών, που κάτω από ορισμένες συνθήκες φαίνεται να παραβιάζουν κατάφωρα την ιδιωτικότητα των χρηστών.

6.2 Εφαρμογές δημοσίευσης-συνδρομής

Το πρότυπο δημοσίευσης-συνδρομής [17] είναι ένα δεδομένο-κεντρικό πρότυπο διαμοιρασμού της πληροφορίας που θα έχει θέση στο μελλοντικό διαδίκτυο. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, οι «καταναλωτές των δεδομένων»

εκδηλώνουν το ενδιαφέρον τους για συγκεκριμένες πληροφορίες, που τους διαβιβάζονται από το δίκτυο, όταν είναι διαθέσιμες. Ως αποτέλεσμα, η πληροφορία προωθείται μόνο στους κόμβους, που πραγματικά επιθυμούν να έχουν την πληροφορία. Σε γενικές γραμμές, το πρότυπο δημοσίευσης-συνδρομής αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία: τον εκδότη publisher (εκδότη), τον συνδρομητή (subscriber) και τους ενδιάμεσους δικτυακούς σταθμούς που συνδέουν τον εκδότη με τον συνδρομητή. Ο συνδρομητής εκδηλώνει το ενδιαφέρον του στον εκδότη για κάποιες πληροφορίες, το οποίο ενδιαφέρον συνήθως διατυπώνεται ως ένα σύνολο κριτηρίων.

Οι εφαρμογές που αναπτύσσονται με βάση το δεδομενοκεντρικό πρότυπο δημοσίευσης-συνδρομής είναι πάρα πολλές, αρχικά σε επίπεδο δικτύων, όπου απαιτούνται νέοι αλγόριθμοι δρομολόγησης με ευρεία αξιοποίηση της πολυεκπομπής. Όταν ένας εκδότης δημοσιοποιεί μια νέα πληροφορία, αυτή θα πρέπει να μεταδοθεί στο σύνολο των συνδρομητών. Η μετάδοση αυτή μπορεί να εξυπηρετηθεί καλύτερα από τροποποιημένες, σε σχέση με τις σημερινές, διαδικασίες δρομολόγησης και πληθώρα εφαρμογών που προσπαθούν να επιλύσουν κρίσιμα ζητήματα στο συγκεκριμένο πρότυπο έχουν προταθεί. Όταν η ευρεία χρήση της πολυεκπομπής δεν είναι εφικτή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εφαρμογές διαμοιρασμού πληροφορίας με αρχιτεκτονική ομοτίμων κόμβων, οι οποίες αξιοποιούν τεχνικές γράφων προκειμένου να επιλύσουν το πρόβλημα της μαζικής αποστολής του ίδιου μηνύματος σε πολύ μεγάλο αριθμό συνδρομητών.

Επίσης, σε επίπεδο δικτύων απαιτούνται κατάλληλοι εξομοιωτές οι οποίοι θα μετασχηματίζουν αυτόματα υπάρχουσες εφαρμογές στο νέο πρότυπο, αυτό δηλαδή της

δημοσίευσης-συνδρομής. Μια από τις πρώτες προσπάθειες αποτελεί η εργασία [18] όπου έχει δημιουργηθεί ένας εξομοιωτής διόδων (socket), ο οποίος μεταφράζει τις κλήσεις για χρήση των διόδων του τρέχοντος διαδικτύου (οι οποίες προσδιορίζονται από διεύθυνση IP/αριθμό θύρας) σε κλήσεις προς υπόβαθρο δημοσίευσης-συνδρομής. Μια πρώτη προσέγγιση είναι η επέμβαση σε επίπεδο IP. Οι συνδέσεις socket μέσα από το υπάρχον πρωτόκολλο IP, μετατρέπονται σε πακέτα IP και μεταφέρονται μέσα από το πρότυπο δημοσίευσης-συνδρομής. Η δεύτερη λύση είναι η απευθείας μετατροπή των συνδέσεων στο νέο πρότυπο (δημοσίευσης-συνδρομής). Η πρώτη λύση προσφέρει ευκολία στη μετάβαση, με κόστος όμως στην ταχύτητα. Η δεύτερη λύση είναι εξαιρετικά επίπονη για ορισμένους τύπους πρωτοκόλλων (όπως για παράδειγμα το πρωτόκολλο TCP).

Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα στο πρότυπο δημοσίευσης-συνδρομής αποτελεί η γρήγορη και αποτελεσματική εφαρμογή όλων κανόνων των συνδρομητών για τη νέα πληροφορία, ώστε αυτή να μεταδοθεί στους μόνο στους συνδρομητές που πραγματικά ενδιαφέρονται για τη συγκεκριμένη πληροφορία. Όταν ο αριθμός των συνδρομητών είναι μικρός, ή το σύνολο των δυνατών κανόνων είναι σχετικά απλό, ο εξυπηρέτης του εκδότη έχει υποτεθεί ότι δεν θα αντιμετωπίσει δυσκολίες στην εφαρμογή των κριτηρίων που όρισαν οι χρήστες. Όταν ο αριθμός των χρηστών είναι εξαιρετικά μεγάλος και το σύνολο των κριτηρίων είναι εξαιρετικά πολύπλοκο, τότε ενδέχεται να εμφανιστούν δυσκολίες. Στην εργασία [19] προτείνεται η εφαρμογή του αλγόριθμου *Rete* (αξιόπιστος αλγόριθμος εφαρμογής κριτηρίων τεχνητής νοημοσύνης

εκφρασμένων σε τριπλέτες της μορφής $\langle A, \text{τελεστής}, B \rangle$ μέσα σε ένα καταναμημένο σύστημα.

Η βασική αλλαγή που εισάγουν οι υπηρεσίες δημοσίευσης-συνδρομής αφορούν κυρίως τον τρόπο λήψης των υπηρεσιών από τους χρήστες. Ας υποθέσουμε ότι ο χρήστης A επιθυμεί να ενημερωθεί για τις τρέχοντες εξελίξεις γύρω από ένα θέμα X, της ευρύτερης κατηγορίας Y. Στο σημερινό διαδίκτυο, ο χρήστης θα περιηγηθεί σε ιστοσελίδες ειδήσεων που περιλαμβάνουν ειδήσεις της κατηγορίας Y. Αν, για οποιοδήποτε αιτία, μια είδηση για το θέμα X γίνει διαθέσιμη μετά την ολοκλήρωση της επίσκεψης του χρήστη, η είδηση αυτή απλώς δεν θα περιέλθει στη γνώση του χρήστη. Στο μελλοντικό διαδίκτυο, στην μεθοδολογία δημοσίευσης-συνδρομής για τον διαμοιρασμό πληροφορίας, ο χρήστης θα γίνει συνδρομητής σε όλες τους εκδότες ειδήσεων για το θέμα X. Όταν ένας εκδότης δημοσιεύσει μια νέα είδηση για το X, τότε αυτή αυτόματα θα μεταδοθεί στον χρήστη A, είτε στον προσωπικό του υπολογιστή είτε στο κινητό του τηλέφωνο.

Με τον τρόπο αυτό προσφέρονται εξατομικευμένες υπηρεσίες πληροφόρησης στους τελικούς χρήστες, χωρίς να απαιτείται οποιαδήποτε ενέργεια από αυτούς πέραν της εγγραφής τους ως συνδρομητές.

6.3 Το διαδίκτυο των πραγμάτων

Το διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things) αναφέρεται σε μοναδικά αναγνωρίσιμο αντικείμενα (τα *πράγματα*) και εικονικές αναπαραστάσεις τους σε μια δικτυακή δομή. Η έννοια του διαδικτύου των πραγμάτων είναι συνδεδεμένη με τη χρήση τεχνολογιών που επιτρέπουν την μοναδική αναγνώριση των πραγμάτων, όπως π.χ. η τεχνολογία Radio-Frequency Identification

(RFID). Στην περίπτωση κατά την οποία όλα τα αντικείμενα και οι άνθρωποι στην καθημερινή ζωή ήταν εξοπλισμένοι με κατάλληλες αναγνωριστικές συσκευές, θα μπορούσαν να εντοπιστούν και καταγραφούν από υπολογιστές.

