

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε  
ΤΕΙ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ποιότητα εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές  
υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από  
ασύρματα δίκτυα**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΥ ΚΥΡΙΑΚΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΦΙΛΙΠΠΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΣΠΑΡΤΗ – Απρίλιος 2015

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

*Δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα εργασία αποτελεί προϊόν προσωπικής μελέτης και έρευνας και πως όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για την συγγραφή της αναφέρονται στις παραπομπές και την βιβλιογραφία. Γνωρίζω πως η λογοκλοπή αποτελεί σοβαρότατο παράπτωμα και είμαι ενήμερη για την επέλευση των νόμιμων συνεπειών*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ευρεία διάδοση των IP δικτύων μεταγωγής πακέτου (packet-switched) και η ενοποίησή τους με τα παραδοσιακά δίκτυα σταθερής και κινητής τηλεφωνίας, μαζί με την εξέλιξη των πρωτοκόλλων και των τεχνολογιών που εξυπηρετούν υπηρεσίες ευαίσθητες στις καθυστερήσεις (time-critical services) επέτρεψε την εκμετάλλευσή τους για φωνητικές υπηρεσίες (Voice over IP - VoIP). Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας VoIP έναντι της παραδοσιακής τηλεφωνίας με μεταγωγή κυκλώματος (circuit-switched), κυρίως σε ότι αφορά το εξαιρετικά χαμηλό κόστος, οδήγησαν στην εκρηκτική εξάπλωσή και καθιέρωσή της.

Οι χρήστες απαιτούν από την VoIP τηλεφωνία ποιότητα εφάμιλλη με αυτή που έχουν συνηθίσει στην παραδοσιακή τηλεφωνία. Αυτό όμως δεν είναι πάντα εφικτό, καθώς τα σημερινά δίκτυα πακέτου δεν παρέχουν αυστηρές εγγυήσεις ποιότητας, αλλά μόνο στατιστικές, βασισμένες σε συνθήκες, οι οποίες οποιαδήποτε στιγμή μπορεί να αλλάξουν ανάλογα με το μέγεθος και το είδος της κίνησης που εξυπηρετούν. Η καθυστέρηση και κυρίως η απώλεια πακέτων μπορεί να φτάσουν σε τιμές απαγορευτικές για την VoIP τηλεφωνία. Η μετάδοση VoIP ροών ταυτόχρονα στον ίδιο δίκτυο με ροές δεδομένων μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα στην δίκαιη κατανομή του διαθέσιμου εύρους ζώνης και τελικά στις εφαρμογές που μεταδίδουν δεδομένα. Απαιτείται λοιπόν οι VoIP ροές να είναι φιλικές προς τις άλλου τύπου ροές.

Σκοπός αυτής της εργασίας ήταν η μελέτη και η αξιολόγηση της VoIP τεχνολογίας και των παραγόντων που επηρεάζουν την ποιότητα των φωνητικών κλήσεων που πραγματοποιεί ένας χρήστης. Η ίδια η έννοια της «ποιότητας», στα σύγχρονα δίκτυα ορίζεται με σαφώς πιο σύνθετο και χρηστο-κεντρικό τρόπο, επεκτείνοντας την παραδοσιακή τεχνο-κεντρική έννοια της Ποιότητας Υπηρεσίας (Quality of Service - QoS) στην Ποιότητα Εμπειρίας (Quality of Experience - QoE), η οποία είναι αρκετά υποκειμενική και λαμβάνει υπόψη πολλούς διαφορετικούς παράγοντες.

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία ασχολήθηκε με τις μεθόδους μέτρησης της ποιότητας της φωνής η οποία και αποτελεί θεμελιώδη απαίτηση στις τηλεπικοινωνίες για τεχνικούς, εμπορικούς και νομικούς λόγους. Έχουν προκύψει πολλές τέτοιες μέθοδοι, αρκετά διαφορετικές μεταξύ τους. Μία κύρια διάκρισή τους είναι σε υποκειμενικές και αντικειμενικές μεθόδους. Βασικά, οι υπάρχοντες SQA αλγόριθμοι VoIP εστιάζουν στην ακριβή εκτίμηση της ποιότητας ακρόασης. Στην πραγματικότητα, οι υπάρχοντες αλγόριθμοι SQA χρησιμοποιούν πρωτόγονα μοντέλα για την ποσοτικοποίηση της επίδρασης της μονόδρομης καθυστέρησης. Συνεπώς, υπάρχει μεγάλη ανάγκη ανάπτυξης ενός πιο σύνθετου μοντέλου ποιότητας για την ποσοτικοποίηση των βλαβών καθυστέρησης που εμποδίζουν την απρόσκοπτη λειτουργία της παρακολούθησης κλήσης VoIP.

**Λέξεις Κλειδιά (Keywords):** Voice over IP (VoIP), Ποιότητα Εμπειρίας (QoE), Speech Quality Assessment (SQA), υποκειμενικές μέθοδοι αξιολόγησης, αντικειμενικές μέθοδοι αξιολόγησης.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία έχει ως **στόχο** την παρουσίαση της έννοιας της Ποιότητας Εμπειρίας (Quality of Experience) και του τρόπου με τον οποίο ορίζεται και χρησιμοποιείται σε σταθερά και κυρίως σε ασύρματα δίκτυα για Voice over IP υπηρεσίες. Πιο συγκεκριμένα, η εργασία θα εστιάσει στην κατηγοριοποίηση και συγκριτική αξιολόγηση των μοντέλων, αλγορίθμων και εργαλείων που χρησιμοποιούνται για την αποτίμηση της ποιότητας των φωνητικών υπηρεσιών.

Η πτυχιακή αυτή εργασία αποτελεί έργο προσωπικής μου προσπάθειας. Για να ολοκληρωθεί και να φτάσει στο επιθυμητό αυτό σημείο απαιτήθηκαν ώρες μελέτης, συγκέντρωσης και συλλογής πληροφοριών. Ευχαριστώ όλους όσους με βοήθησαν καθ' όλη την περίοδο εκπόνησης και συγγραφής δίνοντάς μου κουράγιο και στήριξη. Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου για τις πολύτιμες συμβουλές, τις συστάσεις και τις κατευθυντήριες γραμμές που μου έδινε. Τέλος, ευχαριστώ την εξεταστική επιτροπή που μου κάνει την τιμή να αξιολογήσει την εργασία μου.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>3</b>
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....</b>	<b>5</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....</b>	<b>6</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>9</b>
Δομή Εργασίας.....	12
<b>Η κλασσική τηλεφωνία και εξέλιξή της με την έλευση της τεχνολογίας VoIP ....</b>	<b>14</b>
2.1 Ιστορική αναδρομή στην κλασσική σταθερή τηλεφωνία .....	14
2.2 Από τα αναλογικά στα ψηφιακά συστήματα επικοινωνιών.....	16
2.3 Το VoIP .....	19
2.4 Εξέλιξη κινητών συστημάτων.....	21
<b>Υλοποίηση VoIP στα σύγχρονα δίκτυα.....</b>	<b>27</b>
3.1 Εισαγωγή.....	27
3.2 Πλεονεκτήματα VoIP.....	28
3.3 Μειονεκτήματα VoIP.....	29
3.4 Εξοπλισμός VoIP .....	30
3.5 Δίκτυα VoIP .....	31
3.5.1 Codecs.....	33
3.5.2 Διαθέσιμο bandwidth .....	35
3.5.3 Traffic .....	35
3.5.4 VoIP πάροχοι.....	36
3.5.5 Διαθέσιμοι πόροι server VoIP τηλεφωνικού κέντρου .....	37
3.6 Στοιβά πρωτοκόλλων VoIP.....	37
3.6.1 Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων VoIP.....	39

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

3.6.2	Πρωτόκολλα σηματοδότησης (signaling).....	40
3.6.3	Πρωτόκολλο SIP.....	40
3.6.4	Πρωτόκολλα μεταφοράς δεδομένων .....	42
3.6.5	Τα πρωτόκολλα RTP/RTCP .....	42
3.7	Το VoIP τερματικό τηλέφωνο.....	46
3.7.1	Δομή και λειτουργία .....	46
3.7.2	Codec .....	47
3.7.3	Playout (Jitter) Buffer .....	49
<b>Η μετάβαση από την Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS) στην Ποιότητα Εμπειρίας (QoE).....</b>		<b>50</b>
4.1	Εισαγωγή.....	50
4.2	Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Service – QoS).....	52
4.2.1	Τύποι QoS.....	52
4.2.2	Η μέθοδος RSVP .....	56
4.2.3	Προτεραιότητα IP .....	57
4.2.4	Το πρωτόκολλο DiffServ .....	58
4.3	Η Ποιότητα Υπηρεσιών (QoS) στα σημερινά δίκτυα.....	59
4.3.1	Τεχνικές επίτευξης καλής Ποιότητας Υπηρεσιών (QoS) στα σημερινά δίκτυα	61
4.4	Ποιότητα Εμπειρίας (Quality of Experience – QoE).....	62
<b>Κατηγοριοποίηση και αξιολόγηση μεθόδων VoIP QoE.....</b>		<b>68</b>
5.1	Επίδραση χαρακτηριστικών δικτύου και εφαρμογής στο VoIPQoE.....	68
5.2	Κατηγοριοποίηση μεθόδων αξιολόγησης VoIP QoE .....	70
5.3	Η μέθοδος MOS .....	71
5.4	Η μέθοδος PESQ.....	71
5.5	Η μέθοδος E-Model.....	72

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

5.6	Απλοποιημένο E-Model για VoIP εφαρμογές .....	74
5.7	Η ποιότητα εμπειρίας σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (QoE of VOIP service) .....	74
5.8	Μεθοδολογίες SPEECH QUALITY ASSESSMENT .....	75
5.9	Μεθοδολογίες εκμετάλλευσης των αντικειμενικών SQA αλγορίθμων .....	80
5.10	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ VoIP QoE ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΟΝΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟΥ .....	81
5.11	Αντιληπτή ποιότητα λόγου στα επερχόμενα κινητά και pervasive δίκτυα ..	82
<b>Συμπεράσματα.....</b>		<b>84</b>
	Αξιολόγηση των VoIP εφαρμογών σε πραγματικές συνθήκες .....	84
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>		<b>86</b>



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

---

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εδώ και χρόνια γίνεται λόγος για το Voice over IP. Όλα άρχισαν στα μέσα της δεκαετίας του '90, με ερασιτεχνικές προσπάθειες μετάδοσης φωνής «πάνω» από το Internet. Διάφορες προσπάθειες έγιναν από εφαρμογές άμεσης επικοινωνίας (messagers) κατά καιρούς, όμως πάντα υψώνονταν ως εμπόδια στους χρήστες της νέας τεχνολογίας τα κλειστά πρότυπα, οι χαμηλές ταχύτητες πρόσβασης, οι δυσκολίες στη χρήση αλλά και η χαμηλή ποιότητα φωνής.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μία στροφή της φιλοσοφίας με την οποία προσεγγίζονται όλα τα ζητήματα της παραγωγής και διάθεσης προϊόντων και υπηρεσιών στον κόσμο των κινητών επικοινωνιών (και όχι μόνο), από τεχνο-κεντρικά σε ανθρωπο-κεντρικά μοντέλα. Έτσι μετακυλίεται το ενδιαφέρον από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου και της υπηρεσίας (τα οποία είναι σαφώς μετρήσιμα και αντικειμενικά), στον τρόπο με τον οποίο ο άνθρωπος-χρήστης προσλαμβάνει το αποτέλεσμα και την αξία της υπηρεσίας και του δικτύου που την προσφέρει (στοιχεία με μεγάλο βαθμό υποκειμενικότητας).

Η ανθρώπινη συμπεριφορά ορίζεται από παράγοντες εσωτερικούς (βιολογικούς, ψυχολογικούς, γνωστικούς) και εξωτερικούς (κοινωνικοί, οικονομικοί, τεχνικοί). Στο παρακάτω οικοσύστημα επικοινωνιών βασισμένο στην έννοια της QoE (Ολιστικό Μοντέλο Ποιότητας Εμπειρίας) (LAGHARI, 2013), οι εσωτερικοί παράγοντες είναι μέρος του Human Domain, ενώ οι εξωτερικοί παράγοντες χωρίζονται σε Technological, Business & Contextual Domains. Η διάδραση μεταξύ αυτών των Domains, παράγει απαιτήσεις QoE.

Μέσα σε κάθε Domain υπάρχουν 3 επίπεδα αφαίρεσης: Οντότητα (entity), Ρόλοι (roles) και Χαρακτηριστικά (Characteristics). Μία οντότητα μπορεί να έχει πολλαπλούς ρόλους και χαρακτηριστικά. Τα τελευταία μεταφράζονται σε μετρήσιμα / ποσοτικοποιήσιμα μεγέθη.

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

Οι υπηρεσίες αποτελούν το σημείο και τον λόγο επαφής ανθρώπου και δικτύου. Με δεδομένη την στροφή που παρατηρείται προς πιο ανθρωποκεντρικά μοντέλα υπηρεσιών, τα οποία ενσωματώνουν την έννοια της Ποιότητας Εμπειρίας (QoE), ως εξέλιξη και υπερσύνολο της Ποιότητας Υπηρεσίας (QoS), αλλά και τις δυνατότητες των σύγχρονων ασύρματων / κινητών δικτύων και συσκευών, που μπορούν να μεταφέρουν πλέον και τις πιο απαιτητικές υπηρεσίες στο προσωπικό πεδίο του χρήστη, αποκτά μεγάλη σημασία η διενέργεια μελετών πεδίου πάνω σε απαιτητικές πολυμεσικές υπηρεσίες (video streaming, IPTV, VoIP, 3D Audio Conferencing) για την αξιολόγηση και διαπίστωση στατιστικά σημαντικής συσχέτισης μεταξύ QoE και παραγόντων που την επηρεάζουν (QoS, εικονικό περιβάλλον, πλαίσιο εφαρμογής, κ.α.). Η αξιοποίηση αυτής της πληροφορίας γίνεται σήμερα όλο και πιο κρίσιμη, ως μέσο διαφοροποίησης των παρόχων, μέσα από τις δυνατότητες που παρέχουν τα σύγχρονα δίκτυα. Ως εκ τούτου η επιτυχία των παρόχων στην αγορά των σύγχρονων κινητών δικτύων (4G), θα κριθεί σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο και την έκταση στην οποία θα προσελκύσουν συγκεκριμένες ομάδες χρηστών, με υψηλές απαιτήσεις και ανάγκες που ανταποκρίνονται στις αυξημένες δυνατότητές τους.

Τα τελευταία χρόνια, η άνοδος της απόδοσης και η μείωση των τιμών του σχετικού hardware, επιτρέπει την παροχή απαιτητικών πολυμεσικών εφαρμογών μέσα από πλειάδα συσκευών μαζικής χρήσης (PCs, Notebooks, Tablets, Smartphones). Αντίστοιχα η πρόοδος στις μεθόδους συμπίεσης, έχει παίξει σημαντικό ρόλο στην διάδοση του πολυμεσικού περιεχομένου video. Οι πολυμεσικές υπηρεσίες, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε ότι αφορά τις απαιτήσεις τους σχετικά με τον χρόνο και την συμμετρία δεδομένων, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Μία εφαρμογή με αυστηρές χρονικές απαιτήσεις, ονομάζεται «πραγματικού χρόνου» (real time), αλλιώς «μη-πραγματικού χρόνου» (non-real-time). Η ιδιότητα της συμμετρίας σημαίνει ότι οι αιτήσεις και οι ανταποκρίσεις (περιεχόμενο που στέλνει και λαμβάνει αντίστοιχα από το δίκτυο) της εφαρμογής είναι συγκρίσιμες σε όρους κατανάλωσης πόρων. Αντίστοιχα η ασυμμετρία, σημαίνει σημαντικά λιγότερη κατανάλωση πόρων στις αιτήσεις, σε σύγκριση με τις ανταποκρίσεις. Το Web

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

browsing και το FTP είναι παραδείγματα non-real time και asymmetric υπηρεσιών, ενώ η VoIP είναι παράδειγμα πραγματικού χρόνου και συμμετρικής ηχητικής υπηρεσίας. Από την άλλη πλευρά, μία υπηρεσία video streaming όπως το Video on Demand, είναι ευαίσθητη ως προς τον χρόνο, αλλά ασύμμετρη, καθώς καταναλώνει πολύ περισσότερους πόρους στην πλευρά του server (ανταπόκριση δικτύου), από την πλευρά του client (αίτηση χρήστη).

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που μπορούν εν δυνάμει να επηρεάσουν την Ποιότητα Εμπειρίας μίας υπηρεσίας, εξαρτώμενοι από το δίκτυο (packet loss, packet reorder, packet delay), από την ίδια την εφαρμογή (frame rate, coding rate), από το περιεχόμενο (αργά ή γρήγορα κινούμενο video), αλλά και επιχειρηματικοί (διαφήμιση, κοστολόγιο, τρόπος χρέωσης) οι οποίοι επιδρούν στην συμπεριφορά του πελάτη, π.χ. υπάρχουν συνήθως υψηλότερες απαιτήσεις από την ίδια υπηρεσία (Video on Demand) όταν πληρώνεται, παρά όταν παρέχεται δωρεάν (π.χ. YouTube). Όλοι αυτοί οι παράγοντες, επηρεάζουν από κοινού την QoE και καθιστούν κρίσιμο τον καθορισμό μετρήσιμων παραμέτρων, για την ποσοτικοποίηση της QoE και στη συνέχεια τη σύνδεση της QoE με την QoS, η οποία αποτελεί την τεχνολογική οπτική γωνία της ποιότητας των υπηρεσιών. Στη συνέχεια περιγράφονται διάφορες μέθοδοι αξιολόγησης της QoE.

Οι υποκειμενικές μέθοδοι αξιολόγησης (Subjective Assessment - SA) βασίζονται σε έρευνες πεδίου μέσω ερωτηματολογίων / γκάλοπ (surveys), συνεντεύξεων και στατιστικής δειγματοληψίας χρηστών και πελατών, προκειμένου να αναλυθούν οι τρόποι αντίληψης και οι ανάγκες τους σε σχέση με την ποιότητα υπηρεσίας και δικτύου. Οι αντικειμενικές μέθοδοι αξιολόγησης (Objective Assessment - OA) βασίζονται στην συλλογή και επεξεργασία συμπαγούς ποσοτικοποιήσιμης πληροφορίας από QoS δεδομένα, δηλ. δεδομένα από το δίκτυο και τις συσκευές, παρά από τον χρήστη και τη συμπεριφορά του.

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

### Δομή Εργασίας

Στην εργασία γίνεται, αρχικά, μια ιστορική αναδρομή στην τηλεφωνία και την εξέλιξή της από τα παραδοσιακά σταθερά αναλογικά στα ψηφιακά συστήματα, την κινητή τηλεφωνία και την έλευση του VoIP

Στη συνέχεια, στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο, αναλύεται η τεχνολογία VoIP κυρίως από τεχνική σκοπιά, με αναφορές στη δικτύωση, την αρχιτεκτονική, τα πρωτόκολλα σηματοδοσίας και τις τερματικές συσκευές που χρησιμοποιούνται.

Στο τέταρτο κεφάλαιο εισάγεται η έννοια της Ποιότητας Εμπειρίας ως εξέλιξη της Ποιότητας Υπηρεσίας, με εστίαση στους παραδοσιακούς και σύγχρονους τρόπους υπολογισμού τους.

Στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, διερευνάται η επίδραση των χαρακτηριστικών του δικτύου και των εφαρμογών στο VoIP QoE. Ακολούθως, γίνεται κατηγοριοποίηση των μεθόδων αξιολόγησης του VoIP QoE και ανάλυσή τους.

Τα συμπεράσματα της εργασίας συγκεντρώνονται στο τελευταίο κεφάλαιο.

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από  
ασύρματα δίκτυα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

---

### Η ΚΛΑΣΣΙΚΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ VOIP

#### 2.1 Ιστορική αναδρομή στην κλασική σταθερή τηλεφωνία

Από τα προϊστορικά ακόμα χρόνια ήταν φανερή η ανάγκη των ανθρώπων για επικοινωνία, η οποία μέχρι και τον Μεσαίωνα βασιζόταν σε δύο βασικά είδη τηλεπικοινωνιών: την οπτική τηλεπικοινωνία και την ακουστική. Το παλαιότερο γνωστό σύστημα επικοινωνίας ήταν οι Φρυκτωρίες.

Οι Φρυκτωρίες χρησιμοποιήθηκαν στην αρχαία Ελλάδα για την μεταφορά μηνυμάτων σε μεγάλες χιλιομετρικές αποστάσεις. Τα μηνύματα μεταδίδονταν με αναμμένους δαυλούς κατά την διάρκεια της νύχτας ή με πυκνούς καπνούς κατά την διάρκεια της ημέρας. Υπάρχουν γραπτές μαρτυρίες σύμφωνα με τις οποίες, οι αρχαίοι Έλληνες χρησιμοποιούσαν τη φωτιά για να μεταδώσουν προσυμφωνημένα μηνύματα. Παράδειγμα αποτελεί η είδηση για την είσοδο του Δούρειου Ίππου στην Τροία από τον Σίνωνα προς τον Αγαμέμνονα και το μήνυμα με πυρσό που έστειλε ο Αγαμέμνονας προς τον ελληνικό στόλο στην Τένεδο, δίνοντάς του το σήμα της επιστροφής και κατάληψης της ανοχύρωτης Τροίας.

Εφευρέσεις όπως το ακουστικό κέρασ, ο οπτικός τηλέγραφος του Πολύβιου (ή πυρσεία), ο υδραυλικός τηλέγραφος του Αινεία του Τακτικού και το σύστημα των φρυκτωριών έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών.

Πολλοί, λοιπόν, ήταν εκείνοι που στα ύστερα χρόνια τις βελτίωσαν ή έκαναν εφευρέσεις βασισμένες πάνω σε αυτές. Αρκετά χρόνια αργότερα, με την βιομηχανική επανάσταση η ανάγκη για ένα γρήγορο και αξιόπιστο μέσο επικοινωνίας είχε γίνει

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

πλέον επιτακτική. Έτσι δεν άργησε να εμφανιστεί ο σπουδαιότερος πρόδρομος του τηλεφώνου ο τηλεγράφος.

Η ιδέα του τηλεγράφου αν και προέρχεται, όπως είδαμε προηγουμένως, από τα αρχαία χρόνια υλοποιήθηκε το 1774 από τον Ελβετό George Luis που κατασκεύασε μια πρώιμη μορφή τηλεγράφου, αργότερα εμφανίστηκαν οι τηλεγράφοι του Semmering (1810), του Ampere και των Cooke και Wheatstone. Ο Αμερικανός, όμως, Samuel Morse (1791-1872) το 1837 παρουσίασε τον τηλεγράφο του που είχε την δυνατότητα να μεταδίδει μηνύματα σε πολύ μακρινές αποστάσεις γρήγορα και χωρίς μεγάλο κόστος. Το πρώτο μήνυμα από αυτόν τον τηλεγράφο στάλθηκε το 1844 από την Ουάσιγκτον στην Βαλτιμόρη.

Το έτος 1875 επαναλήφθηκε η ιστορία με τον Morse και τον τηλεγράφο: Ένας φαινομενικά άσχετος με την Τεχνική, ο καθηγητής φυσιολογίας της φωνής, Alexander Graham Bell (Μπελ, 1847-1922), παρουσίασε ένα σύστημα τηλεμετάδοσης της ανθρώπινης ομιλίας, ένα τηλέφωνο. Για την ακρίβεια, ο Μπελ επινόησε τον ηλεκτρομαγνητικό μετατροπέα ήχου. Στο στενό σημείο ενός χωνιού τοποθέτησε μια λεπτή μεταλλική μεμβράνη και ακριβώς δίπλα της βρισκόταν ένα πηνίο, τυλιγμένο σε μία μαγνητική ράβδο. Οι ταλαντώσεις της μεμβράνης από τα ηχητικά κύματα παρήγαγαν στο πηνίο ασθενή ηλεκτρική τάση. Στην άλλη άκρη η ίδια διάταξη λειτουργούσε ως μεγάφωνο. Οι μεταβολές του ρεύματος στο πηνίο προκαλούσαν ταλαντώσεις στη μεμβράνη, η οποία δημιουργούσε έτσι ηχητικά κύματα.

Μετά την εφεύρεση όμως του μικροφώνου από τον Αμερικανό Χίγκς το 1877, το τηλέφωνο άρχισε να εξελίσσεται και να χρησιμοποιείται για τη σύνδεση μακρινών αποστάσεων. Το μικρόφωνο αυτό περιλάμβανε μικρή ράβδο από άνθρακα η οποία περιβαλλόταν από δυο στρώματα άνθρακα. Στην αρχή μικρόφωνο και ακουστικό ήταν τοποθετημένα μαζί. Το τηλέφωνο πέρασε από διάφορα στάδια για να φτάσει στη σημερινή του μορφή.

Η εφεύρεση του Μπελ ήταν η αρχή για μία ραγδαία εξέλιξη της τηλεφωνίας: Ήδη το έτος 1878 ιδρύθηκε στο New Haven των ΗΠΑ το πρώτο δημόσιο τηλεφωνικό

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

δίκτυο με 21 συνδρομητές. Το 1881 εγκαταστάθηκε το πρώτο τηλεφωνικό δίκτυο της Ευρώπης στο Άμστερνταμ με 49 συνδρομητές. Στα πρώτα χρόνια λειτουργούσαν όλα τα τηλεφωνικά δίκτυα με κλήση στο κέντρο και παραγγελία της σύνδεσης. Συγκεκριμένα, αν ήθελε κάποιος να τηλεφωνήσει, σήκωνε το ακουστικό και γύριζε τη μανιβέλα του επαγωγέα. Με αυτό τον τρόπο έφτανε ένα σήμα στην τηλεφωνήτρια, η οποία μετέτρεπε την παραγγελία για επικοινωνία με κάποιο συνδρομητή σε σύνδεση στον κεντρικό τηλεφωνικό πίνακα. Η αυτόματη τηλεφωνία άρχισε να λειτουργεί κάποια χρόνια αργότερα και διαδόθηκε σταδιακά. Από το 1895 λειτούργησε η πρώτη διεθνής σύνδεση μεταξύ Ολλανδίας και Βελγίου.

Στην Ελλάδα το πρώτο τηλεφωνικό κέντρο κατασκευάστηκε το 1931 και με σύμβαση που έκανε το κράτος με τη γερμανική εταιρεία Siemens κατασκευάστηκαν τα πρώτα αυτόματα τηλεφωνικά κέντρα. Στις 23 Οκτωβρίου του 1949 λαμβάνει χώρα η επίσημη κρατική εισαγωγή της τηλεφωνίας στην Ελλάδα. Είναι η μέρα όπου ιδρύεται ο Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών Ελλάδας - Ο.Τ.Ε. (Ν.Δ.1049/49) και στις 10 Νοεμβρίου του 1949, γίνονται τα επίσημα εγκαίνια των εργασιών του Ο.Τ.Ε. Το 1965 αυτοματοποιείται το υπεραστικό τηλεφωνικό δίκτυο της χώρας και το 1968 ποντίζεται το υποβρύχιο καλώδιο Ελλάδας - Ιταλίας, MED-3. Το 1970 τοποθετείται η πρώτη κεραία του Κέντρου Δορυφορικών Επικοινωνιών Θερμοπυλών (η 6η στην Ευρώπη) και στις 20 Νοεμβρίου 1989 λειτουργεί στην Πάτρα το πρώτο πλήρες ψηφιακό τηλεφωνικό κέντρο του συστήματος AXE-10/ERICSSON.

### 2.2 Από τα αναλογικά στα ψηφιακά συστήματα επικοινωνιών

Ένα αναλογικό σύστημα επικοινωνίας: μεταφέρει μια αναλογική πηγή στον προορισμό (π.χ. Ένα καλώδιο που συνδέει τα ηχεία με την κάρτα ήχου). Ένα ψηφιακό σύστημα επικοινωνίας: μεταφέρει μια ψηφιακή πηγή στο προορισμό (π.χ. Ένα καλώδιο usb που συνδέει ένα εξωτερικό σκληρό δίσκο με τον Η/Υ).



## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

Η ψηφιακή αναπαράσταση της πληροφορίας είναι απόλυτα κατανοητή από τον υπολογιστή αλλά δεν είναι καθόλου χρήσιμη στον άνθρωπο. Αυτό σημαίνει ότι για να γίνει η παρουσίαση της από ένα σύστημα πολυμέσων πρέπει πρώτα να μετατραπεί σε αναλογική. Η διαδικασία αυτή είναι η αντίστροφη της Α/Ψ και συμβολίζεται ως Ψ/Α. Κάθε τύπος πληροφορίας έχει διαφορετικές ανάγκες Α/Ψ και Ψ/Α μετατροπής.

Το κείμενο, τα γραφικά γενικά όλα τα μέσα που έχουν συντεθεί σε υπολογιστή, δεν χρειάζονται Α/Ψ μετατροπή αφού δημιουργούνται εξ' αρχής σε δυαδική μορφή. Για να τα δούμε όμως στην οθόνη, πρέπει να γίνει κατάλληλη Ψ/Α μετατροπή.

Αντίθετα ο ηχογραφημένος ήχος, το χειρόγραφο κείμενο και γενικά όλα τα captured media απαιτούν Α/Ψ και Ψ/Α.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της ψηφιακής αναπαράστασης είναι η ομοιομορφία. Όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω, όλα τα είδη πληροφορίας μπορούν να έρθουν σε ψηφιακή μορφή και να αντιμετωπισθούν με τον ίδιο τρόπο και από το ίδιο υλικό (ίδια μέσα αποθήκευσης, ίδια δίκτυα...). Αυτό έχει ως συνέπεια τη δυνατότητα χρησιμοποίησης των ίδιων μέσων αποθήκευσης και μετάδοσης δηλαδή την επίτευξη μεγαλύτερου βαθμού ολοκλήρωσης. Να υπενθυμίσουμε σε αυτό το σημείο ότι στην πράξη οι διαφορετικές απαιτήσεις μεγέθους αποθήκευσης και ταχύτητας μετάδοσης των διαφόρων μέσων διαταράσσουν αυτή την ομοιομορφία. Υπάρχουν όμως και άλλα πλεονεκτήματα.

Η μετάδοση ψηφιακών σημάτων αντί για αναλογικά έχει πολλά ακόμα πλεονεκτήματα πέραν της ολοκλήρωσης. Είναι λιγότερο ευαίσθητη στον θόρυβο, η διαδικασία αναγέννησης του μεταδιδόμενου σήματος είναι πιο εύκολη, μπορεί να υλοποιηθεί διαδικασία ανίχνευσης και διόρθωσης λαθών και, τέλος, η κρυπτογράφηση της πληροφορίας είναι επίσης πιο εύκολη.

Η πληροφορία που βρίσκεται αποθηκευμένη στον υπολογιστή μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους:

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

- να υποστεί επεξεργασία με στόχο την ανάλυση της σημασιολογίας της ή την βελτίωση της ποιότητας της
- να δημιουργηθούν δομές δεδομένων που επιταχύνουν και διευκολύνουν την αναζήτηση
- να χρησιμοποιηθεί εύκολα για την δημιουργία νέων πολυμεσικών εγγράφων

Το κύριο μειονέκτημα της ψηφιακής αναπαράστασης συνεχών μέσων είναι η παραμόρφωση που εισάγει η διαδικασία δειγματοληψίας και κβαντοποίησης. Αφενός, αγνοώντας κάποιες τιμές του αναλογικού σήματος χάνουμε πληροφορία και αφετέρου, η προσέγγιση της πραγματικής τιμής του σήματος με μια από τις διαθέσιμες στάθμες περιέχει πάντοτε κάποιο ποσοστό λάθους. Αυτή η παραμόρφωση ελαττώνεται όσο αυξάνεται η συχνότητα δειγματοληψίας και το μήκος της λέξης. Τότε όμως αυξάνεται και ο όγκος που καταλαμβάνει η πληροφορία και κατά συνέπεια απαιτούνται μεγαλύτερα αποθηκευτικά μέσα, πιο γρήγορα μέσα μετάδοσης και ταχύτερες μονάδες επεξεργασίας. Η σημερινή τεχνολογία και οι προβλέψεις για το μέλλον δείχνουν ότι αυτό το μειονέκτημα θα ξεπεραστεί ακόμα και για τους πιο απαιτητικούς τύπους πληροφορίας (Νικολαΐδης, 2008).

Καθώς το τηλέφωνο εξελισσόταν και έπαιρνε μια ολοένα και σημαντικότερη θέση στην καθημερινότητα του απλού ανθρώπου, είχαν ήδη αρχίσει να γίνονται τα πρώτα βήματα για μια από τις σημαντικότερες ανακαλύψεις του 20ού αιώνα το Διαδίκτυο (Internet).

Παράλληλα με την εξέλιξη των υπολογιστών πραγματοποιήθηκε και ο εκσυγχρονισμός των ενσύρματων (από το καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους στην οπτική ίνα) και ασύρματων (από την εκπομπή και λήψη ραδιοκυμάτων, στην εκτόξευση δορυφόρων και επικοινωνία μέσω μικροκυμάτων) δικτύων.

Η ραγδαία εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών και δικτύων έκανε πρόσφορο το έδαφος για την εισαγωγή του διαδικτύου και πιο εξελιγμένων μορφών επικοινωνίας όπως ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (e-mail), εφαρμογές άμεσων

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

μηνυμάτων (Instant Messaging), συνδιάλεξη μέσω βίντεο (Video Conference), με την αντικατάσταση των αναλογικών τηλεφωνικών συσκευών σε ψηφιακά συστήματα επικοινωνίας.

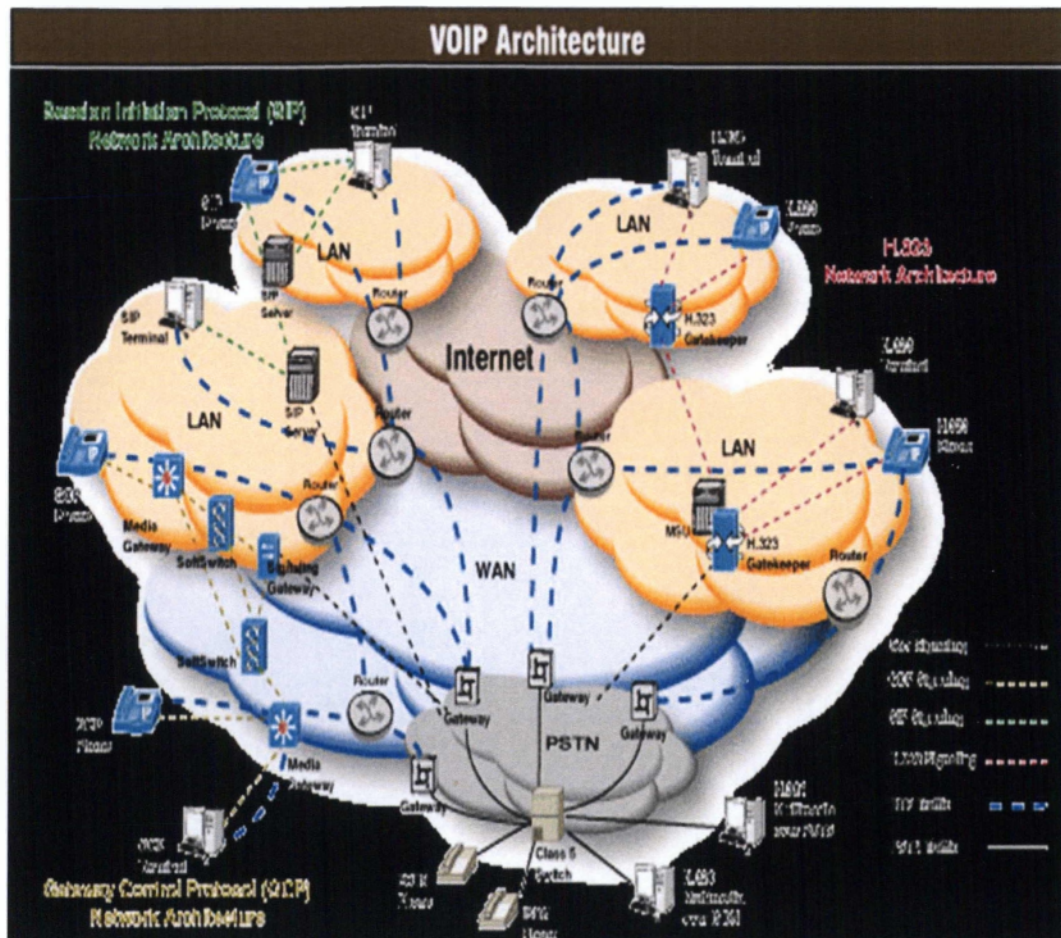
### 2.3 Το VoIP

Το Voice over IP ή VoIP (VVOIP ή Video and Voice over IP αποτελεί την επέκταση του VoIP ώστε να περιλαμβάνει και την αποστολή εικόνας ) ή τηλεφωνία μέσω διαδικτύου ή σωστότερα ΦεΔΠ δηλαδή "Φωνή επί διαδικτυακού πρωτοκόλλου", χαρακτηρίζει μια ομάδα πρωτοκόλλων-τεχνολογιών (H.323, SIP), η οποία προσφέρει φωνητική συνομιλία σε πραγματικό χρόνο με σχετικά καλή ποιότητα πλέον και στην ουσία χωρίς κόστος.

Οι συνομιλίες αυτές παραδοσιακά γίνονταν αποκλειστικά μέσω προσωπικών υπολογιστών που ήταν συνδεδεμένοι με το Διαδίκτυο (Internet) και διέθεταν μικρόφωνο, ακουστικά και το κατάλληλο λογισμικό. Η κλήση κατέληγε σε ένα άλλο, ανάλογα εξοπλισμένο, προσωπικό υπολογιστή χωρίς να υπάρχει κάποια επιπλέον χρέωση, εκτός από αυτή της πρόσβασης στο Διαδίκτυο, αφού στη συγκεκριμένη επικοινωνία δεν μεσολαβεί κάποιος παραδοσιακός φορέας τηλεπικοινωνιών (π.χ. ΟΤΕ) παρά μόνο το Διαδίκτυο. Για την πραγματοποίηση κλήσεων μέσω VoIP, ο χρήστης χρειάζεται ένα πρόγραμμα τηλεφώνου (software) ή ένα τηλέφωνο VoIP (hardware). Οι τηλεφωνικές κλήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν προς οποιοδήποτε προορισμό/ άτομο: προς αριθμούς VoIP, καθώς και προς άτομα που διαθέτουν κανονικούς αριθμούς τηλεφώνου. Τον τελευταίο καιρό έχουν εμφανιστεί οι λεγόμενοι εναλλακτικοί τηλεπικοινωνιακοί φορείς, οι οποίοι προσφέρουν προώθηση των κλήσεων VoIP σε σταθερά δίκτυα τηλεπικοινωνιών σε εξαιρετικά χαμηλό κόστος, αλλά όχι το αντίστροφο. Μερικοί εξ αυτών έχουν παρουσιάσει και ειδικές τηλεφωνικές συσκευές USB VoIP, οι οποίες συνεργάζονται με το αντίστοιχο λογισμικό στον Η/Υ και καθιστούν τις κλήσεις μέσω Διαδικτύου σαφώς πιο λειτουργικές.

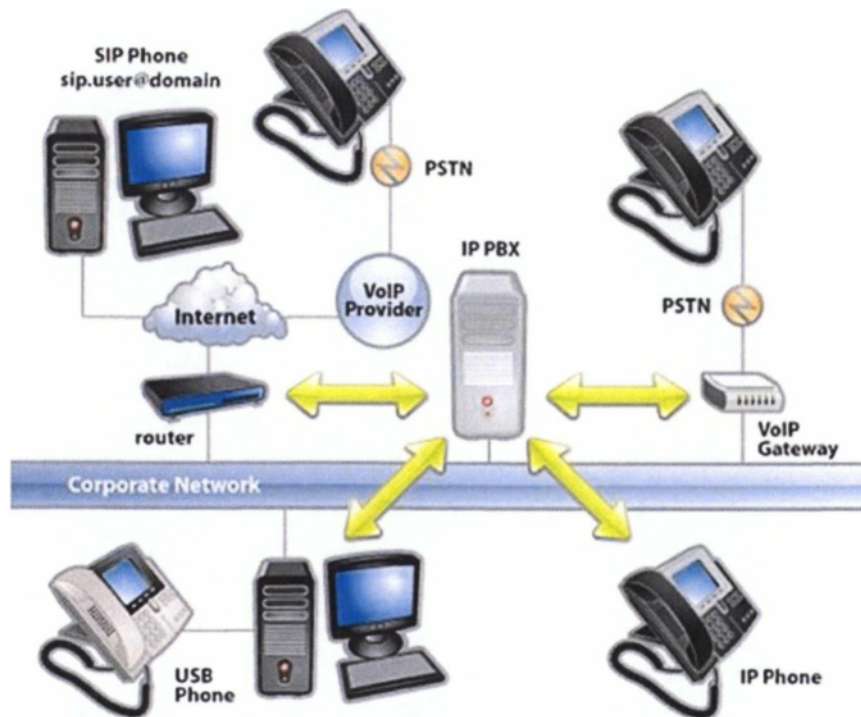
## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

Στα σχήματα 2.1 και 2.2 μπορούμε να δούμε την αρχιτεκτονική ενός μητροπολιτικού VoIP συστήματος και ενός μικρού γραφείου με IP-PBX.