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων, τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να συνδέεται με την έρευνα της Τεχνητής Νοημοσύνης (ΤΝ) και του αυτόνομου ελέγχου (ΑΕ) έτσι ώστε να επιτευχθεί η ενσωμάτωση των εννοιών της ΤΝ και του ΑΕ με αυτές του διαδικτύου των πραγμάτων. Στα πλαίσια αυτά καταβάλλεται προσπάθεια το μελλοντικό διαδίκτυο των πραγμάτων να συντίθεται από αυτόνομες και ευφυείς οντότητες (όπως υπηρεσίες διαδικτύου) ή εικονικά αντικείμενα και είναι σε θέση να ενεργούν ανεξάρτητα (που επιδιώκουν τους ιδιωτικούς ή κοινούς στόχους), ανάλογα με τις συνθήκες του δυναμικού περιβάλλοντος στο οποίο «ζουν». Το αποτέλεσμα είναι ένα σύστημα το οποίο, αξιοποιεί την ικανότητα να συλλέγει και να αναλύει τα ψηφιακά ίχνη της ανθρώπινης αλληλεπίδρασης με το δίκτυο για να ανακαλύψει και να μάθει νέα γνώση σχετικά με την ανθρώπινη ζωή, την αλληλεπίδραση του με το δικτυακό περιβάλλον καθώς και την κοινωνική σύνδεση / συμπεριφορά.

Μία από τις πιο γνωστές εφαρμογές του διαδικτύου των πραγμάτων σε συνδυασμό με την ΤΝ, αποτελεί το επονομαζόμενο «έξυπνο σπίτι». Πρόκειται για την αυτοματοποίηση πληθώρας δραστηριοτήτων στο σπίτι. Ο οικιακός αυτοματισμός μπορεί να περιλαμβάνει τον κεντρικό έλεγχο του φωτισμού, της θέρμανσης, του εξαερισμού, του κλιματισμού, διαφόρων συσκευών, και άλλων συστημάτων, ώστε να παρέχει βελτιωμένη ευκολία, άνεση, ενεργειακή απόδοση και ασφάλεια στους κατοίκους

του. Οι συγκεκριμένοι αυτοματισμοί αποκτούν σημαντική αξία για τις ιδιαίτερα ευαίσθητες ομάδες όπως τους ηλικιωμένους και τα άτομα με ειδικές ανάγκες, όπου μπορούν να προσφέρουν αυξημένη ποιότητα ζωής και να καταστήσουν μη αναγκαία την καταφυγή σε φροντιστές ή ιδρυματική φροντίδα.

Το βασικό μοντέλο που υιοθετείται στο διαδίκτυο των πραγμάτων καθιστά κάθε συσκευή του (από απλούς αισθητήρες έως πολυσύνθετα συστήματα) ως ένα δυνητικό αυτόνομο πάροχο πληροφορίας στο μελλοντικό διαδίκτυο των πληροφοριών (NetInf). Οι συσκευές που συνδέονται στο διαδίκτυο των πραγμάτων μπορούν να είναι ποικίλλες. Ανάλογα με τη λειτουργία τους, οι ερευνητές οραματίζονται πληθώρα εφαρμογών οι οποίες θα αξιοποιούν τα δεδομένα και τις πληροφορίες που παράγονται από τις συσκευές του διαδικτύου των πραγμάτων, έτσι ώστε αυτές να αποκτούν χρηστικό αντίκρισμα. Μια άλλη σημαντική παράμετρος στο μελλοντικό διαδίκτυο αποτελεί η περιβάλλουσα πληροφορία του χρήστη (user's context). Με τον όρο «περιβάλλουσα πληροφορία» υπονοείται ένα σύνολο (κυρίως) δυναμικών δεδομένων που αφορούν τον ίδιο τον χρήστη: σε αυτή περιλαμβάνονται η ακριβής του τοποθεσία, οι κινήσεις του, η τρέχουσα δραστηριότητα, οι συνθήκες του περιβάλλοντος, η τρέχουσα σωματική και συναισθηματική του κατάσταση, πιθανότατα και το πρόσφατο ή και παλιότερο ιστορικό αυτών των πληροφοριών. Όλες οι παραπάνω πληροφορίες μπορούν να συλλέγονται αυτόματα στο μελλοντικό διαδίκτυο από τους κατάλληλους αισθητήρες (GPS, κάμερες, αισθητήρες EEG, κ.ο.κ.). Είναι προφανές ότι η περιβάλλουσα πληροφορία του χρήστη μπορεί να περιλαμβάνει κάθε δυναμική πληροφορία που

μπορεί να συλλεχθεί από οποιοδήποτε αισθητήρα και να επεκταθεί με χρήση οποιουδήποτε είδους αισθητήρα που υπάρχει σήμερα ή μπορεί να δημιουργηθεί στο μέλλον. Με την αξιοποίηση της περιβάλλουσας πληροφορίας του χρήστη μπορούν να του προσφερθούν αυτοματοποιημένες εξατομικευμένες υπηρεσίες.