Σχήμα 2.1: Αρχιτεκτονική τηλεφωνικού συστήματος (Rappaport, 2006).

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα



Σχήμα 2.2: Μικρό VoIP δίκτυο (Rappaport, 2006).

## 2.4 Εξέλιξη κινητών συστημάτων

Τα κινητά συστήματα είναι τηλεπικοινωνιακά συστήματα που εξασφαλίζουν την επικοινωνία μεταξύ δύο ή περισσότερων κινούμενων χρηστών με ασύρματη σύνδεση. Παρέχουν τη δυνατότητα στους χρήστες να κινούνται ελεύθερα σε μια γεωγραφική περιοχή, και να επικοινωνούν μέσω υπηρεσιών φωνής και δεδομένων οπουδήποτε στον κόσμο.

Κάνοντας μια ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη των κινητών συστημάτων διαπιστώνουμε ότι πρώτος ο Guglielmo Marconi παρουσίασε τις δυνατότητες των ραδιοεπικοινωνιών μεταξύ ανθρώπων που βρίσκονται εν κινήσει. Για πρώτη φορά τότε επιτεύχθηκε η επικοινωνία και η παροχή συνεχούς επαφής με τα πλοία που έπλεαν στο στενό της Μάγχης, που πραγματοποιήθηκε το 1897, και έκτοτε

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

εμφανίστηκαν πολλές νέες μέθοδοι και υπηρεσίες που αφορούν τις ασύρματες επικοινωνίες (Κωτσόπουλος, 1997). Σημειώνεται πως η εταιρία που προσέφερε πρώτη υπηρεσίες μέσω κινητού τηλεφώνου ήταν η Αμερικανική Τηλεφωνική και Τηλεγραφική Εταιρεία AT&T και αυτό έγινε το 1946. Η υπηρεσία αυτή δεν ήταν κυψελοειδής και ο σταθμός βάσης της είχε εμβέλεια που έφτανε σχεδόν τα 100km.

Τα πρώτα κινητά συστήματα χρησιμοποιούσαν διαμόρφωση Συχνότητας (FM - Frequency Modulation) και απαιτούσαν φάσμα εύρους 120 KHz για να μεταδώσουν το τηλεφωνικό φάσμα φωνής 3,1 KHz. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούσαν για τη μετάδοση πολύ μεγάλες συσκευές που ήταν εγκατεστημένες σε αυτοκίνητα και είχαν πολύ μικρή χωρητικότητα. Επόμενο βήμα αποτέλεσε η χρήση μεθόδων συγκέντρωσης (trunking) – ώστε να μειωθεί ο περιορισμός της απαίτησης για αποκλειστική ζεύξη σε κάθε χρηστή (Rappaport, 2006).

Τα συστήματα κινητών τηλεφώνων που υπήρχαν, πριν αναπτυχθούν τα κυψελοειδή συστήματα, λειτουργούσαν με πολλούς περιορισμούς. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα οι ανάγκες που είχαν οι συνδρομητές για εξυπηρέτηση να μην καλύπτονται επαρκώς.

Τα βασικά μειονεκτήματα των συστημάτων αυτών ήταν (Rappaport, 2006):

- Η περιορισμένη χωρητικότητα του δικτύου που οφειλόταν στους περιορισμούς που υπήρχαν στο εύρος ζώνης των διαθέσιμων ραδιοσυχνοτήτων, αλλά και στην οργάνωση του δικτύου.
- Ο μικρός βαθμός της ποιότητας της επικοινωνίας που παρείχαν, εξαιτίας της ελλιπούς επεξεργασίας στη φωνή και της χρήσης μη αποδοτικών διαμορφώσεων.
- Ο χαμηλός βαθμός του επιπέδου φιλικότητας των συστημάτων προς τους χρήστες.

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

- Η μικρή απόδοση των ίδιων των συστημάτων, λόγω της ευαισθησίας που υπήρχε στις υπάρχουσες ατμοσφαιρικές συνθήκες.
- Το σύννηθες φαινόμενο εμφάνισης παρεμβολών.
- Το σχετικά μεγάλο κόστος για τους συνδρομητές.
- Η μη επιτυχής κάλυψη μεγάλων γεωγραφικών περιοχών.
- Η όχι ικανοποιητική χρήση του διαθέσιμου φάσματος συχνότητας.

Ο τελευταίος αυτός περιορισμός, δηλαδή της μη ικανοποιητικής χρήσης του φάσματος συχνοτήτων που ήταν διαθέσιμο, είναι πολύ σημαντικός. Αυτό ήταν απόρροια της περιορισμένης ποσότητας φάσματος που χρησιμοποιούνταν στις τηλεπικοινωνίες. Η εμφάνιση όμως των κυψελοειδών συστημάτων κινητών επικοινωνιών περιόρισε σε μεγάλο βαθμό και αυτό αλλά και τα προηγούμενα μειονεκτήματα που προαναφέρθηκαν.

Τα κυψελοειδή συστήματα ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο μεταδίδουν την πληροφορία (αναλογικός ή ψηφιακός), χωρίζονται σε αναλογικά και ψηφιακά. Τα ψηφιακά συστήματα πλεονεκτούν σε πολλά σημεία από τα αναλογικά, τα οποία είναι πιο παλιά και εξαιτίας της μικρής τους χωρητικότητας τείνουν να αντικατασταθούν.

Τα κυψελοειδή συστήματα πρωτοεμφανίστηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 70. Από τότε η πορεία εξέλιξης τους ήταν πολύ σημαντική. Το 1979 η NTT/Japan ανέπτυξε το πρώτο κυψελοειδές κινητό σύστημα, ενώ το 1983 εμφανίστηκε το Advanced Mobile Phone System (AMPS) στην Αμερική. Η Ευρώπη απάντησε το 1989 με το ψηφιακό σύστημα GSM (Groupe Special Mobile) το οποίο είναι, παγκοσμίως, το κυρίαρχο πρότυπο. Το GSM λειτούργησε το 1990 και οι συχνότητες λειτουργίας του καθορίστηκαν στα 900 MHz. Έπειτα, το 1991 παρουσιάστηκε το DCS1800, που αποτέλεσε εξέλιξη του GSM και οι συχνότητες λειτουργίας του καθορίστηκαν στα 1800 MHz, ενώ το 1994 αναπτύχθηκε και πάλι στην Αμερική μια εκδοχή του GSM γνωστό ως PCS1900 (Rappaport, 2006).

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

Το 2000, άρχισαν οι πρώτες εμπορικές υπηρεσίες του GPRS, το οποίο παρείχε υπηρεσίες δεδομένων, πάνω από GSM υποδομές. Ταυτόχρονα έκαναν την εμφάνισή τους και τα πρώτα κινητά συστήματα με δυνατότητες ευρυζωνικών υπηρεσιών δεδομένων. Το 2001 λειτούργησε το UMTS (W-CDMA) δίκτυο δηλαδή 3ης γενιάς. Το πρώτο δίκτυο HSDPA εμφανίστηκε το 2005 ενώ το 2007 ξεκίνησε το HSUPA δίκτυο. Τα 2 τελευταία αποτελούν παραλλαγές των «κλασσικών» 2/3G δικτύων με αυξημένες δυνατότητες διαμεταγωγής δεδομένων στην ζεύξη καθόδου (Downlink) και ανόδου (Uplink) αντίστοιχα.

Τα 4ης γενιάς δίκτυα υποστηρίζουν ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων πιο υψηλούς, τουλάχιστον κατά μια τάξη μεγέθους, και επαρκή ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service - QoS) σε σχέση με τα δίκτυα 3ης γενιάς. Η κατανομή του φάσματος είναι τέτοια ώστε να υποστηρίζονται οι υψηλοί αυτοί ρυθμοί πάνω από κυψέλες μεσαίου μεγέθους. Οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων είναι 100Mbps και άνω και παρέχουν υπηρεσίες πολυμέσων με χαμηλό κόστος. Τα δίκτυα αυτά αποτελούνται εξ' ολοκλήρου από κυκλώματα μεταγωγής πακέτου, ενώ όλα τα στοιχεία τους είναι ψηφιακά. Τέλος, σημαντικό χαρακτηριστικό των δικτύων 4ης γενιάς είναι η μικρή ιεραρχία στην αρχιτεκτονική, με σημεία πρόσβασης και τερματικά που υποστηρίζουν πολλαπλούς τρόπους πρόσβασης.

Τα 4ης γενιάς δίκτυα, από τεχνολογικής άποψης, παρουσιάζουν τα ακόλουθα βασικά χαρακτηριστικά:

- Υψηλό ρυθμό μετάδοσης πληροφορίας.
- Μεγαλύτερη χωρητικότητα και μικρότερο κόστος ανά bit.
- Εξαιρετική ποιότητα παροχής υπηρεσιών (QoS) - βελτιωμένη συνδεσιμότητα.
- Υποστήριξη Internet νέας γενιάς.
- Προσαρμογή της φυσικής και της λογικής πρόσβασης (physical & MAC interface) αναλόγως του δικτύου που χρησιμοποιείται κάθε φορά.



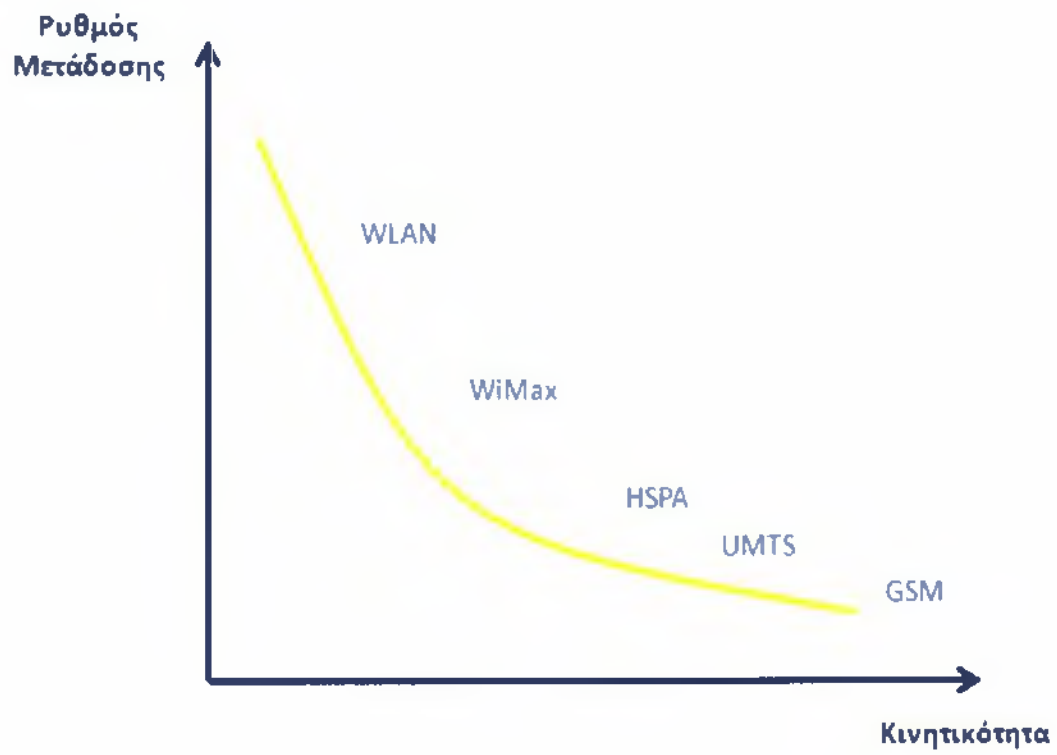
Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

- Ομαλή διασύνδεση με συστήματα 3G, ασύρματα δίκτυα υπολογιστών (WLAN) και σταθερά δίκτυα φωνής και δεδομένων.
- Καλή χωρική κάλυψη με μεταβλητή ταχύτητα μετάδοσης.
- Υψηλότερες χρησιμοποιούμενες συχνότητες.
- Χρησιμοποίηση πολλαπλών κεραιών.

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά των δικτύων 4ης γενιάς εξυπηρετούν ένα μεγάλο αριθμό χρηστών και καλύπτουν υπηρεσίες οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Αυτό οφείλεται στην υψηλότερη επάρκεια φάσματος που επιτυγχάνεται με τη χρήση καινοτόμων τεχνικών στις διεπαφές ραδιοεπικοινωνίας και τον εμπλουτισμό των τεχνικών κάλυψης (Mayuri, 2012, Fricke, 2012, Swedenburg, 2010, Munva, 2012).

Παράλληλα με την εξέλιξη των κινητών κυψελοειδών δικτύων, αναπτύσσονται άλλες τεχνολογίες όπως η «οικογένειες» πρωτοκόλλων IEEE 802.11 και IEEE 802.16 (γνωστές με τις εμπορικές τους ονομασίες WiFi και WiMax αντίστοιχα), οι οποίες παρέχουν ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση σε σταθμούς με περιορισμένη κινητικότητα σε σχέση με τα 2G/3G δίκτυα. Στο Σχήμα 2.1 που ακολουθεί περιγράφεται η εξέλιξη στα ασύρματα κυψελοειδή συστήματα με βάση τους ρυθμούς μετάδοσης σε συνάρτηση με την κινητικότητα των χρηστών.

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

---

### ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ VOIP ΣΤΑ ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

#### 3.1 Εισαγωγή

Το Voice over IP (γνωστό και ως VoIP, Τηλεφωνία IP και Τηλεφωνία μέσω Διαδικτύου) αφορά μία τεχνολογία που καθιστά δυνατή τη δρομολόγηση φωνητικών συνδιαλέξεων μέσω του Διαδικτύου ή ενός δικτύου υπολογιστών. Οι τηλεφωνικές κλήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν προς οποιοδήποτε προορισμό/άτομο: προς αριθμούς VoIP, καθώς και προς άτομα που διαθέτουν κανονικούς αριθμούς τηλεφώνου.

Το VoIP είναι μια μέθοδος, όπου αναλογικά ακουστικά σήματα, όπως η φωνή, μετατρέπονται σε ψηφιακά πακέτα δεδομένων και μεταδίδονται μέσω δικτύου.

Οι παραδοσιακές τηλεφωνικές υπηρεσίες παίρνουν τη φωνή και την μετατρέπουν σε ηλεκτρονικό σήμα, το οποίο μεταδίδεται μέσω εταιρικών τηλεφωνικών καλωδίων. Το σήμα αυτό μετατρέπεται στη συνέχεια σε ήχο, μέσω του τηλεφώνου δέκτη.

Από την άλλη πλευρά, το VoIP διαχειρίζεται τη φωνή όπως και κάθε άλλη πληροφορία που αποστέλλεται μέσω Διαδικτύου, μετατρέποντας την σε πακέτα δεδομένων. Τα πακέτα αυτά κωδικοποιούνται σε αρχεία δεδομένων, αποστέλλονται μέσω Διαδικτύου και κωδικοποιούνται πάλι σε ήχο από κάποιον υπολογιστή ή άλλη συσκευή (π.χ. έναν μετατροπέα τηλεφώνου VoIP).

Για να χρησιμοποιήσει κάποιος τις VoIP υπηρεσίες χρειάζεται τον κατάλληλο εξοπλισμό VoIP, software ή/και hardware, σύνδεση στο internet, κατά προτίμηση ADSL, και ένα λογαριασμό σε κάποιον VoIP πάροχο.

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

Για το VoIP δεν είναι απαραίτητη η ευρυζωνική σύνδεση στο internet, καθώς μπορεί να λειτουργήσει και με απλές dial-up (ISDN ή PSTN) συνδέσεις. Ωστόσο η μόνιμη σύνδεση και το μεγάλο bandwidth που προσφέρουν οι ευρυζωνικές συνδέσεις, βελτιώνουν την ποιότητα της επικοινωνίας.

Τέλος, οι υπηρεσίες VoIP τηλεφωνίας δεν είναι προνόμιο μόνο των χρηστών του internet, καθώς μέσω της αρχιτεκτονικής IMS (IP multimedia Subsystem) είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν υπηρεσίες VoIP τηλεφωνίας από τα κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς (3G) και μετά (Hardy, 2003, Davidson, 2006, Johnston, 2006, Hersent, 2005, Petit2005, Ahson, 2009, Walker, 2002). Οι φωνητικές κλήσεις στα δίκτυα 2G (GSM) και 3G (UMTS, CDMA2000) γίνονται με μεταγωγή κυκλώματος και το VoIP μπορεί να υποστηριχτεί μόνο ως συμπληρωματική υπηρεσία πάνω στις δυνατότητες αυτών των δικτύων να υποστηρίζουν IP υπηρεσίες. Αντίθετα, στα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς (4G – UMTS LTE), η πλήρης υποστήριξη μεταγωγής πακέτου (all-IP network) σήμανε την επανασχεδίαση του δικτύου, για την υποστήριξη εγγενώς των φωνητικών κλήσεων πάνω από IP, κάτι που είναι γνωστό ως Voice over LTE (VoLTE). Το VoLTE έχει μέχρι και 3 φορές μεγαλύτερη δυνατότητα για την υποστήριξη καναλιών φωνής σε σχέση με το 3G UMTS και μέχρι 6 φορές σε σχέση με το 2G GSM (Elkin, 2014).

### 3.2 Πλεονεκτήματα VoIP

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του VoIP είναι το μειωμένο κόστος. Οι υπηρεσίες VoIP είναι πολύ φθηνότερες από τις παραδοσιακές τηλεφωνικές υπηρεσίες και, σε ορισμένες περιπτώσεις, ακόμα και δωρεάν.

Άλλο πλεονέκτημα του VoIP είναι η φορητότητά του – καθώς χρησιμοποιεί το παγκόσμιο δίκτυο του Διαδικτύου, οι χρήστες δεν δεσμεύονται με κάποια συγκεκριμένη τοποθεσία, για διάφορες υπηρεσίες.

Τέλος, συμπληρωματικές υπηρεσίες όπως αναμονή κλήσης, εκτροπή κλήσης, ένδειξη αριθμού του καλούντος, IVR (δρομολόγηση της κλήσης στο κατάλληλο

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

νούμερο ανάλογα με τις επιλογές), που πολλοί πάροχοι τις χρεώνουν επιπλέον, είναι δωρεάν σε εφαρμογές ανοιχτού κώδικα για το VoIP όπως είναι το asterisk και το trixbox (Elkin, 2014).

### 3.3 Μειονεκτήματα VoIP

Η τεχνολογία VoIP προσπαθεί να περάσει φωνή πάνω από μία υποδομή η οποία δεν σχεδιάστηκε αρχικά γι' αυτό το σκοπό. Επίσης, η φωνή περνάει πάνω από ένα δίκτυο το οποίο μεταφέρει κι άλλα δεδομένα, κάτι το οποίο μπορεί να δημιουργήσει διακοπές στην συνομιλία. Ωστόσο, μέτρα μπορούν και έχουν παρθεί ώστε να εξασφαλιστεί η ποιότητα της φωνής δίνοντας σχεδόν την ίδια ποιότητα με την συμβατική τηλεφωνία και σχεδόν την ίδια διαθεσιμότητα.

Το βασικό πρόβλημα με το VoIP είναι η ποιότητα της επικοινωνίας. Για να υπάρχει όσο το δυνατόν καλύτερο αποτέλεσμα αυτό που θέλουμε είναι να μην υπάρχουν χαμένα πακέτα, και ο χρόνος που κάνει το κάθε πακέτο για να φτάσει από τον αποστολέα στον αποδέκτη να είναι ο μικρότερος δυνατός. Ένας χρόνος πάνω από 300ms δημιουργεί πρόβλημα στην επικοινωνία.

Ένα σοβαρό θέμα που έχει προκύψει με τις κλήσεις μέσω internet είναι το κατά πόσο είναι ασφαλείς. Δυστυχώς, από τη στιγμή που το σήμα γίνεται ψηφιακό, και “σπάει” σε πολλά πακέτα, μπορεί κάποιος εύκολα να τα υποκλέψει και εν τέλει να αναπαράγει την συνομιλία. Η μόνη λύση για να προστατευτεί κάποιος από αυτό είναι με την κρυπτογράφηση των δεδομένων και τη χρήση κάποιου software ή hardware firewall, κάτι που όμως και πάλι δεν μπορεί να του εξασφαλίσει 100% ότι οι συνομιλίες του δεν θα διαρρεύσουν σε κάποιον.

Ένα άλλο πρόβλημα εμφανίζεται με τις κλήσεις ανάγκης. Χρησιμοποιώντας μια τηλεφωνική γραμμή ο πάροχος ξέρει σε ποιο σημείο είμαστε και έτσι μπορεί να κατευθύνει την κλήση στο πλησιέστερο τμήμα εξυπηρέτησης. Με το VoIP όμως κάτι τέτοιο δεν είναι εύκολο. Ο λόγος είναι ότι καθώς η IP από την οποία γίνεται η κλήση

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

μπορεί να είναι δυναμική ή να βγαίνει μέσα από κάποιο ιδιωτικό δίκτυο, το τηλεφωνικό κέντρο δεν έχει τη δυνατότητα να ξέρει το σημείο της κλήσης.

Τέλος ένα ακόμα μειονέκτημα του VoIP είναι ότι είναι άμεσα εξαρτημένος ο χρήστης από την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και από τον πάροχο του Internet (Hardy, 2003, Davidson, 2006, Johnston, 2006, Hersent, 2005, Petit2005, Ahson, 2009, Walker, 2002).

### 3.4 Εξοπλισμός VoIP

Για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε την VoIP τηλεφωνία πρέπει να προμηθευτούμε τις απαραίτητες συσκευές και λογισμικό που θα μας επιτρέψουν να πραγματοποιήσουμε τις κλήσεις.

Οι περισσότερες εταιρίες που δημιουργούν λογισμικό για VoIP κλήσεις το διαθέτουν δωρεάν και το μόνο που χρειάζεται να κάνει ο χρήστης από τη μεριά του είναι να κάνει ένα account σε κάποιον VoIP πάροχο και να ρυθμίσει κατάλληλα το λογισμικό που θέλει να χρησιμοποιήσει.

Οι VoIP συσκευές που κυκλοφορούν στο εμπόριο χωρίζονται σε VoIP τηλέφωνα και σε ATA (analog telephone adaptor), δηλαδή μετατροπείς αναλογικών τηλεφώνων. Και εδώ ο χρήστης πρέπει να κάνει τις απαραίτητες ρυθμίσεις για να λειτουργήσουν οι συσκευές.

Άρα οι τρεις λύσεις ενός χρήστη για να πραγματοποιήσει VoIP κλήσεις είναι :

- Με ένα κοινό αναλογικό τηλέφωνο και έναν ATA (analog telephone adaptor) μετατροπέα. Αυτό που κάνει ο ATA μετατροπέας είναι να μετατρέπει το αναλογικό σήμα σε ψηφιακό, μετατρέποντας ένα οποιοδήποτε αναλογικό τηλέφωνο, ασύρματο ή ενσύρματο σε IP τηλέφωνο. Συνδέουμε την τηλεφωνική συσκευή στον ATA και αυτόν στο router/switch. Πλέον οι περισσότερες από αυτές τις συσκευές δίνουν την δυνατότητα στους χρήστες

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

να έχουν δύο γραμμές ενεργές με την ίδια συσκευή. Η μία γραμμή είναι για τον VoIP πάροχο και η άλλη για τον PSTN πάροχο.

- Με IP τηλεφωνικές συσκευές. Αυτές οι συσκευές εξωτερικά είναι όμοιες με τις κοινές τηλεφωνικές συσκευές μόνο που αντί για RJ-11 βύσμα έχουν RJ-45. Έτσι μπορούν να συνδεθούν απευθείας πάνω σε ένα router. Υπάρχουν VoIP τηλέφωνα τα οποία προσφέρουν μέχρι και 4 ταυτόχρονες γραμμές, καμία όμως δεν υποστηρίζει PSTN πάροχο. Έχουν δυνατότητες καταχώρησης αριθμών, αναγνώριση κλήσεων και γενικά όλες τις λειτουργίες που έχουν και τα σύγχρονα αναλογικά τηλέφωνα.
- Με εξειδικευμένο λογισμικό που εξομοιώνει μια τηλεφωνική συσκευή, ένα μικρόφωνο και ηχεία.

### 3.5 Δίκτυα VoIP

Υπάρχουν πολλοί τρόποι ώστε να υλοποιηθεί ένα VoIP δίκτυο. Μπορεί να υλοποιηθεί σε πάνω σε οποιοδήποτε IP δίκτυο όπως LAN, WLAN, WAN, internet, δορυφορικό δίκτυο. Ακόμη και τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας θα μεταφέρουν ευρέως VoIP κίνηση στο σύντομο μέλλον. Ένα VoIP δίκτυο μπορεί επίσης να διασυνδεθεί με PSTN (public switched telephone network) δίκτυα καθώς και δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.

Τα στοιχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα δίκτυο VoIP είναι ποικίλα, όπως συμβατικά τηλέφωνα, ATA, gateways, gatekeepers, PBX, VoIP hard/soft phones:

- VoIP hard phones είναι τερματικές τηλεφωνικές συσκευές με τις οποίες ο χρήστης μπορεί να επικοινωνήσει μέσω τεχνολογιών VoIP. Μπορεί να έχουν και τη μορφή λογισμικού (soft phones). Τα VoIP phones, ανάλογα με τις διεπαφές δικτύου που έχουν, μπορούν να συνδεθούν κατευθείαν στο αντίστοιχο δίκτυο (όπως Ethernet, WiFi).

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

- ATA (Analog Terminal Adapter) είναι συσκευή μέσω της οποίας μια συμβατική τηλεφωνική συσκευή μπορεί να συνδεθεί σε ένα VoIP δίκτυο. Μετατρέπει το αναλογικό σήμα του τηλεφώνου σε VoIP κίνηση και αντίστροφα. Πρακτικά, ένα συμβατικό τηλέφωνο με ένα ATA είναι ίδιο λειτουργικά με ένα VoIP hard phone. Το ATA μερικές φορές αναφέρεται και ως gateway.
- VoIP gateway είναι συσκευή που διασυνδέει συμβατικά τηλεφωνικά δίκτυα και συσκευές με VoIP δίκτυα.

Για να μπορέσει ένας χρήστης να πραγματοποιήσει VoIP κλήσεις, εκμεταλλευόμενος την υπάρχουσα τεχνολογία και χρησιμοποιώντας την με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να πετύχει το επιθυμητό αποτέλεσμα, το οποίο είναι μια κλήση χωρίς ηχώ, διακοπές, καθυστερήσεις κλπ πρέπει να λάβει υπ όψιν του, τους παράγοντες οι οποίοι είναι σε θέση να επηρεάσουν μια VoIP κλήση. Αυτοί οι παράγοντες είναι :

- Ο codec που θα χρησιμοποιηθεί για την μετατροπή και την επεξεργασία των δεδομένων.
- Το διαθέσιμο bandwidth της γραμμής του χρήστη και αν μπορεί με αυτό να αξιοποιήσει την VoIP τεχνολογία.
- Το τυχόν ταυτόχρονο traffic που μπορεί να υπάρχει προερχόμενο από άλλες υπηρεσίες.
- Ο εξοπλισμός που θα επιλεγεί από τον χρήστη.
- Ο VoIP πάροχος του οποίου οι υπηρεσίες θα χρησιμοποιηθούν.
- Και τέλος, στην περίπτωση που θα χρησιμοποιηθεί ένα VoIP τηλεφωνικό κέντρο, οι πόροι του υπολογιστή που θα δουλεύει ως server (Hardy, 2003, Davidson, 2006, Johston, 2006, Hersent, 2005, Petit2005, Ahson, 2009, Walker, 2002).



## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

### 3.5.1 Codecs

Για την κωδικοποίηση του ήχου σε πακέτα δεδομένων απαιτείται κάποιος codec. Codec είναι ένας αλγόριθμος ο οποίος κωδικοποιεί και αποκωδικοποιεί τα διάφορα αναλογικά δεδομένα σε ψηφιακά. Όλοι οι codecs έχουν δημιουργηθεί σύμφωνα με κάποια πρότυπα τα οποία καθορίζουν το πώς θα ψηφιοποιηθούν τα ηχητικά σήματα, πόσο μέγεθος θα έχει το κάθε πακέτο δεδομένων και πόσα πακέτα θα πρέπει να έχουν φτάσει για να γίνει η αποκωδικοποίηση από ψηφιακό σε ηχητικό σήμα.

Από τη στιγμή που η φωνή είναι και αυτή ένα αναλογικό δεδομένο πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποιος αλγόριθμος και από τις δύο πλευρές της συνομιλίας. Στην μεριά του αποστολέα η φωνή κωδικοποιείται, και μεταφέρεται μέσω δικτύου στον δέκτη όπου αποκωδικοποιείται, για να μπορέσει ο δέκτης να καταλάβει τι λέει ο αποστολέας.

Ένας codec ανάλογα με το πόσο υψηλή συμπίεση δεδομένων θα κάνει, τόση περισσότερη ώρα θα χρειαστεί. Αυτό το στοιχείο προσθέτει στη συνολική καθυστέρηση του ήχου. Ένας καλός codec λοιπόν, και έχει καλή ποιότητα, και κάνει τη συμπίεσή στη λιγότερη δυνατή ώρα.

Ο codec που θα διαλέξουν να χρησιμοποιήσουν οι χρήστες παίζει σπουδαίο ρόλο και επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα σε μια VoIP κλήση. Μέσω του codec γίνεται το πρώτο βήμα στη διαδικασία μετάδοσης του ηχητικού σήματος από το ένα άκρο της συνομιλίας στο άλλο.

Ο τρόπος με τον οποίο δουλεύουν οι codecs βασίζεται πάνω στις ίδιες λειτουργίες, στις οποίες όμως δίνεται διαφορετική προτεραιότητα ανάλογα με τον codec. Τα στάδια που ακολουθούνται μέχρι την δημιουργία ενός πακέτου δεδομένων είναι η ψηφιοποίηση, δηλαδή δειγματοληψία, η συμπίεση, και η οργάνωση στη σωστή σειρά και όλα αυτά απαιτούν κάποιο χρόνο. Συνήθως τα πακέτα που δημιουργούν οι codecs είτε είναι μεγάλα σε μέγεθος, με χαμηλή συμπίεση, είτε είναι το ανάποδο, δηλαδή μικρά σε μέγεθος με υψηλή συμπίεση.

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

Στην πρώτη περίπτωση συνήθως ο ήχος είναι καλύτερος καθώς η δειγματοληψία βασίζεται σε πολλά δείγματα και με την χαμηλή συμπίεση το αποτέλεσμα είναι σχεδόν σαν τον αρχικό ήχο. Όμως το μεγάλο μέγεθος των πακέτων είναι ένα σημαντικό μειονέκτημα το οποίο στο τέλος μπορεί να αλλοιώσει την ποιότητα σε μια κλήση λόγω μεγάλων χρόνων καθυστέρησης και απώλεια αρκετών πακέτων δεδομένων.

Στη άλλη περίπτωση, τα μειωμένα σε μέγεθος πακέτα, είναι κάτι το οποίο μπορεί να βοηθήσει αποτελεσματικά την ποιότητα της κλήσης, η υψηλή όμως συμπίεση σημαίνει ότι εξαρχής ο ήχος δεν θα ακουστεί όπως ήταν πριν κωδικοποιηθεί.

Διάφοροι codecs που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι οι : G.711 που είναι ο πιο διαδεδομένος (με μέγιστο MOS 4.4), G.721-3, G.726-29, LPC10, Speex, iLBC, EVRC, DVI, L16.

Το χαρακτηριστικό που κάνει τον G.711 να χρησιμοποιείται περισσότερο από τους άλλους codecs είναι ο μεγάλος βαθμός συμβατότητάς του. Οποιοδήποτε είδος software ή hardware σχετίζεται με VoIP τηλεφωνία, ένας από τους codecs που υποστηρίζει είναι αυτός. Είναι ανοιχτού κώδικα, άρα δωρεάν, κάνει πολύ καλή ψηφιοποίηση δημιουργώντας μέτριο μέγεθος πακέτα. Το μόνο αρνητικό του είναι ότι χρειάζεται, σε σχέση με τους άλλους codecs, περισσότερο bandwidth από τη γραμμή.

Εξίσου καλός είναι και ο G.729 για τον οποίο όμως απαιτείται από τους χρήστες να προμηθευτούν άδεια για την χρήση του. Χρησιμοποιεί λιγότερο bandwidth από τον G.711 και μπορεί να ανταπεξέλθει γρηγορότερα σε τυχόν λάθη κατά την κωδικοποίηση του ηχητικού σήματος.

Θετικό είναι το γεγονός ότι τόσο ο hardware όσο και ο software εξοπλισμός VoIP συνήθως δίνουν την δυνατότητα στον χρήστη να διαλέξει ο ίδιος ποιος codec θα χρησιμοποιηθεί για την πραγματοποίηση των κλήσεων. Αντίστοιχη δυνατότητα δίνουν και ορισμένοι VoIP πάροχοι. Υπάρχουν όμως άλλοι πχ Skype, που είναι το

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

software ρυθμισμένο με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να διαλέγει μόνο του τον κατάλληλο codec ανάλογα με το είδος της γραμμής, το traffic στο δίκτυο, κλπ.

### 3.5.2 Διαθέσιμο bandwidth

Στις μέρες η ευρυζωνικότητα και οι μεγάλες ταχύτητες στον internet είναι γεγονός και για τη χώρα μας, και μάλιστα σε τιμές και πακέτα ιδιαίτερα ελκυστικά, κάτι που μόνο θετικά μπορεί να λειτουργήσει για τον υποψήφιο χρήστη internet. Δυστυχώς όμως, είναι ακόμα γεγονός ότι σε αρκετές περιοχές της Ελλάδας το λεγόμενο γρήγορο internet ακόμα δεν έχει φτάσει εκεί.

Είναι γεγονός ότι η τεχνολογία VoIP δεν απαιτεί μεγάλο μέρος του bandwidth της σύνδεσης, και πάλι όμως, απαιτεί περισσότερο από ότι μπορούν να προσφέρουν οι απλές PSTN συνδέσεις, για να είναι το τελικό ηχητικό αποτέλεσμα το καλύτερο δυνατό.

Σαν αποτέλεσμα των παραπάνω είναι οι μη προνομιούχοι κάτοχοι συνδέσεων με μεγάλο bandwidth, αν θέλουν να πραγματοποιούν VoIP κλήσεις να είναι αναγκασμένοι να συμβιβαστούν με το ότι η ποιότητα στις κλήσεις τους δεν θα είναι σε καλά επίπεδα, ίσως ακόμα και ούτε καν σε ανεκτά.

### 3.5.3 Traffic

Ακόμα και όμως όταν ένας χρήστης έχει το απαιτούμενο, και ίσως και πολύ περισσότερο, διαθέσιμο bandwidth δεν σημαίνει αυτόματα ότι έχει ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της VoIP υπηρεσίας. Αυτό γιατί αυτή η τεχνολογία είναι δομημένη με τέτοιο τρόπο που εξαρτάται πολύ όχι από το μέγεθος των αρχείων αλλά από τους χρόνους καθυστέρησης και από την επιτυχή μεταφορά όλων των πακέτων που μεταφέρουν τα σχετικά με την κλήση, δεδομένα.

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

Σε περίπτωση που ο χρήστης θελήσει μαζί με την πραγματοποίηση μιας VoIP κλήσης, να χρησιμοποιήσει ταυτόχρονα το υπόλοιπο διαθέσιμο bandwidth της γραμμής του, για να κατεβάσει κάποιο αρχείο ή για να κάνει stream κάποιο video κλπ, τότε η ποιότητας αυτής της κλήσης είναι εκ των προτέρων καταδικασμένη.

Μεγάλο traffic σημαίνει πολλά ταυτόχρονα πακέτα δεδομένων στον router, ο οποίος πρέπει να δει ποιο είναι για ποια υπηρεσία, να τα ταξινομήσει, να τα διευθετήσει και στη συνέχεια να γίνουν διαθέσιμα στις εκάστοτε εφαρμογές. Κάτι το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα μεγάλους χρόνους αναμονής για τα πακέτα και άρα και μεγάλους χρόνους παράδοσης από τον αποστολέα στον δέκτη, καθώς και αρκετά πακέτα χαμένα ή σε λάθος σειρά τα οποία όμως δεν μπορούν να αξιοποιηθούν και άρα πρέπει να ζητηθούν για να ξανασταλούν.

Αυτό είναι ίσως το μεγαλύτερο πρόβλημα σχετικά με την VoIP τεχνολογία, καθώς η ίδια δεν ζητά από τον χρήστη μεγάλο μέρος bandwidth. Από τη μια πλευρά λοιπόν ο χρήστης εκ των προτέρων ξέρει πως χωρίς άλλο traffic μπορεί να αυξηθεί η ποιότητα των VoIP κλήσεων, από την άλλη ξέρει επίσης πως εκείνη την ώρα στην ουσία δεσμεύει για την VoIP τεχνολογία, όλη τη διαθεσιμότητα της γραμμής του.

### 3.5.4 VoIP πάροχοι

Για να μπορέσει ένας χρήστης να πραγματοποιήσει VoIP τηλεφωνικές κλήσεις είναι απαραίτητο να επιλέξει έναν πάροχο VoIP υπηρεσιών. Στο εξωτερικό υπάρχουν πολλοί τέτοιοι πάροχοι, άλλοι που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο SIP όπως voipbuster, 12voip κλπ, και άλλοι όπως το skype, που χρησιμοποιούν κάποιο πρωτόκολλο που οι ίδιοι έχουν φτιάξει πάνω στο οποίο θα δουλέψει η εφαρμογή τους. Στην Ελλάδα πρώτος VoIP πάροχος ήταν η Altec με το i-call και ακολούθησε η HOL με το e-voice. Πλέον υπάρχει η Omnivoice και η Viva VoIP.

Οι πάροχοι μεταξύ τους, τόσο του εξωτερικού όσο και του εσωτερικού έχουν αρκετές διαφορές. Ο τελικός χρήστης καλό θα ήταν για τον ίδιο να ασχοληθεί και με

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

αυτόν τον παράγοντα για να μην βρεθεί να αντιμετωπίζει δυσάρεστες για αυτόν συνέπειες. Διαφορές ανάμεσα στους παρόχους υπάρχουν τόσο σε υποστηριζόμενες υπηρεσίες και χρεώσεις όσο και στο πρωτόκολλα στο οποίο έχουν βασιστεί, στους codecs που υποστηρίζουν, στο bandwidth που έχουν διαθέσιμο και στο σύνολο των κλήσεων που μπορούν να εξυπηρετήσουν ταυτόχρονα.

### 3.5.5 Διαθέσιμοι πόροι server VoIP τηλεφωνικού κέντρου

Η λύση ενός υπολογιστή που θα λειτουργήσει ως server ενός VoIP τηλεφωνικού κέντρου, πέρα από μικρές και μεγάλες επιχειρήσεις, έχει αρχίσει να γίνεται ιδιαίτερα αγαπητή και από πολλούς απλούς χρήστες οι οποίοι ζητάνε κάτι παραπάνω από το να κάνουν απλώς μια VoIP κλήση.

Η χρήση ενός VoIP τηλεφωνικού κέντρου μπορεί να προσφέρει πολλές σημαντικές υπηρεσίες οι οποίες μπορούν να συμβάλουν αποφασιστικά στη λειτουργία μιας επιχείρησης.

Αυτό που θα πρέπει να προσέξει κάποιος όμως, στην περίπτωση που καταφύγει στην λύση ενός VoIP τηλεφωνικού κέντρου, είναι οι διαθέσιμοι πόροι του υπολογιστή που θα λειτουργεί ως server αυτού του κέντρου. Αυτό γιατί η διαθέσιμη μνήμη τόσο σε Ram όσο και σε επίπεδο σκληρών δίσκων, καθώς επίσης και η διαθέσιμη επεξεργαστική ισχύ είναι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τον συνολικό αριθμό ταυτόχρονων κλήσεων που μπορεί να εξυπηρετήσει το VoIP τηλεφωνικό κέντρο, χωρίς να επηρεαστεί η ποιότητά τους.