Μια πρώτη περίπτωση εφαρμογής αφορά τις δικτυακές ιατρικές υπηρεσίες. Η εφαρμογή αυτή έχει τις βάσεις της στη σημαντική μείωση του κόστους δικτυακών συσκευών απομακρυσμένης ιατρικής παρακολούθησης καθώς και στην ενσωμάτωση προηγμένων αισθητήρων σε αντικείμενα καθημερινής χρήσης που χρησιμοποιούνται ευρέως στην σύγχρονη κοινωνία. Η εφαρμογή αφορά κυρίως τις ευαίσθητες (από ιατρικής πλευράς) κοινωνικές ομάδες όπου αυτοματοποιημένα ιατρικά συστήματα θα μπορούν να ενημερώνουν κατάλληλα το ιατρικό προσωπικό σε περιπτώσεις που ελλοχεύουν κινδύνους. Το προσωπικό στην περίπτωση αυτή μπορεί να έχει άμεση απομακρυσμένη πρόσβαση στα δεδομένα σχετικά με τις ζωτικές λειτουργίες των ασθενών, και μπορεί να προσφέρει ή να ζητήσει άμεσα βοήθεια σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Με τη διαθεσιμότητα μεγαλύτερων ποσοτήτων των ιατρικών δεδομένων, θα υπάρξει μια τάση προς την εξατομικευμένη ιατρική, η οποία αρχικά βασίζεται στην επιλογή βέλτιστης φαρμακευτικής αγωγής ενώ μελλοντικά είναι πιθανό να καταλήξει με την παραγωγή των εξατομικευμένων φαρμακευτικών προϊόντων τα οποία αποσκοπούν στην βελτιστοποίηση των θετικών επιπτώσεων τους στους ασθενείς, με παράλληλη μείωση των ανεπιθύμητων ενεργειών. Στο πλαίσιο των υπηρεσιών υγείας, οι επιστήμονες οραματίζονται νέες μορφές online διάγνωσης

όπου μια σειρά από «απλές» ερωτήσεις όπως "Είμαι έγκυος;" μπορεί να απαντηθεί μέσα από ένα ειδικό ιατρικό σύστημα σημασιολογικής αναζήτησης και στο οποίο έχει επιτρέψει να έχει πρόσβαση στα ιατρικά δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες που είναι εγκατεστημένοι στον προσωπικό χώρο του ασθενή [20].

Μια άλλη πλευρά αφορά την εξατομίκευση των online υπηρεσιών ψυχαγωγίας. Οι online προσφορές μουσικής, κινηματογραφικών ταινιών και παιχνιδιών δεν θα λαμβάνουν υπόψη μόνο τις εκ των πρότερων δηλωμένες προτιμήσεις του χρήστη σε διαφορετικά στυλ μουσικής ή τα είδη των παιχνιδιών, αλλά και την ευρύτερη περιβάλλουσα πληροφορία του χρήστη, και ιδίως την τρέχουσα διάθεση, τις ικανότητες του και τα ενδιαφέροντα του. Οι νέες αυτές υπηρεσίες θα δώσουν την δυνατότητα στους online ραδιοφωνικούς σταθμούς να μεταδίδουν εξατομικευμένο περιεχόμενο το οποίο ταιριάζει καλύτερα στις τρέχουσες δραστηριότητες του χρήστη. Σε γενικές γραμμές, αναμένουμε μια αυξανόμενη μείξη των οντοτήτων του πραγματικού κόσμου με εκείνα που υπάρχουν μόνο σε εικονικούς κόσμους. Η λεγόμενη μεικτή πραγματικότητα θα επιτρέψει νέους τρόπους συμμετοχής σε μαζικά online παιχνίδια πολλών παικτών. [20]

7 Συμπεράσματα

Το διαδίκτυο ερευνητικά εξελίσσεται στο διαδίκτυο του μέλλοντος. Η συγκεκριμένη μετεξέλιξη δεν έχει οριστικοποιηθεί ακόμη, αλλά η γενικότερη τάση οδηγεί στην κατεύθυνση της δημιουργίας δικτύων που ακολουθούν το μοντέλο της δημοσίευσης-συνδρομής. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, αρκετές ερευνητικές προτάσεις υπάρχουν, οι οποίες ως επί το πλείστον λαμβάνουν υπόψη τις εγγενείς αδυναμίες του υπάρχοντος διαδικτύου. Νέες υπηρεσίες θα γεννηθούν μέσα σε αυτό, και οι αδυναμίες του σύγχρονου διαδικτύου (όπως ασφάλεια και ποιότητα επικοινωνίας) εικάζεται ότι δεν θα υπάρχουν, καθώς το μοντέλο του διαδικτύου του μέλλοντος είναι διαφορετικό. Οι προσπάθειες φαίνονται ελπιδοφόρες και ελπίζουμε στην δημιουργία ενός νέου δικτύου που θα αποτελέσει μια πραγματικά νέα εμπειρία για τους απλούς χρήστες.