## 3.6 Στοιβα πρωτοκόλλων VoIP

Σύμφωνα με το μοντέλο OSI (Ανοικτής Διασύνδεσης Συστημάτων), η δομή του internet είναι διαβαθμισμένη σε εφτά στρώματα. Αυτά είναι (Hardy, 2003,

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

Davidson, 2006, Johnston, 2006, Hersent, 2005, Petit2005, Ahson, 2009, Walker, 2002):

- Το φυσικό επίπεδο, που όπως υποδηλώνει το όνομα του ορίζει τις φυσικές προδιαγραφές που πρέπει να έχουν οι συσκευές.
- Το επίπεδο ζεύξης, που ορίζει τα πρωτόκολλα διασύνδεσης μεταξύ των συσκευών πχ Ethernet, 802.11, κλπ.
- Το επίπεδο δικτύου, που ορίζει τον τρόπο καθορισμού της διευθυνσιοδότησης στους χρήστες του δικτύου
- Το επίπεδο μεταφοράς, το οποίο περιλαμβάνει όλα τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά αρχείων, όπως, tcp, udp, ftp, κλπ.
- Το επίπεδο συνόδου, που είναι υπεύθυνο για την έναρξη, την διεξαγωγή και των τερματισμό μιας σύνδεσης ενός χρήστη με έναν άλλον ή με κάποιο τερματικό.
- Το επίπεδο παρουσίασης, στο οποίο τα δεδομένα, μέσω codecs κωδικοποιούνται, συμπιέζονται και τελικά έρχονται στην μορφή που αντιλαμβάνονται οι εφαρμογές.
- Το επίπεδο εφαρμογών, που δίνει στο χρήστη τα εργαλεία έτσι ώστε να αξιοποιήσει τις δυνατότητες του δικτύου, πχ e-mail, http, ftp, κλπ.

Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για να πραγματοποιηθούν VoIP κλήσεις ανήκουν στο επίπεδο μεταφοράς και σε αυτό των εφαρμογών. Από το επίπεδο μεταφοράς χρησιμοποιούνται τα λεγόμενα πρωτόκολλα σηματοδότησης (signaling) και κατά βάση το SIP και από το επίπεδο μεταφοράς κυρίως τα RTP και RTCP.

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

### *3.6.1 Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων VoIP*

Το VoIP, όπως υπονοεί το όνομά του, χρησιμοποιεί το Internet Protocol (IP) για τη μετάδοση φωνής. Αυτό σημαίνει πως χρησιμοποιεί ως μέσο μετάδοσης οποιοδήποτε IP δίκτυο, ανεξαρτήτως των πρωτοκόλλων επιπέδου σύνδεσης δεδομένων και φυσικού επιπέδου. Δηλαδή το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται στο επίπεδο δικτύου είναι πάντα το IP, και στα χαμηλότερα επίπεδα οποιοδήποτε πρωτόκολλο (Ethernet, WiFi κ.α.).

Στο επίπεδο μεταφοράς και συνόδου μπορεί να υπάρχουν διαφοροποιήσεις ανάλογα με την υλοποίηση. Η λειτουργία ενός συστήματος VoIP σε μια σύνοδο θα μπορούσε να χωριστεί σε δύο μέρη: στην δημιουργία και μετάδοση πακέτων φωνής και στον έλεγχο της VoIP κλήσης.

Για την μετάδοση πακέτων φωνής χρησιμοποιείται στο επίπεδο μεταφοράς, στην συντριπτική πλειοψηφία των εφαρμογών, το πρωτόκολλο RTP (Real time Transport Protocol) (Schulzrinne, 1996) πάνω από το UDP (User Datagram Protocol). Τον Μάρτιο του 2006 προτάθηκε από τον οργανισμό IETF ένα νέο πρωτόκολλο, το DCCP[2] (Datagram Congestion Control Protocol), που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετάδοση πακέτων φωνής ενός VoIP συστήματος. Δεν υπάρχουν όμως ακόμη εμπορικές εφαρμογές που να το χρησιμοποιούν.

Για τον έλεγχο της κλήσης χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα επιπέδου συνόδου τα οποία έχουν την ευθύνη για την αρχικοποίηση (call setup), την τροποποίηση και τον τερματισμό μιας VoIP κλήσης. Τα πιο διαδεδομένα πρωτόκολλα συνόδου είναι το SIP[4] (Session Initiation Protocol), το σύνολο πρωτοκόλλων H.323 (ITU-T Recommendation), και το MEGACO/H.248. Αυτά τα πρωτόκολλα χρησιμοποιούν το TCP και το UDP στο επίπεδο μεταφοράς.

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

### **3.6.2 Πρωτόκολλα σηματοδότησης (signaling)**

Πρωτόκολλο σηματοδότησης είναι ένα σύνολο από κανόνες και ρυθμίσεις που αφορούν την έναρξη, την διαδικασία, την διεξαγωγή, και τον τερματισμό μια συνεδρίας. Υπάρχουν αρκετά πρωτόκολλα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους χρήστες με σκοπό να μπορέσουν να συνομιλήσουν με άλλα άτομα. Για την εξυπηρέτηση της VoIP τηλεφωνίας έχουν αναπτυχθεί διάφορα τέτοια πρωτόκολλα μερικά από τα οποία είναι τα : SIP, H.323, MIME, MGCP, SDP, κλπ. Αυτά που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι τα H.323 και SIP, με το SIP (Session Initiation Protocol – Πρωτόκολλο εκκίνησης συνόδου) να είναι το δημοφιλέστερο.

### **3.6.3 Πρωτόκολλο SIP**

Το πρωτόκολλο έναρξης συνόδου SIP (session initiation protocol) είναι αυτό το οποίο έχει πλέον επικρατήσει για την τηλεφωνία μέσω internet αλλά και γενικά σε on line εφαρμογές μετάδοσης ήχου και εικόνας. Το SIP αναλαμβάνει την διεξαγωγή, τη διαχείριση και τον τερματισμό μιας συνεδρίασης.

Το SIP στη βασική δομή του μοιάζει με το web protocol HTTP και το e-mail protocol SMTP. Αυτό είναι σημαντικό γιατί μπορεί να συνεργαστεί πολύ εύκολα με java, σε αντίθεση με άλλα πρωτόκολλα, κάτι που βοήθησε πολύ στο να αρχίσει να χρησιμοποιείται ευρέως. Αυτό έγινε γιατί πολλές υπηρεσίες που συνεργάζονται με το VoIP, όπως αναμονή κλήσης, τηλεφωνητής, προώθηση κλήσης κλπ, γίνονται με προγράμματα που γράφονται σε γλώσσα java.

Μέσω του SIP ωφελούνται τόσο ο εκάστοτε πάροχος όσο και ο χρήστης. Ο πάροχος μπορεί εύκολα και γρήγορα να προσαρμόσει νέες τεχνολογίες και νέες υπηρεσίες, χρησιμοποιώντας τη δομή και τις δυνατότητες του που του εξασφαλίζει το SIP, ενώ ο χρήστης μπορεί εύκολα να πραγματοποιήσει μια συνδιάσκεψη χωρίς να χρειάζεται να κάνει πολύπλοκες ρυθμίσεις.



## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

Υπάρχουν βέβαια και αρνητικά σημεία στο SIP, όπως το ότι δεν μπορεί να κάνει κάποιον έλεγχο στη συνδιάσκεψη και κυρίως ότι δεν μπορεί από μόνο του να παρέχει ποιότητα υπηρεσίας (QoS).

Για μία συνδιάσκεψη μέσω SIP απαιτούνται τέσσερις βασικές παράμετροι.

α) Συσκευές VoIP, ATA ή software phones που να υποστηρίζουν το πρότυπο SIP. Αν ο χρησιμοποιούμενος, από τους χρήστες, εξοπλισμός δεν υποστηρίζει το πρωτόκολλο τότε είναι εξ αρχής αδύνατη η επικοινωνία μεταξύ τους.

β) Διακομιστές καταχώρησης χρηστών SIP (SIP Registrar Servers). Αυτοί είναι βάσεις δεδομένων οι οποίες γνωρίζουν ανά πάσα στιγμή ποιος χρήστης είναι συνδεδεμένος και πού βρίσκεται αυτός. Κάτι το οποίο είναι πολύ χρήσιμο καθώς δεν περιορίζει τους χρήστες στον να μπορούν να δεχτούν κάποια κλήση μόνο σε ένα σημείο, αλλά και ούτε χρειάζεται να ξέρουν πού ακριβώς είναι ο άλλος χρήστης με τον οποίο θέλουν να επικοινωνήσουν.

γ) Ενδιάμεσοι διακομιστές SIP (SIP Proxy servers). Οι ενδιάμεσοι διακομιστές SIP δέχονται τις κλήσεις από τους χρήστες και εκτελούν τους ελέγχους και τις αναζητήσεις που απαιτούνται στους αντίστοιχους διακομιστές καταχώρησης χρηστών SIP. Όταν βρουν τον χρήστη που ψάχνουν τότε είτε δρομολογούν την κλήση σε αυτόν.

δ) Διακομιστές αναμετάδοσης SIP (SIP Redirect servers). Η δουλειά τους είναι να δρομολογούν την κλήση σε άλλον proxy server, ψάχνοντας να βρουν τον τελικό χρήστη σε περίπτωση που αυτός βρίσκεται σε διαφορετικό διακομιστή καταχώρησης χρηστών.

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

#### **3.6.4 Πρωτόκολλα μεταφοράς δεδομένων**

Μία άλλη σημαντική, για τη λειτουργία και την ποιότητα στις κλήσεις, κατηγορία πρωτοκόλλου που χρησιμοποιείται στις εφαρμογές VoIP είναι αυτή των πρωτοκόλλων μεταφοράς δεδομένων.

Η επικοινωνία μεταξύ δύο χρηστών δεν είναι δυνατή χωρίς τη χρήση αυτών των πρωτοκόλλων. Αυτά που χρησιμοποιούνται περισσότερο για αυτόν τον σκοπό είναι τα RTP (Real time Transport Protocol – Πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων σε πραγματικό χρόνο) και RTCP (Real Time Control Protocol – Πρωτόκολλο ελέγχου μεταφοράς δεδομένων σε πραγματικό χρόνο), με το πρώτο να χρησιμοποιείται για την μεταφορά των δεδομένων, ενώ το δεύτερο για τον περιοδικό έλεγχο της αποστολής καθώς και των παραμέτρων που επηρεάζουν την ποιότητα επικοινωνίας.

#### **3.6.5 Τα πρωτόκολλα RTP/RTCP**

Προκειμένου οι να υποστηριχθεί η μετάδοση πολυμέσων πάνω από το Διαδίκτυο και από τα IP δίκτυα γενικότερα, ο οργανισμός IETF πρότεινε το RTP (Real time Transport Protocol) (Schulzrinne, 1996) πρωτόκολλο. Έκτοτε το RTP αποτελεί το πιο διαδεδομένο πρωτόκολλο για τη μεταφορά δεδομένων πραγματικού χρόνου όπως τα πολυμεσικά δεδομένα του βίντεο και του ήχου. Αρχικά σχεδιάστηκε για multicast επικοινωνία αλλά στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκε και για unicast επικοινωνία. Το RTP δεν εγγυάται ποιότητα υπηρεσίας (QoS), αλλά παρέχει υπηρεσίες που είναι κρίσιμες για την μεταφορά δεδομένων πραγματικού χρόνου.

Το RTP έχει ουσιαστικά δύο μέρη: το RTP που είναι υπεύθυνο για τη μετάδοση των πακέτων δεδομένων και το RTCP (Real - time Transport Control Protocol) που είναι υπεύθυνο για το έλεγχο της μετάδοσης.

### **RTP**

Οι εφαρμογές πολυμέσων χαρακτηρίζονται από αυστηρούς χρονικούς περιορισμούς στη μετάδοση των δεδομένων, κάτι που δε λαμβάνουν υπόψη τα

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

γνωστά πρωτόκολλα μεταφοράς δεδομένων (UDP/TCP). Το RTP υλοποιείται πάνω από αυτά τα γενικά πρωτόκολλα μεταφοράς (σχεδόν πάντα, πάνω από το UDP) προσθέτοντάς τους, μηχανισμούς που θα επιτρέψουν την αποτελεσματική μετάδοση των χρονικά κρίσιμων δεδομένων. Τέτοιοι μηχανισμοί είναι η χρονοσήμανση (timestamping) και η σειριακή αρίθμηση των πακέτων (sequence numbering).

Η χρονοσήμανση παρέχει σημαντικές πληροφορίες στις εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Ο αποστολέας βάζει σε κάθε πακέτο μια χρονοσήμανση (timestamp), την οποία χρησιμοποιεί ο παραλήπτης για να βρει τη χρονική στιγμή που πρέπει να παρουσιάσει τα δεδομένα του συγκεκριμένου πακέτου στον χρήστη. Δηλαδή, η χρονοσήμανση παρέχει την απαραίτητη πληροφορία ώστε να είναι δυνατό στους παραλήπτες να ανακατασκευάσουν τα αρχικά δεδομένα όπως αυτά μεταδόθηκαν από τον αποστολέα. Η χρονοσήμανση χρησιμοποιείται επίσης για το συγχρονισμό διαφορετικών ροών δεδομένων, όπως ροές δεδομένων βίντεο και ήχου. χρησιμοποιεί επίσης στον υπολογισμό στατιστικών στοιχείων μιας ροής, όπως η διακύμανση της καθυστέρησης (jitter).

Το UDP, το οποίο συνήθως χρησιμοποιείται για την μετάδοση των RTP πακέτων, δεν παραδίδει τα πακέτα με τη σειρά με την οποία στάλθηκαν για αυτό τα RTP πακέτα αριθμούνται τη στιγμή που στέλνονται (πεδίο sequence number), έτσι ώστε να μπορεί ο παραλήπτης να τα βάλει στη σωστή σειρά. Οι αριθμοί αυτοί χρησιμοποιούνται επίσης για να ανιχνεύονται απώλειες στη μετάδοση των πακέτων.

Πέρα από αυτούς τους μηχανισμούς το RTP παρέχει και άλλους, όπως η πληροφόρηση για την ταυτότητα του αποστολέα και για το περιεχόμενο της πληροφορίας (payload type). Το payload type είναι σημαντικό για τον παραλήπτη ώστε να γνωρίζει το είδος της πληροφορίας που λαμβάνει και έτσι να μπορέσει να ανασυνθέσει και να παρουσιάσει την πληροφορία. Κάθε πολυμεσική κωδικοποίηση (π.χ. mpreg, G.711) καθορίζεται από έναν αριθμό (payload type) και σχετίζεται με κάποιο RTP profile. Το RTP profile καθορίζει λεπτομέρειες για το πώς μια συγκεκριμένη πολυμεσική κωδικοποίηση μεταδίδεται μέσω του RTP (για παράδειγμα καθορίζει το τι ακριβώς σημαίνει η χρονοσήμανση για αυτή την κωδικοποίηση). Έτσι ο παραλήπτης μέσω του payload type μπορεί να αναγνωρίσει το περιεχόμενο μιας

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

ροής και με βάση το RTP profile της να μπορέσει να την χειριστεί. Τα RTP profile για αρκετές κωδικοποιήσεις καθορίζονται στο RFC 1890 (Schulzrinne, 1996).

Ένα RTP πακέτο αποτελείται από την RTP επικεφαλίδα (header) ακολουθούμενη από τα δεδομένα (payload). Το header ενός RTP πακέτου έχει μέγεθος 12 bytes και κάποια από τα πεδία του περιγράφονται παρακάτω:

- Payload Type (PT) (7 bits): Το payload type καθορίζει τον τύπο των δεδομένων που ακολουθούν το RTP header.
- Sequence Number (16 bits): Το Sequence Number (αύξων αριθμός) μετρά τα πακέτα που στέλνει ο αποστολέας και αυξάνεται κατά ένα για κάθε πακέτο που μεταδίδεται. Επιτρέπει στον παραλήπτη να εντοπίσει κάποιο πακέτο που χάνεται και να αποκαθιστά την σωστή ακολουθία των πακέτων.
- Timestamp (32 bits): Το timestamp (χρονοσήμανση) αντανακλά την στιγμή δειγματοληψίας του πρώτου δείγματος που περιέχεται στο RTP πακέτο είτε σε μονάδες χρόνου είτε σε αριθμό δειγμάτων που έχουν μεταδοθεί.

Το RTP μεταδίδεται σχεδόν πάντα μέσω του UDP και του IP. Το header του IP είναι 20 bytes, του UDP είναι 8 bytes και του RTP 12 bytes. Άρα ένα RTP/UDP/IP πακέτο έχει συνολικό header 40 bytes. Το RTP/UDP/IP header μπορεί να μειωθεί στα 2 ή στα 4 bytes αν χρησιμοποιηθεί το συμπιεσμένο RTP (cRTP) (Casner, 1999) που όμως χρησιμοποιείται μόνο σε WAN point to point συνδέσεις.

## RTCP

Το RTCP πρωτόκολλο χρησιμεύει στον έλεγχο των RTP ροών-συνόδων. Πιο συγκεκριμένα το RTCP παρέχει υπηρεσίες όπως παρακολούθηση ποιότητας υπηρεσίας (QoS monitoring), αναγνώριση αποστολέα (source identification), συγχρονισμός ανάμεσα σε διαφορετικά μέσα, τερματισμός συνόδου.

Η παρακολούθηση ποιότητας υπηρεσίας (QoS monitoring) είναι μια από τις βασικές λειτουργίες του RTCP. Το RTCP παρέχει πληροφορίες ανάδρασης

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

(feedback) στις εφαρμογές για την ποιότητα της μετάδοσης των δεδομένων. Οι κυριότερες από αυτές τις πληροφορίες είναι ο αριθμός των πακέτων δεδομένων που χάθηκαν, η διακύμανση της καθυστέρησης λήψης πακέτων (interarrival jitter) καθώς και πληροφορίες χρόνου που επιτρέπουν τον υπολογισμό του round trip time.

Το RTCP στηρίζει τις λειτουργίες του στην ανταλλαγή RTCP πακέτων, διαφόρων ειδών, πάνω από το UDP. Τα είδη των RTCP πακέτων είναι:

- Αναφορά αποστολέα (Sender Report - SR) και αναφορά παραλήπτη (Receiver Report - RR). Οι παραλήπτες πληροφορίας σε μία RTP / RTCP σύνοδο επιστρέφουν στον εκάστοτε αποστολέα δεδομένα που αφορούν την ποιότητα μετάδοσης. Αν ένα μέλος μιας συνόδου είναι μόνο παραλήπτης πληροφορίας αποστέλλει αναφορές παραλήπτη, ενώ αν είναι και αποστολέας πληροφορίας αποστέλλει και αναφορές αποστολέα.
- Περιγραφείς αποστολέα (Source Description - SDES). Είναι ο τύπος του πακέτου που χρησιμοποιείται για να παρέχουν τα μέλη μιας συνόδου πληροφορίες σχετικές με τον εαυτό τους, για παράδειγμα όνομα, διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου το όνομα της εφαρμογής που χρησιμοποιείται στη σύνοδο καθώς και άλλα στοιχεία.
- Πακέτο αποχαιρετισμού (Goodbye - BYE). Ο τύπος αυτός σηματοδοτεί την αποχώρηση από τη σύνοδο ενός ή περισσότερων μελών.
- Συγκεκριμένες συναρτήσεις εφαρμογής (Application specific - APP). Είναι πακέτα που μπορεί να καθορίσει και χρησιμοποιήσει μια εφαρμογή για δικές της λειτουργίες.

Το bandwidth που καταναλώνει η RTCP κίνηση μιας RTP ροής, σύμφωνα με το (Schulzrinne, 1996), δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5% του συνολικού bandwidth που καταναλώνει η ροή.

Επιπλέον το ελάχιστο χρονικό διάστημα ανάμεσα στην αποστολή δύο RTCP πακέτων πρέπει να είναι 5 δευτερόλεπτα. Υπολογισμός της καθυστέρησης μετ' επιστροφής (RTT) Το RTP με τη βοήθεια των RTCP SR και RR πακέτων μπορεί να

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

υπολογίσει το Round Trip Time μεταξύ του δύο κόμβων που συμμετέχουν σε μία RTP σύνοδο. Ο αποστολέας βάζει στα SR πακέτα που στέλνει τον χρόνο αποστολής τους. Ο παραλήπτης όταν στείλει ένα RR πακέτο βάζει στο πεδίο LSR τον χρόνο αποστολής του τελευταίου SR πακέτου που έλαβε καθώς και τον χρόνο που μεσολάβησε ανάμεσα στη αποστολή του και στην λήψη του τελευταίου SR πακέτου (DLSR). Έτσι αν ο αποστολέας λάβει ένα RR πακέτο τη χρονική στιγμή A το RTT μπορεί να υπολογισθεί ως  $A - DLSR - LSR$ .

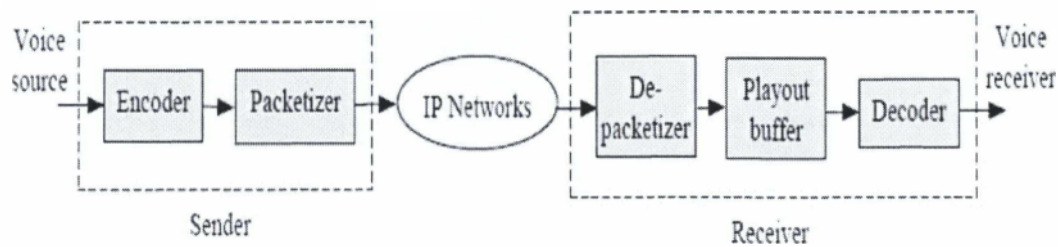
### 3.7 Το VoIP τερματικό τηλέφωνο

Τερματικό VoIP τηλέφωνο ονομάζουμε ένα σύστημα, με το οποίο ο χρήστης του μπορεί να συνομιλήσει μέσω κάποιου VoIP δικτύου. Μπορεί να έχει τη μορφή κανονικού τηλεφώνου ή λογισμικού που τρέχει σε κάποιο υπολογιστικό σύστημα. Το VoIP τηλέφωνο είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο (δημιουργία, τροποποίηση, τερματισμό) μιας κλήσης, την μετάδοση της φωνής στο δίκτυο και τη λήψη και παρουσίαση της λαμβανόμενης VoIP ροής.

#### 3.7.1 Δομή και λειτουργία

Ένα απλοποιημένο διάγραμμα που απεικονίζει την δομή ενός συστήματος λήψης και μετάδοσης ενός VoIP τηλεφώνου φαίνεται στην εικόνα 2.1. Στον αποστολέα η φωνή του χρήστη αρχικά ψηφιοποιείται, τεμαχίζεται σε κομμάτια φωνής, μικρής χρονικής διάρκειας τα οποία μετά συμπιέζονται στον encoder (κωδικοποιητή). Η έξοδος του encoder είναι συμπιεσμένα κομμάτια φωνής που ονομάζονται πλαίσια (frames). Στη συνέχεια στον packetizer ένα ή περισσότερα frames πακετάρονται και σχηματίζουν το φορτίο (payload) ενός πακέτου (όπως RTP). Τέλος προστίθενται οι επικεφαλίδες των πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση (όπως RTP/UDP/IP ή DCCP/IP) και το πακέτο αποστέλλεται στον παραλήπτη μέσω ενός IP δικτύου.

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα



Εικόνα 2.1: Δομή VoIP τηλεφώνου

Στον παραλήπτη ο depacketizer ανακτά το payload των IP πακέτων που περιέχουν τα δεδομένα φωνής και τοποθετεί τα frames σε ένα χώρο προσωρινής αποθήκευσης (buffer). Ο buffer αυτός παίζει σημαντικό ρόλο στην εξάλειψη της διακύμανσης της καθυστέρησης (jitter) των πακέτων που λαμβάνονται και ονομάζεται playout buffer ή jitter buffer. Ένα frame παραμένει στον buffer μέχρι τη στιγμή που πρέπει να παρουσιαστεί, οπότε και αποσυμπιέζεται με τον κατάλληλο αποκωδικοποιητή (decoder), μετατρέπεται σε αναλογικό και τελικά σε ηχητικό σήμα. Προφανώς ο decoder και ο encoder πρέπει να είναι αφορούν ίδιου τύπου συμπίεση. Το ζεύγος encoder/decoder ονομάζεται codec.

### 3.7.2 Codec

Οι codecs, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη υποενότητα, χρησιμοποιούνται για την συμπίεση ήχου, εικόνας και βίντεο. Για τις τηλεπικοινωνίες και το VoIP ειδικότερα, έχουν μεγάλη σημασία καθώς βοηθούν στη μετάδοση φωνής μέσα από ένα δίκτυο, μειώνοντας το απαιτούμενο εύρος ζώνης. Οι codec φωνής μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις κατηγορίες με βάση την αρχές λειτουργίας τους :

- **Waveform coders** (κυματομορφής): είναι εξαιρετικά απλοί και εκμεταλλεύονται την αυτοσυσχέτιση των δεδομένων ήχου στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας για τη συμπίεση.

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

- Parametric vocoders (voice coders): βασίζονται στην μοντελοποίηση της ανθρώπινης ομιλίας. Η έξοδος του decoder είναι συνθετική φωνή και δε βασίζεται καθόλου στην αρχική κυματομορφή.
- Hybrid coders (υβριδικοί): συνδυάζουν τις δύο παραπάνω τεχνικές και πετυχαίνουν πολύ καλή ποιότητα φωνής και μεγάλη συμπίεση.

Μερικοί codec μπορεί να έχουν επιπλέον λειτουργίες-ιδιότητες όπως:

- Packet Loss concealment (PLC): λειτουργία με την οποία μειώνεται η αρνητική επίδραση που έχει η απώλεια κάποιου πακέτου. Ο πιο απλός τρόπος είναι η επανάληψη της παρουσίασης του πακέτου που προηγήθηκε το χαμένο πακέτο. Οι σύγχρονοι codecs έχουν πιο σύνθετους και πιο αποτελεσματικούς τρόπους.
- VAD/Silence suppression: Σε μία τυπική συνομιλία ο ένας συμμετέχων ομιλάει κατά το 50% του χρόνου και κατά το υπόλοιπο σιγεί. Μερικοί codec ανιχνεύουν τις περιόδους σιγής/ομιλίας (Voice Activity Detection – VAD) και κατά την περίοδο σιγής είτε δεν δημιουργούν κανένα πακέτο είτε δημιουργούν μικρά πακέτα σε μικρότερη συχνότητα (DTX/CNG).
- Multi-Rate: ιδιότητα ορισμένων codec να κωδικοποιούν σε διάφορους ρυθμούς.
- Ρυθμός κωδικοποίησης ή codec bit rate είναι ο ρυθμός παραγωγής συμπιεσμένων δεδομένων (bits/second) κατά την κωδικοποίηση. Οι περισσότεροι codec έχουν σταθερό ρυθμό κωδικοποίησης ή αλλιώς σταθερό βαθμό συμπίεσης. Οι codecs AMR και Speex όμως, μπορούν οποιαδήποτε στιγμή να αλλάξουν τον ρυθμό κωδικοποίησης (multi-rate codecs) ανάμεσα σε συγκεκριμένους επιτρεπόμενους ρυθμούς κωδικοποίησης.
- Echo cancellation: λειτουργία με την οποία ακυρώνεται τυχόν ηχώ. Ηχώ μπορεί να προκληθεί μόνο στην περίπτωση που η κλήση διέρχεται και από



## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

PSTN δίκτυο (PSTN προς IP κλήση). Επίσης ηχώς μπορεί να δημιουργηθεί από την ανάδραση ηχείου – μικροφώνου ενός VoIP τερματικού.

### 3.7.3 *Playout (Jitter) Buffer*

Στις εφαρμογές VoIP τα πακέτα φωνής παράγονται στον αποστολέα ανά ορισμένα διαστήματα και απαιτείται στον δέκτη να αποκωδικοποιηθούν-παιχτούν σε στιγμές (playout time) ανά αντίστοιχα διαστήματα. Όμως η καθυστέρηση που εισάγουν τα δίκτυα στα μεταδιδόμενα πακέτα είναι μεταβλητή, με αποτέλεσμα τα πακέτα ορισμένες να φτάνουν στον δέκτη αργότερα από τον χρόνο που θα έπρεπε να παιχτούν. Αποθηκεύοντας τα εισερχόμενα πακέτα για κάποιο χρονικό διάστημα, αυξάνουμε την πιθανότητα ένα πακέτο να έχει φτάσει στον δέκτη τη στιγμή που πρέπει να παιχτεί.

Όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος αποθήκευσης (buffer delay) του jitter buffer τόσο πιο μικρή η πιθανότητα για δεδομένο jitter να φτάσει κάποιο πακέτο αργοπορημένο. Όμως μεγαλώνοντας τον χρόνο αποθήκευσης μεγαλώνει και η συνολική καθυστέρηση μειώνοντας έτσι την ποιότητα της συνδιάλεξης.

Το buffer delay μπορεί να είναι σταθερός ή μεταβλητός (adaptive jitter buffer). Στους adaptive jitter buffers αυξομειώνεται ανάλογα με το jitter του δικτύου. Για παράδειγμα όταν το jitter είναι μικρό δε χρειάζεται μεγάλο buffer delay και μπορεί να μειωθεί, μειώνοντας ταυτόχρονα και την συνολική καθυστέρηση. Αν κάποια στιγμή όμως το jitter αυξηθεί τότε μπορεί να αυξηθεί και το buffer delay. Στους adaptive jitter buffers υπάρχει λοιπόν ένας αλγόριθμος (playout buffer algorithm) που καθορίζει πότε ένα πακέτο θα βγει από τον buffer και θα παρουσιαστεί (playout time). Η ρύθμιση-αλλαγή του buffer delay γίνεται συνήθως σε περιόδους σιγής (ο χρήστης δεν ομιλεί) ώστε να μη γίνεται αντιληπτή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

---

### Η ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ (QoS) ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΜΠΕΙΡΙΑΣ (QoE)

#### 4.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας σε όλο τον κόσμο έχουν δει μια ραγδαία αύξηση στους συνδρομητές τους. Την ίδια στιγμή, ο όγκος της κίνησης ανά συνδρομητή επίσης αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς, ιδίως με την εισαγωγή ολοένα και πιο προηγμένων κινητών συσκευών.

Τα κυβελωτά συστήματα έχουν από τη φύση τους πεπερασμένους πόρους. Οι πόροι ραδιοφάσματος και των σταθερών ζεύξεων στο δίκτυο πρόσβασης και το δίκτυο κορμού (backhaul) είναι περιορισμένοι, ακριβοί και μοιράζονται μεταξύ πολλών χρηστών και υπηρεσιών. Τα κινητά ευρυζωνικά δίκτυα πρέπει να υποστηρίζουν εφαρμογές multiplay φωνής, βίντεο και δεδομένων σε μια ενιαία IP-based υποδομή. Αυτές οι συγκλίνουσες υπηρεσίες διαθέτουν μοναδική διαχείριση κίνησης και απαιτήσεις σε Ποιότητα. Τα ζητήματα που τίθενται για την επαρκή υποστήριξη αυτών των υπηρεσιών, δεν μπορούν να επιλυθούν με οικονομικά αποδοτικό τρόπο όταν το δίκτυο έχει υπερβολικό φόρτο. Η εξασφάλιση της θετικής εμπειρίας του χρήστη πρέπει να λαμβάνεται μέσω της αποδοτικής χρήσης των διαθέσιμων πόρων του ασύρματου δικτύου.

Το 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project (3GPP), ο οργανισμός δηλαδή που τυποποιεί το UMTS και την εξέλιξή του, δηλ. το Long - Term Evolution ( LTE ) έχουν αναπτύξει μια ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική παροχής Ποιότητας Υπηρεσιών (Quality of Service - QoS) και ένα πλαίσιο ελέγχου μέσω πολιτικών για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος. Ο έλεγχος πολιτικής και χρέωσης (Policy and Charging Control - PCC) είναι η καρδιά του Evolved Packet Core (EPC) δηλαδή της

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

βασικής αρχιτεκτονικής μεταγωγής πακέτου του δικτύου κορμού , και εξασφαλίζει ποιότητα στον χρήστη για ένα συγκεκριμένο τύπο συνδρομής και υπηρεσιών. Ο λεπτομερής έλεγχος της ποιότητας των υπηρεσιών είναι ζωτικής σημασίας για τις επιχειρήσεις για τη δημιουργία νέων επιχειρηματικών μοντέλων και την κερδοφορία των υπηρεσιών. Δίνει τη δυνατότητα στους φορείς να εφαρμόζουν θεμιτές πολιτικές χρήσης που περιορίζουν τον συνδρομητή στην κατάχρηση των υπηρεσιών και διατηρούν τις επιδόσεις του δικτύου κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής της κίνησης.

Πριν, όμως, τη δαπάνη τεράστιων ποσών για τον εξοπλισμό και την ανάπτυξη, οι πάροχοι θα πρέπει να αξιολογήσουν προσεκτικά τις δυνατότητες που παρέχουν αυτές οι λύσεις και να πραγματοποιήσουν προληπτικές μετρήσεις της ποιότητας των υπηρεσιών και των πολιτικών διαχείρισης των συσκευών του δικτύου τους. Η επικύρωση της ποιότητας των κινητών υπηρεσιών απαιτεί κορεσμό του δικτύου με υψηλό φορτίο κίνησης και τη μέτρηση βασικών δεικτών απόδοσης ( KPIs ) που προσδιορίζουν την ποιότητα όπως την αντιλαμβάνεται ο χρήστης (IXIA, 2011 ,EKSTROM, 2009).

Οι επικοινωνίες που βασίζονται στο πρωτόκολλο IP πλεονεκτούν έναντι των συμβατικών, καθώς δεν εξαρτώνται από την εκάστοτε θέση του χρήστη. Προσφέρουν επίσης, ενοποιημένες υπηρεσίες φωνής, εικόνας και δεδομένων, εύκολη αναβάθμιση και διαχείριση και επί πλέον έχουν χαμηλότερο κόστος λειτουργίας. Έτσι, η τηλεφωνία VoIP έχει εξελιχθεί, από μια αναδυόμενη, σε μια ευρέως αναγνωρισμένη τεχνολογία. Όμως, η μεταφορά της τηλεφωνικής υπηρεσίας σε ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων έχει επιπτώσεις στην ποιότητα της φωνής που αντιλαμβάνονται οι χρήστες. Καθοριστικοί παράγοντες είναι η καθυστέρηση, η διακύμανση της καθυστέρησης και οι απώλειες πακέτων. Επομένως, είναι απαραίτητο να ληφθούν μέτρα QoS, όπως τα εικονικά δίκτυα VLAN και οι διαφοροποιημένες υπηρεσίες DiffServ (Zhang, 2011), που βελτιώνουν την απόδοση της υπηρεσίας η οποία καθορίζει τον βαθμό ικανοποίησης του χρήστη. Για την μέτρηση της ποιότητας υπάρχουν υποκειμενικές και αντικειμενικές τυποποιημένες μέθοδοι. Οι υποκειμενικές βασίζονται στην εκτίμηση από ανθρώπους ενώ οι αντικειμενικές, οι οποίες διακρίνονται σε παρεμβατικές και μη παρεμβατικές, βασίζονται σε αλγορίθμους που προσομοιώνουν

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

την ανθρώπινη αντίληψη. Οι μη παρεμβατικές χρησιμοποιούν τον τυποποιημένο αλγόριθμο αξιολόγησης ποιότητας E-model (Zhang, 2011).

### 4.2 Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Service – QoS)

Με την ανάπτυξη της δικτύωσης πολυμέσων, απαιτείται σοβαρή προσπάθεια κατά τη σχεδίαση των δικτύων και των πρωτοκόλλων για την εγγύηση της ποιότητας υπηρεσιών. Στους τομείς των δικτύων μεταγωγής πακέτων και της δικτύωσης υπολογιστών, η ποιότητα υπηρεσιών, QoS, αναφέρεται στους μηχανισμούς ελέγχου δέσμευσης των πόρων παρά στην πραγματοποιημένη ποιότητα υπηρεσιών. Η ποιότητα υπηρεσιών είναι η δυνατότητα να παρασχεθεί διαφορετική προτεραιότητα σε διαφορετικές εφαρμογές, στους χρήστες, ή στις ροές δεδομένων, ή να εγγυηθεί ένα ορισμένο επίπεδο απόδοσης ροής δεδομένων. Η ποιότητα υπηρεσιών είναι σημαντική εάν η ικανότητα δικτύων είναι περιορισμένη ειδικά για τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου streaming media, όπως Voice over IP (VoIP) και της IP-TV, δεδομένου ότι αυτές απαιτούν συχνά σταθερό ρυθμό bit και είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση (Moser, 2008).

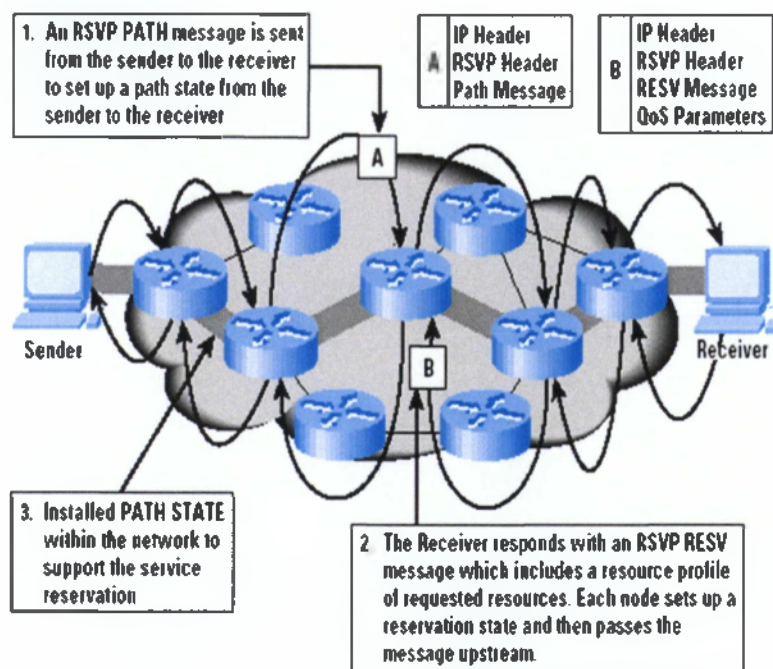
#### 4.2.1 Τύποι QoS

Η ποιότητα υπηρεσίας αναφέρεται στη δυνατότητα ενός στοιχείου του δικτύου να έχει κάποιου τύπου επιβεβαίωση ότι η κυκλοφορία και οι απαιτήσεις της υπηρεσίας που προσφέρει θα ικανοποιηθούν. Η εφαρμογή της ποιότητας υπηρεσίας απαιτεί τη συνεργασία όλων των επιπέδων του δικτύου καθώς και κάθε στοιχείου του δικτύου από άκρη σε άκρη. Η ποιότητα υπηρεσίας δεν μπορεί να δημιουργήσει εύρος ζώνης, αλλά διαχειρίζεται το υπάρχον εύρος ζώνης ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής και στις ρυθμίσεις διαχείρισης του δικτύου. Υπάρχουν δύο τύποι ποιότητας υπηρεσίας:

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

- Η δέσμευση των πόρων (resource reservation) (Σχήμα 4.1).

Ανήκει στην κατηγορία των ενσωματωμένων υπηρεσιών (integrated services), όπου οι πόροι του δικτύου διαμερίζονται σύμφωνα με την απαίτηση μια εφαρμογής για εύρος ζώνης. Εδώ η εφαρμογή προχωράει μόνο αν το δίκτυο υποδείξει ότι μπορεί να μεταφέρει το επιπλέον φορτίο στο επίπεδο που του ζητείται. Η δέσμευση παραμένει εν ενεργεία, μέχρι η εφαρμογή να απαιτήσει τον τερματισμό της ή μέχρι το δίκτυο να υποδείξει ότι δεν μπορεί να συνεχίσει τη δέσμευση. Το βασικό στοιχείο αυτού του μοντέλου είναι «όλα ή τίποτα». Είτε το δίκτυο αναλαμβάνει τη δέσμευση, οπότε και η εφαρμογή δεν χρειάζεται να ελέγχει το επίπεδο απόκρισης του δικτύου στην υπηρεσία, είτε το δίκτυο υποδεικνύει ότι δεν μπορεί να αναλάβει τη δέσμευση. Η προσέγγιση αυτή επιβάλλει τον έλεγχο της κατάστασης για κάθε εφαρμογή, και για μεγάλα δίκτυα, όπως το Διαδίκτυο, δεν φαίνεται να επαρκεί. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται εδώ είναι το Πρωτόκολλο Δέσμευσης Πόρων (Resource Reservation Protocol-RSVP).