8 Βιβλιογραφία

- [1] "Wikipedia," [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Internet> . [Accessed 2012].
- [2] V. G. Cerf and R. E. Kahn, "A Protocol for Packet Network Intercommunication," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 22, no. 5, pp. 637-648, 1974.
- [3] S. P. Sanchez and R. Bless, "Network Design," in *Architecture and Design for the Future Internet*, Springer, 2011, pp. 59-87.
- [4] "IPv4 address_exhaustion," Wikipedia, [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/IPv4_address_exhaustion. [Accessed 2012].
- [5] D. Massey, L. Wang, B. Zhang and L. Zhang, "A Scalable Routing System Design for Future Internet," in *ACM SIGCOMM Workshop on IPv6*, Kyoto, Japan, 2007.
- [6] S. Shenker, "Fundamental Design Issues for the Future Internet," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 13, no. 7, pp. 1176-1190, 1995.
- [7] M. Johnsson and A. M. Biraghi, "Use Case—From Business Scenario to Network," in *Architecture and Design for the Future Internet*, Springer, 2011, pp. 225-243.
- [8] P. Eardle, M. Kanakakis, A. Kostopoulos, T. Levä, K. Richardson and H. Warma, "Deployment and Adoption of Future Internet Protocols," in *Future Internet Assembly*, Springer, 2011, pp. 133-144.
- [9] "Spiral model," Wikipedia, 2012. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Spiral_model.
- [10] A. Kostopoulos, H. Warma, T. Leva, B. Heinrich, A. Ford and L. Eggert, "Towards Multi-path TCP Adoption: Challenges and Perspectives," in *NGI 2010 - 6th EuroNF Conference on Next Generation Internet*, Paris, 2010.

- [11] A. Kostopoulos, K. Richardson and M. Kanakakis, "Investigating the Deployment and Adoption of re-ECN.," in *ACM CoNEXT ReArch'10*, Philadelphia, USA , 2010.
- [12] K. Visala, D. Lagutin and S. Tarkoma, "Security Design for an Inter-Domain Publish/Subscribe Architecture," in *Future Internet Assembly*, Springer, 2011, p. 67–176.
- [13] D. Lagutin, K. Visala and S. Tarkoma, *Publish/Subscribe for Internet: PSIRP Perspective*, Valencia FIA Book, 2011.
- [14] K. Visala, D. Lagutin and S. Tarkoma, "LANES: An Inter-Domain Data-Oriented Routing Architecture.," in *ReArch'09*, Rome, Italy , 2009.
- [15] P. A. Gutiérrez and J. Carapinha, "Interdomain Concepts and Quality of Service," in *Architecture and Design for the Future Internet*, Sringer, 2011, pp. 133-150.
- [16] GSM Association, "Inter-Service Provider IP Backbone Guidelines," IR.34, 2008.
- [17] N. Fotiou, G. Polyzos and D. Trossen, "Illustrating a publish-subscribe Internet architecture.," in *Proc. of the 2nd Euro-NF Workshop on Future Internet Architectures* , June 2009.
- [18] G. Xylomenos and B. Cici, "Design and Evaluation of a Socket Emulator for Publish/Subscribe Network," in *PROCEEDINGS OF THE FUTURE INTERNET SYMPOSIUM 2010*, 2010.
- [19] Y. Shvartzshnaider, M. Ott and D. Levy, "Publish/Subscribe On Top Of DHT Using RETE algorithm," in *FIS'10 Proceedings of the Third future internet conference on Future internet* , 2010.
- [20] J. Schonwalder, "Future Internet = content + services + management," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 47, no. 7, pp. 27-33, 2009.
- [21] D. Lagutin, K. Visala, A. Zahemszky, T. Burbridge and G. Marias, "Roles and Security in a Publish/Subscribe Network Architecture," in *ISCC'10*, Riccione, Italy, 2010.