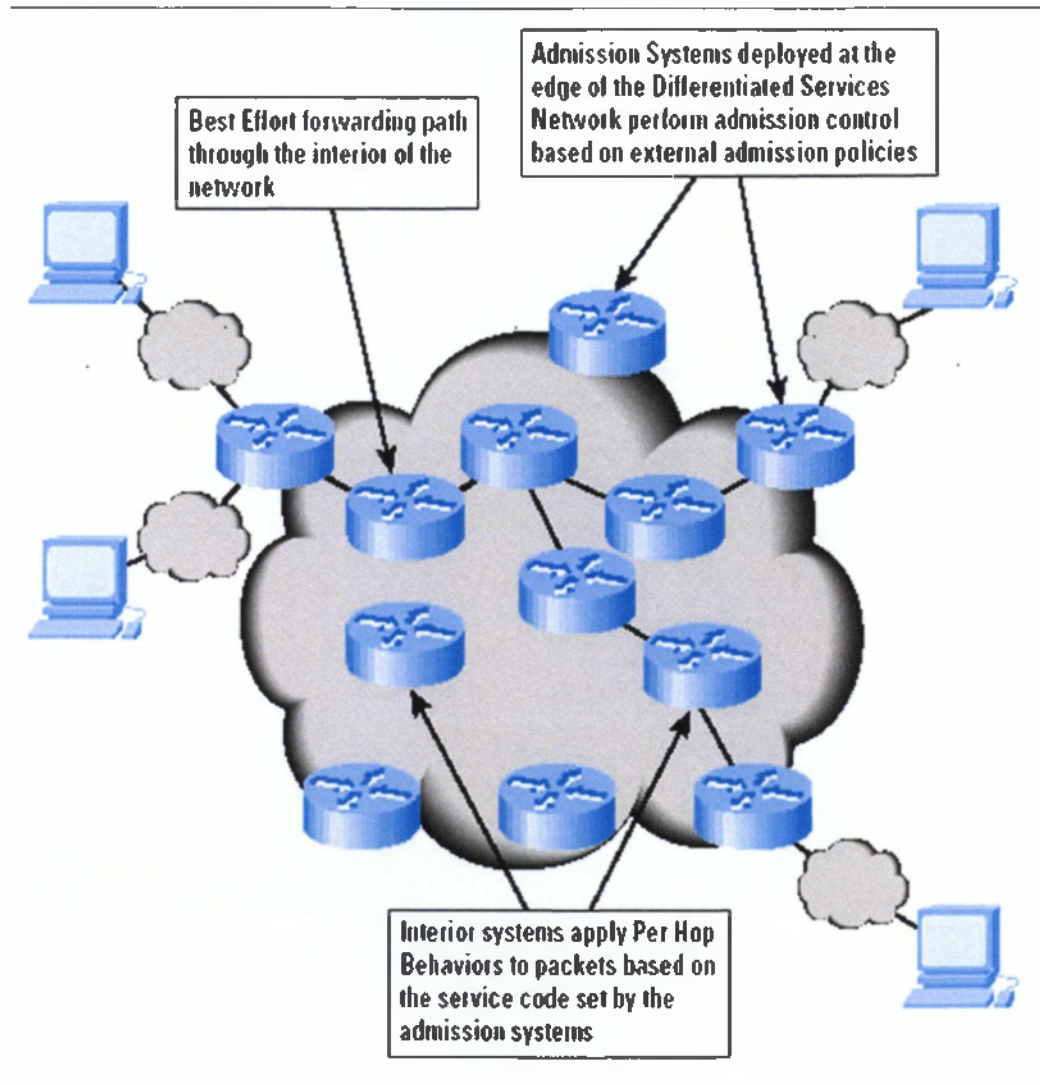
Σχήμα 4.1 : Η δέσμευση των πόρων (resource reservation)

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

- Παραχώρηση Προτεραιότητας (prioritization) (Σχήμα 4.2)

Ανήκει στην κατηγορία των διαφοροποιημένων υπηρεσιών (differentiated services). Εδώ το δίκτυο παρέχει μικρότερο αριθμό ενσωματωμένων υπηρεσιών και ενοποιεί τις παρόμοιες απαιτήσεις υπηρεσίας από μία ομάδα εφαρμογών σε μια μονή τάξη υπηρεσίας. Οι ενοποιημένες υπηρεσίες συνήθως αντιμετωπίζονται από το δίκτυο ως ένα φίλτρο εισόδου, όπου στην είσοδο του δικτύου το κάθε πακέτο κατηγοριοποιείται σε ένα συγκεκριμένο προφίλ υπηρεσίας. Η κατηγοριοποίηση αυτή μεταφέρεται μέσα στην επικεφαλίδα του πακέτου IP, χρησιμοποιώντας 6 bit από το TOS τμήμα της για τη μεταφορά της κωδικοποίησης της υπηρεσίας. Το δίκτυο μετά χρησιμοποιεί αυτόν τον κωδικό υπηρεσίας που βρίσκεται στην επικεφαλίδα του πακέτου, για να διαχειριστεί το πακέτο με τον ίδιο ακριβώς τρόπο με όλα τα άλλα πακέτα που έχουν τον ίδιο κωδικό υπηρεσίας. Ενώ αυτή η προσέγγιση έχει τη δυνατότητα να καλύψει ολόκληρο το Διαδίκτυο, υπάρχουν πολλά άλυτα θέματα τα οποία σχετίζονται με την αποστολή σήματος μεταξύ των ξεχωριστών εφαρμογών και του δικτύου. Το μοντέλο της ενοποιημένης υπηρεσίας δεν επιτρέπει σε μια μεμονωμένη εφαρμογή να καταλάβει αν λαμβάνει την απαραίτητη απόκριση υπηρεσίας από το δίκτυο. Η υπηρεσία αυτή παρέχεται από το πρωτόκολλο Diffserv.

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα



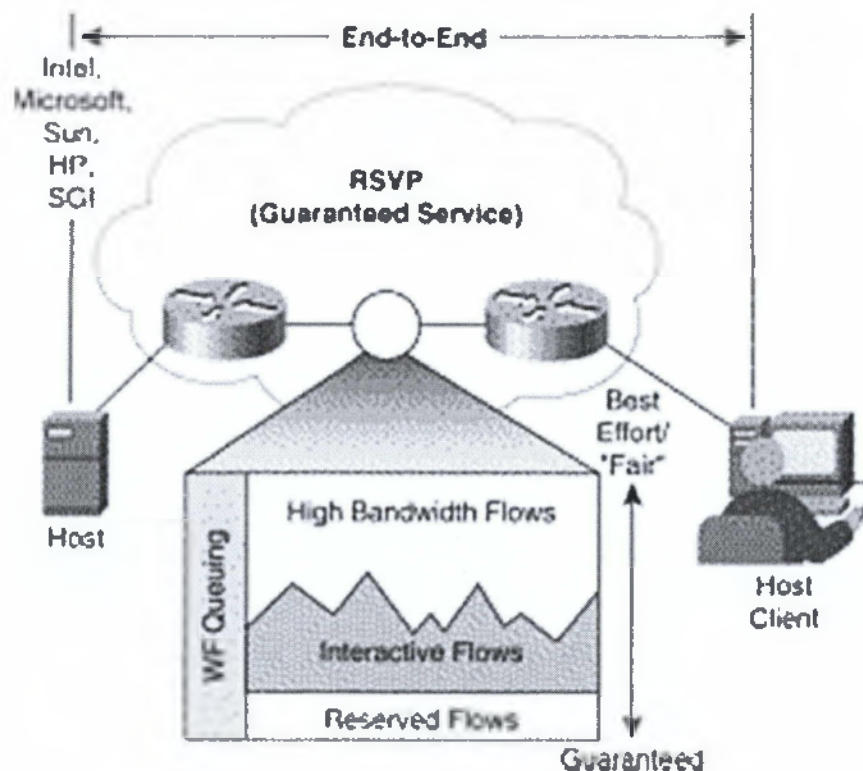
Σχήμα 4.2: Παραχώρηση Προτεραιότητας (prioritization)

Τα δύο παραπάνω πρωτόκολλα δεν αποκλείουν το ένα το άλλο, αλλά μπορούν να συνεργαστούν. Για το λόγο αυτό είναι σχεδιασμένα για συνδυασμένη χρήση, έτσι ώστε να μπορούν να εξυπηρετήσουν τις διάφορες λειτουργίες ενός δικτύου.

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

#### 4.2.2 Η μέθοδος RSVP

Το RSVP είναι ένα πρωτόκολλο που καθιερώθηκε από τον IETF για να επιτρέπει σε μία εφαρμογή να δεσμεύει το εύρος ζώνης του δικτύου δυναμικά. Επιτρέπει σε εφαρμογές να κάνουν αίτηση για συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσίας για μία ροή δεδομένων, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4.3: RSVP

Οι εξυπηρετητές και οι δρομολογητές χρησιμοποιούν το RSVP για την παράδοση των αιτήσεων ποιότητας υπηρεσίας στους δρομολογητές που βρίσκονται στο μονοπάτι του ρεύματος δεδομένων και για να διατηρήσουν την κατάσταση του δρομολογητή και του εξυπηρετητή ώστε να μπορεί να προσφέρει την ζητούμενη υπηρεσία, που είναι συνήθως το εύρος ζώνης και ο χρόνος που απαιτείται για να διανύσει ένα σήμα την απόσταση μεταξύ δύο σημείων του δικτύου (latency).

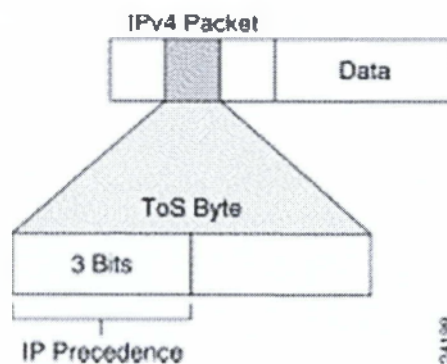


## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

Το RSVP χρησιμοποιεί τη μέση τιμή μετάδοσης δεδομένων, το μεγαλύτερο αριθμό δεδομένων που μπορεί να κρατήσει σε ουρά ο δρομολογητής, και το ελάχιστο QoS για τον καθορισμό του δεσμευμένου εύρους ζώνης.

### 4.2.3 Προτεραιότητα IP

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τα 3 bit προτεραιότητας που υπάρχουν στο Type of Service της επικεφαλίδας του IPv4 για να καθορίσει την τάξη της υπηρεσίας για κάθε πακέτο, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.4: Προτεραιότητα IP

Με τη χρήση της προτεραιότητας IP, η κυκλοφορία μπορεί να χωριστεί σε έξι διαφορετικές τάξεις υπηρεσιών. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για δημιουργία ουρών μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιήσουν αυτό το σήμα για τον κατάλληλο χειρισμό των δεδομένων.

Χαρακτηριστικά όπως η δρομολόγηση σύμφωνα με την πολιτική που έχει χαραχτεί από την εταιρία και το δεσμευμένο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (committed access rate- CAR) μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να καθοριστεί η προτεραιότητα βάσει της ταξινόμησης που καθορίζεται από μια διευρυμένη λίστα

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

πρόσβασης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη ελαστικότητα στην εκχώρηση προτεραιότητας, κάτι που περιλαμβάνει εκχώρηση κατά εφαρμογή ή χρήστη, ή κατά το υποδίκτυο προορισμό και προέλευσης, κ.λ.π. Τυπικά, η λειτουργία αυτή εκτελείται όσο πιο κοντά γίνεται στην άκρη του δικτύου (στον τομέα διαχείρισης), έτσι ώστε κάθε διαδοχικό στοιχείο του δικτύου να μπορεί να προσφέρει υπηρεσίες ανάλογα με την προκαθορισμένη πολιτική.

Η προτεραιότητα IP μπορεί να καθοριστεί στο στον εξυπηρετητή ή στον πελάτη του δικτύου. Επίσης με την υπηρεσία αυτή μπορούν να δημιουργηθούν τάξεις υπηρεσιών με χρήση των υπάρχοντων μηχανισμών δημιουργίας ουρών που έχει το δίκτυο (π.χ. WFQ), χωρίς να γίνουν αλλαγές στις υπάρχουσες εφαρμογές ή στις απαιτήσεις του δικτύου.

Η μέθοδος αυτή μπορεί να επεκταθεί ώστε να υποστηρίζει και το IPv6.

### 4.2.4 Το πρωτόκολλο DiffServ

Το πρωτόκολλο αυτό παρέχει μία απλή μέθοδο για την ταξινόμηση των διάφορων εφαρμογών. Υπάρχουν δύο διαφορετικές ανά βήμα συμπεριφορές (per hop behaviors-PHBs) οι οποίες αντιπροσωπεύουν τα δύο επίπεδα υπηρεσίας:

- Η εσπευσμένη προώθηση (Expedited Forwarding-EF), όπου υπάρχει μια μοναδική τιμή του DiffServ (ονομάζεται codepoint). Το EF ελαχιστοποιεί την καθυστέρηση και το θόρυβο και προσφέρει το υψηλότερο επίπεδο ενοποιημένης ποιότητας υπηρεσίας. Όλη η κυκλοφορία που υπερβαίνει το προφίλ που έχει καθοριστεί από την τοπική πολιτική που υπάρχει για το δίκτυο απορρίπτεται.
- Η επιβεβαιωμένη προώθηση (Assured Forwarding-AF), η οποία έχει τέσσερις τάξεις και σε κάθε μία υπάρχουν τρεις διαφορετικές προτεραιότητες απόρριψης (άρα τελικά έχουμε δώδεκα codepoints). Το περίσσειμα της κυκλοφορίας AF δεν παραδίδεται με την ίδια υψηλή πιθανότητα όπως η

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

κυκλοφορία που βρίσκεται μέσα στο προφίλ. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να υποβιβαστεί αλλά όχι να απορριφτεί.

Το πρωτόκολλο θεωρεί δεδομένη την ύπαρξη μια Συμφωνίας Επιπέδου Υπηρεσίας (Service Level Agreement-SLA) μεταξύ γειτονικών δικτύων. Η συμφωνία αυτή καθορίζει τα κριτήρια πολιτικής του δικτύου και καθορίζει το προφίλ για την κυκλοφορία σε αυτό. Η κυκλοφορία στο δίκτυο ρυθμίζεται στα σημεία εξόδου σύμφωνα με τη συμφωνία αυτή και κάθε είδους κυκλοφορία σε ένα σημείο εισόδου που είναι εκτός προφίλ (π.χ πάνω από το υψηλότερο εύρος ζώνης που καθορίζεται στο SLA), υπάρχει περίπτωση να μην φτάσει στον προορισμό της.

Ο μηχανισμός του πρωτοκόλλου που χρησιμοποιεί η υπηρεσία αυτή είναι για το IP η οκτάδα Τύπου Υπηρεσίας (Type of Service-TOS) και για το IPv6 η αντίστοιχη οκτάδα Τάξης Κυκλοφορίας (Traffic Class).

Όταν το πρωτόκολλο DiffServ χρησιμοποιεί παραμέτρους RSVP ή συγκεκριμένους τύπους εφαρμογών για να προσδιορίσει και να κατατάξει την κυκλοφορία που μεταφέρεται με το σταθερό ρυθμό μετάδοσης (constant bit rate-CBR), δίνεται η δυνατότητα να δημιουργηθούν καλά ορισμένες ενοποιημένες ροές δεδομένων, οι οποίες μπορούν να κατευθυνθούν προς κανάλια με σταθερό εύρος ζώνης. Έτσι μπορούμε να έχουμε το διαμοιρασμό των πόρων ταυτόχρονα με εγγυημένη υπηρεσία.

### 4.3 Η Ποιότητα Υπηρεσιών (QoS) στα σημερινά δίκτυα

Ένα ρεύμα πακέτων από μια προέλευση προς έναν προορισμό ονομάζεται ροή (flow). Σε ένα συνδεδεμοστρεφές δίκτυο, όλα τα πακέτα που ανήκουν σε μια ροή ακολουθούν το ίδιο δρομολόγιο. Σε ένα ασυνδεδεστικό δίκτυο μπορεί να ακολουθούν διαφορετικά δρομολόγια. Οι ανάγκες κάθε ροής μπορούν να χαρακτηριστούν από τέσσερις διαφορετικές παραμέτρους:

- Αξιοπιστία

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

- Καθυστέρηση
- Παραμόρφωση χρονισμού (jitter)
- Εύρος ζώνης

Ένα δίκτυο ή ένα πρωτόκολλο που υποστηρίζουν QoS μπορεί να συμφωνήσει σχετικά με μια σύμβαση κυκλοφορίας με την εφαρμογή και να δεσμεύει εύρος ζώνης στους κόμβους του δικτύου. Κατά τη διάρκεια μιας συνόδου (session) μπορεί να ελέγξει το πραγματοποιημένο επίπεδο απόδοσης, παραδείγματος χάριν το ρυθμό δεδομένων και την καθυστέρηση των στοιχείων, και δυναμικά να ελέγξει-παραχωρήσει προτεραιότητες στους κόμβους του δικτύου (IXIA, 2011 ,EKSTROM, 2009, Moser, 2008).

Η ποιότητα υπηρεσιών μπορεί να απαιτηθεί για ορισμένους τύπους streaming media. Τα streaming media μπορούν να απαιτήσουν την εγγυημένη ρυθμοαπόδοση (throughput) για να ασφαλίσουν ότι διατηρείται ένα κατώτατο επίπεδο ποιότητας.

Το IP telephony ή VoIP μπορεί να απαιτήσει αυστηρά όρια στο jitter και την καθυστέρηση. Το Video Conferencing (VTC) απαιτεί χαμηλό jitter και καθυστέρηση.

Αυτοί οι τύποι υπηρεσιών καλούνται ανελαστικοί (inelastic), σημαίνοντας ότι απαιτούν ένα ορισμένο κατώτατο επίπεδο εύρους ζώνης και μιας ορισμένης μέγιστης καθυστέρησης για να λειτουργήσουν.

Σε αντίθεση, οι ελαστικές (elastic) εφαρμογές μπορούν να εκμεταλλευτούν πολύ ή λίγο εύρος ζώνης ανάλογα με το πόσο είναι διαθέσιμο εκείνη τη στιγμή. Οι μαζικές εφαρμογές μεταφοράς αρχείων που στηρίζονται στο TCP είναι γενικά ελαστικές.

#### *4.3.1 Τεχνικές επίτευξης καλής Ποιότητας Υπηρεσιών (QoS) στα σημερινά δίκτυα*

Καμία τεχνική από μόνη της δεν παρέχει αποδοτική και αξιόπιστη ποιότητα υπηρεσιών με βέλτιστο τρόπο. Αντιθέτως έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές, και οι πρακτικές λύσεις συνδυάζουν συχνά πολλές τεχνικές. Αυτές είναι οι εξής (IXIA, 2011 ,EKSTROM, 2009, Moser, 2008):

- **Υπερκάλυψη:** Παρέχεται τόσο πολλή χωρητικότητα δρομολογητών, περιοχών προσωρινής αποθήκευσης και εύρους ζώνης έτσι ώστε τα πακέτα να κινούνται άνετα.
- **Προσωρινή Αποθήκευση:** Οι ροές των πακέτων μπορούν προσωρινά να αποθηκεύονται στο άκρο του παραλήπτη πριν παραδοθούν.
- **Μορφοποίηση κίνησης:** Η πηγή μεταδίδει ομοιόμορφα. Με την τεχνική της Προσωρινής Αποθήκευσης ο δέκτης λαμβάνει με έναν ομοιόμορφο τρόπο, ανεξάρτητα του ρυθμού με τον οποίο η πηγή στέλνει τα δεδομένα. Με την τεχνική Μορφοποίηση κίνησης η πηγή στέλνει με ομοιόμορφο ρυθμό. Δηλαδή εξομαλύνει την κίνηση από την πλευρά της πηγής αντί να ασχολείται από την πλευρά του πελάτη.
- **Δέσμευση πόρων:** Η δυνατότητα κανονικοποίησης της μορφής της προσφερόμενης κίνησης.
- **Έλεγχος αποδοχής:** Η εισερχόμενη κίνηση μιας ροής είναι καλά μορφοποιημένη και μπορεί θεωρητικά να ακολουθεί ένα μόνο δρομολόγιο, κατά μήκος του οποίου μπορεί να δεσμεύεται προκαταβολικά χωρητικότητα στους δρομολογητές.
- **Αναλογική δρομολόγηση:** Οι περισσότεροι αλγόριθμοι δρομολόγησης προσπαθούν να βρουν τη βέλτιστη διαδρομή για κάθε προορισμό, και στέλνουν όλη την κίνηση προς τον προορισμό αυτόν μέσω της βέλτιστης διαδρομής.

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

- Χρονοπρογραμματισμός πακέτων: Αν ένας δρομολογητής χειρίζεται πολλές ροές, υπάρχει ο κίνδυνος μια ροή να καταναλώσει πολύ μεγάλο μέρος της χωρητικότητάς του και να οδηγήσει σε «λιμοκτονία» (starvation) όλες τις άλλες ροές. Η επεξεργασία των πακέτων σύμφωνα με τη σειρά άφιξης (FIFO, First In First Out) σημαίνει ότι ένας επιθετικός αποστολέας μπορεί να καταναλώνει το μεγαλύτερο μέρος της χωρητικότητας των δρομολογητών τους οποίους διασχίζουν τα πακέτα του, μειώνοντας την ποιότητα υπηρεσιών για τους άλλους.
- Έλεγχος προτεραιότητας: Κάθε πακέτο μαρκάρεται με ένα πεδίο που δηλώνει την προτεραιότητά του. Με βάση αυτή την προτεραιότητα αλλάζει και ο χειρισμός κάθε πακέτου στους καταχωρητές.

#### 4.4 Ποιότητα Εμπειρίας (Quality of Experience – QoE)

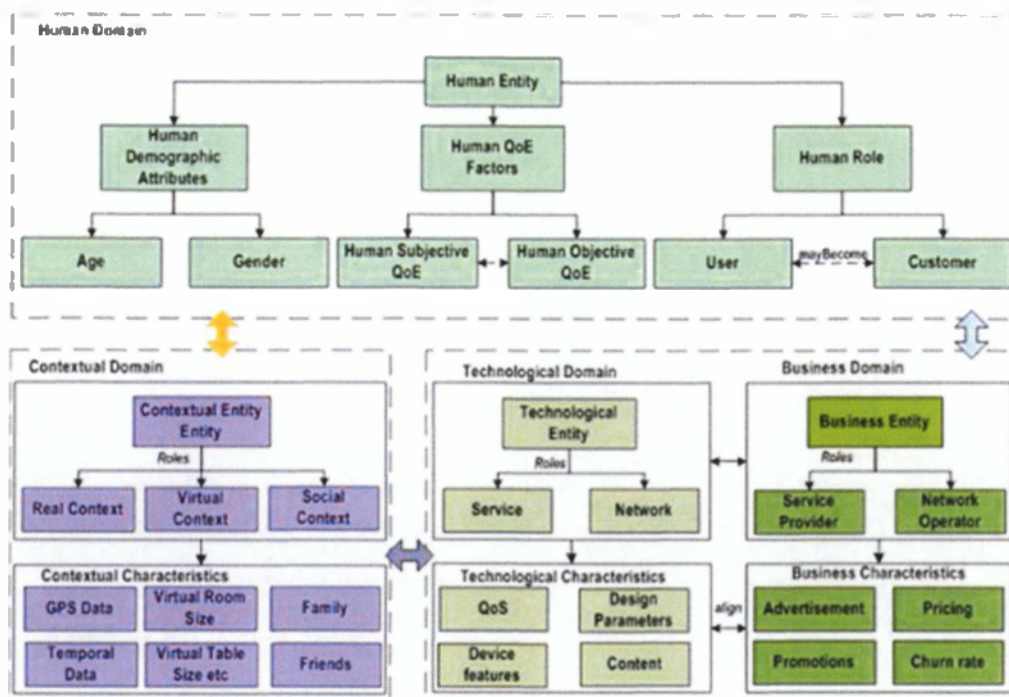
Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μία στροφή της φιλοσοφίας με την οποία προσεγγίζονται όλα τα ζητήματα της παραγωγής και διάθεσης προϊόντων και υπηρεσιών στον κόσμο των κινητών επικοινωνιών (και όχι μόνο), από τεχνο-κεντρικά σε ανθρωπο-κεντρικά μοντέλα. Έτσι μετακυλιέται το ενδιαφέρον από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου και της υπηρεσίας (τα οποία είναι σαφώς μετρήσιμα και αντικειμενικά), στον τρόπο με τον οποίο ο άνθρωπος-χρήστης προσλαμβάνει το αποτέλεσμα και την αξία της υπηρεσίας και του δικτύου που την προσφέρει (στοιχεία με μεγάλο βαθμό υποκειμενικότητας).

Η ανθρώπινη συμπεριφορά ορίζεται από παράγοντες εσωτερικούς (βιολογικούς, ψυχολογικούς, γνωστικούς) και εξωτερικούς (κοινωνικοί, οικονομικοί, τεχνικοί). Στο παρακάτω οικοσύστημα επικοινωνιών βασισμένο στην έννοια της QoE (*Ολιστικό Μοντέλο Ποιότητας Εμπειρίας*) (LAGHARI, 2013), οι εσωτερικοί παράγοντες είναι μέρος του Human Domain, ενώ οι εξωτερικοί παράγοντες χωρίζονται σε Technological, Business &

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

Contextual Domains. Η διάδραση μεταξύ αυτών των Domains, παράγει απαιτήσεις QoE.

Μέσα σε κάθε Domain υπάρχουν 3 επίπεδα αφαίρεσης: Οντότητα (entity), Ρόλοι (roles) και Χαρακτηριστικά (Characteristics). Μία οντότητα μπορεί να έχει πολλαπλούς ρόλους και χαρακτηριστικά. Τα τελευταία μεταφράζονται σε μετρήσιμα / ποσοτικοποιήσιμα μεγέθη.



- Human Domain (Ανθρώπινο Πεδίο)

Η ανθρώπινη οντότητα έχει διάφορα δημογραφικά χαρακτηριστικά (ηλικία, φύλλο), παίζει ρόλους (πελάτη που επηρεάζεται από τα επιχειρηματικά μοντέλα των παρόχων, χρήστη που εκτιμά και αξιολογεί την υπηρεσία) και έχει διάφορες εμπειρίες (QoE factors). Οι QoE factors αντιπροσωπεύουν την συνολική εκτίμηση των ανθρώπινων αναγκών, αισθημάτων, επιδόσεων και προθέσεων. Χωρίζονται σε Υποκειμενικούς (π.χ. ευκολία / ευχαρίστηση από τη χρήση, ικανοποίηση, ενόχληση, κ.α.) και Αντικειμενικούς (π.χ. καρδιακοί σφυγμοί, εφίδρωση, απομνημόνευση, αχρωματοψία, κ.α.) παράγοντες. Εκτός από τους παράγοντες

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

αυτούς, μία ανθρώπινη οντότητα έχει ρόλους 3 βασικών τύπων: *Πελάτης* (συνδρομητής, νόμιμος κάτοχος μιας υπηρεσίας, επηρεάζεται από τα επιχειρηματικά μοντέλα των παρόχων), *Χρήστης* (χαρακτηριστικά, αίσθηση, πρόσληψη και τεχνικές επιδόσεις της υπηρεσίας), *Ομάδα* (σύνολο οντοτήτων που μοιράζονται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, αλληλεπιδρούν, ή έχουν συγκεκριμένες σχέσεις. Π.χ. τηλεδιάσκεψη πολλών μερών, κοινωνικός ιστός, παράγουν μία συνδυαστική εμπειρία ομάδας).

- **Technological Domain (Τεχνολογικό Πεδίο)**

Εδώ ενσωματώνονται όλες οι τεχνολογικές πτυχές του κύκλου ζωής μιας υπηρεσίας από την σχεδίασή της μέχρι την παροχή της. Όσες πτυχές σχεδιάζονται και παρέχονται θεωρούνται *τεχνολογικές οντότητες* (υπηρεσίες, εφαρμογές, δικτυακοί πόροι, συσκευές χρήστη), ενώ οι τεχνικές παράμετροι με τις οποίες σχετίζονται θεωρούνται *τεχνολογικά χαρακτηριστικά* (QoSπαράμετροι, τεχν. προδιαγραφές συσκευών, τύπος περιεχομένου)

- **Business Domain (Επιχειρηματικό Πεδίο)**

Εδώ ενσωματώνονται όλες οι επιχειρηματικές πτυχές που συνδέονται με την παροχή μιας υπηρεσίας. Σήμερα η αποτελεσματική διαχείριση της εμπειρίας του πελάτη, είναι μία από τις σημαντικότερες διαφοροποιήσεις σε μία άκρως ανταγωνιστική αγορά. Από την πλευρά του παρόχου είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζει πώς να σχεδιάσει επιχειρηματικά χαρακτηριστικά όπως *διαφήμιση, κοστολόγηση και χρέωση*, προκειμένου να ικανοποιήσει τις ανάγκες των πελατών. Η επιχειρηματική οντότητα κατέχει τεχνικές οντότητες (δικτυακές υποδομές, κ.α.) και μπορεί να έχει διάφορους ρόλους, όπως πάροχος υπηρεσίας, δικτύου, αγοράς, περιεχομένου, συσκευής. Μπορεί επίσης να έχει υποκατηγορίες, όπως σημεία επαφής με τον πελάτη, κέντρο παραπόνων, κ.α. Η δε επαφή με τον πελάτη μπορεί να είναι άμεση, ή έμμεση (π.χ. ηλεκτρονική). Η επιχειρηματική



## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

αλυσίδα αξίας (ορίζει τη ροή αξίας στο σχετικό επιχειρηματικό μοντέλο) μίας πολυμεσικής τηλ/κης υπηρεσίας, αποτελείται από:

- Χαρακτηριστικά του μοντέλου του πελάτη: διαφήμιση, κοστολόγηση, προώθηση, εξυπηρέτηση, brand image (δημόσια εικόνα της επωνυμίας του προϊόντος)
- Χαρακτηριστικά της επιχείρησης: ενδοεπιχειρησιακά (στόχοι και στρατηγικές παρόχου, μάρκετινγκ, διαθέσιμοι πόροι και χρήση τους) και διεπιχειρησιακά (νομικά, οικονομικά και σχετικά με Service Level Agreement ζητήματα μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών)

Για την παροχή υψηλής ποιότητας εμπειρίας στους πελάτες, απαιτείται η ευθυγράμμιση των επιχειρηματικών χαρακτηριστικών με τις QoE απαιτήσεις του πελάτη, γι' αυτό και σχεδιάζεται ένα κουτί γύρω από τα Business & Technological Domains.

- Contextual Domain

Μέσα σε ένα επικοινωνιακό οικοσύστημα, ο όρος «context» (απόδοση ως «πλαίσιο εφαρμογής») αντιπροσωπεύει τις περιστάσεις, επικοινωνιακές καταστάσεις και περιβάλλον, κατά την ώρα της διάδρασης μεταξύ όλων των παραπάνω οντοτήτων. Κατηγοριοποιείται ως *Πραγματικό* (π.χ. ζώνη ώρας, ή τρέχουσα ώρα του χρήστη, τοποθεσία / περιβάλλον / κλίμα / καιρικές συνθήκες κατά την λήψη της υπηρεσίας), *Εικονικό* (π.χ. εξ' αποστάσεως εκπαίδευση, ή εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας) και *Κοινωνικό* (διαπροσωπικές σχέσεις, κοινωνικές επαφές, φίλοι / εχθροί / γείτονες / συνεργάτες / συγγενείς). Ένα άτομο που συμμετέχει σε μία τηλεδιάσκεψη, ή ένα άτομο που τηλεφωνεί σε ένα ήσυχο δωμάτιο, έχει διαφορετικές QoE απαιτήσεις από ένα άτομο που διενεργεί μία επικοινωνία σε έναν σιδηροδρομικό σταθμό, ή μία καφετέρια.

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

- Αντιστοιχίες μεταξύ Domains

Όλοι οι παραπάνω παράγοντες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως:

- ❖ παράγοντες ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ: ή αλλιώς ανεξάρτητοι παράγοντες, είναι αυτοί που εξηγούν, ή προβλέπουν τους παράγοντες έκβασης (αποτελέσματος). Εδώ έχουμε *τεχνολογικά / επιχειρηματικά χαρακτηριστικά και χαρακτηριστικά πλαισίου εφαρμογής*.

- ❖ παράγοντες ΕΚΒΑΣΗΣ: ή αλλιώς εξαρτημένοι παράγοντες, είναι αυτοί που βασίζονται στα *υποκειμενικά και αντικειμενικά χαρακτηριστικά του ανθρώπινου πεδίου*.

- ❖ παράγοντες ΜΕΤΡΙΑΣΜΟΥ: είναι αυτοί που επηρεάζουν την κατεύθυνση και/ή την ένταση της σχέσης μεταξύ παραγόντων πρόγνωσης και έκβασης. Παράδειγμα τα *δημογραφικά χαρακτηριστικά* (ηλικία, φύλο, εισόδημα, κ.α.), οι *ανθρώπινοι ρόλοι* (χρήστης, πελάτης) και το *πλαίσιο εφαρμογής* (π.χ. τοποθεσία)

Τα χαρακτηριστικά του πλαισίου εφαρμογής μπορούν να είναι παράγοντες πρόγνωσης (η προσλαμβανόμενη κοινωνική πίεση, επηρεάζει την συμπεριφορά του ατόμου), ή παράγοντες μετρίασης (τα δεδομένα του χρήστη, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν κατά τοποθεσία).

Μία διεργασία «αιτίου - αποτελέσματος» (causal process) είναι ο άμεσος επηρεασμός των παραγόντων ΕΚΒΑΣΗΣ από παράγοντες ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ. Μία διεργασία «μεσολάβησης» (mediation process) είναι ο έμμεσος επηρεασμός μίας άμεσης σχέσης αιτίου - αποτελέσματος μεταξύ παραγόντων ΕΚΒΑΣΗΣ και ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ. Π.χ. όταν πέφτει η QoS μίας υπηρεσίας Video on Demand, ο χρήστης μπορεί να ενοχλείται ή όχι, ανάλογα με το αν πληρώνει, ή όχι, για την υπηρεσία. Αντίστοιχα διαφορετική αντίληψη ανοχής προς την χειροτέρευση της QoS, μπορεί να έχουν άνθρωποι που ανήκουν σε διαφορετικές ηλικιακές ομάδες. Γενικά οι παράγοντες ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ και ΜΕΤΡΙΑΣΜΟΥ δεν συσχετίζονται, αν όμως υπάρχει

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

ισχυρή σχέση, μπορεί να οδηγήσει σε λάθη εκτιμήσεων. Γενικά ισχύει η παρακάτω απλοποιημένη σχέση μεταξύ χαρακτηριστικών των πεδίων:

*ΣΥΝΟΛΙΚΗ QoE (παράγοντες ΜΕΤΡΙΑΣΜΟΥ) = ΑΜΕΣΟ αποτέλεσμα (παράγοντες ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ) + ΕΜΜΕΣΟ αποτέλεσμα (διεργασίες «μεσολάβησης»)*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

---

### ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ VOIP QOE

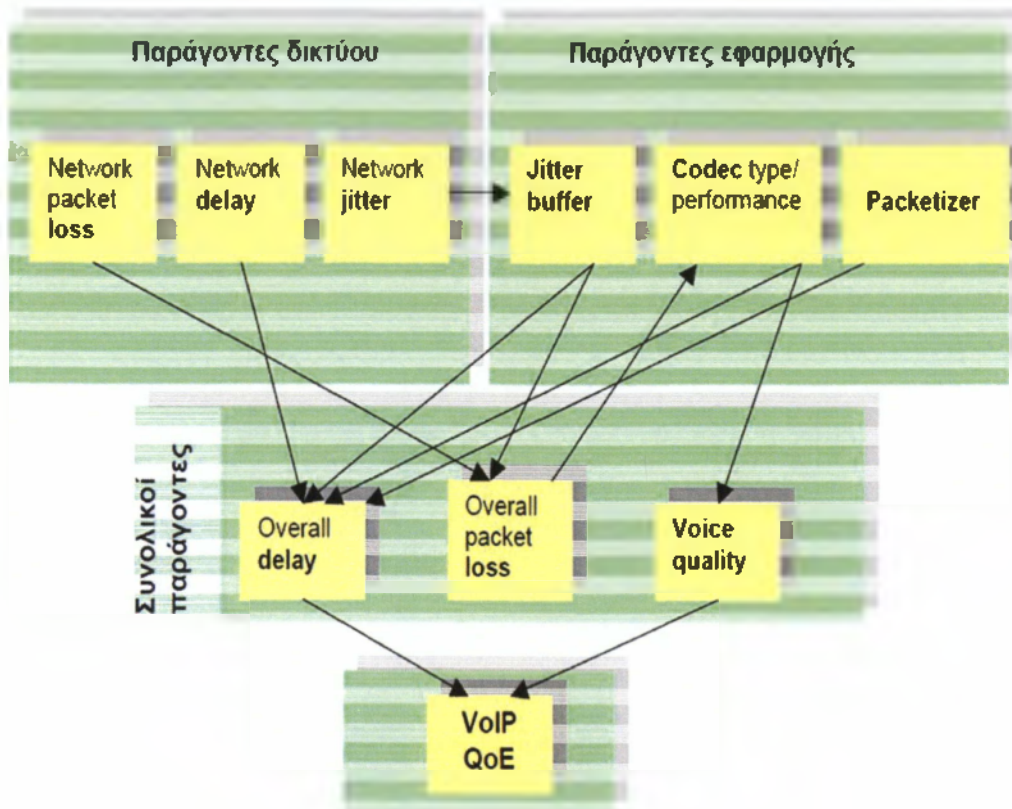
#### 5.1 Επίδραση χαρακτηριστικών δικτύου και εφαρμογής στο VoIPQoE

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το VoIP QoE είναι:

1. η συνολική καθυστέρηση που επηρεάζει έντονα την ποιότητα μιας VoIP συνδιάλεξης κυρίως λόγω του διαδραστικού της χαρακτήρα και
2. η ποιότητα του φωνητικού σήματος που φτάνει στον χρήστη και η οποία επηρεάζεται από τους ακόλουθους παράγοντες:
  - Jitter
  - Jitter Buffer
  - PLR
  - Codec

Άλλοι παράγοντες όπως είναι ο θόρυβος στο ηχητικό σήμα, η ηχώ, και η ένταση επηρεάζουν την ποιότητα του φωνητικού σήματος και την ποιότητα της συνδιάλεξης (Hardy, 2001). Ο τρόπος που συνεισφέρουν τα χαρακτηριστικά του δικτύου (καθυστέρηση δικτύου, jitter, PLR) και της εφαρμογής (codec, packetizer, jitter buffer) στους παραπάνω παράγοντες φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα



Σχήμα 5.1: Συσχέτιση παραγόντων VoIP QoE

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα στην συνολική καθυστέρηση που αντιλαμβάνονται οι χρήστες, συμβάλει η καθυστέρηση δικτύου, η καθυστέρηση από τον jitter buffer, και η καθυστέρηση του codec και του packetizer, της οποίας το μεγαλύτερο μέρος αποτελείται από την χρονική διάρκεια του ηχητικού σήματος που περιέχεται σε ένα IP πακέτο.

## 5.2 Κατηγοριοποίηση μεθόδων αξιολόγησης VoIP QoE

Η ύπαρξη αξιόπιστων μεθόδων μέτρησης της ποιότητας της φωνής αποτελεί θεμελιώδη απαίτηση στις τηλεπικοινωνίες για τεχνικούς, εμπορικούς και νομικούς λόγους. Έχουν προκύψει πολλές τέτοιες μέθοδοι, αρκετά διαφορετικές μεταξύ τους.

Μία κύρια διάκρισή τους είναι σε υποκειμενικές και αντικειμενικές μεθόδους.

- Στις υποκειμενικές μεθόδους κάποια δείγματα ομιλίας στέλνονται μέσω του συστήματος/δικτύου και ένας αριθμός ανθρώπων καλείται να αξιολογήσει τα παραλαμβανόμενα δείγματα ομιλίας. Οι υποκειμενικές μέθοδοι έχουν πολλά μειονεκτήματα όπως το κόστος, η μη επαναληψιμότητα, το ότι είναι χρονοβόρες και το ότι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλη κλίμακα.
- Οι αντικειμενικές μέθοδοι διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Σε παρεμβατικές (intrusive) και μη παρεμβατικές (non-intrusive). Στις intrusive μεθόδους γίνεται μία αλγοριθμική σύγκριση μεταξύ ενός αρχικού φωνητικού σήματος αναφοράς που περνάει μέσω ενός συστήματος/δικτύου και του παραλαμβανόμενου παραμορφωμένου σήματος. Οι intrusive μέθοδοι είναι ακριβείς, αλλά η ανάγκη των μεθόδων αυτών να χρησιμοποιούν το σήμα αναφοράς, τις καθιστά ακατάλληλες για τον έλεγχο της ποιότητας της φωνής ενός συστήματος σε πραγματικό χρόνο. Οι non-intrusive μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν σε πραγματικό χρόνο. Για την αξιολόγηση χρησιμοποιούν είτε το προς αξιολόγηση σήμα (signal-based) είτε κάποιες παραμέτρους του σήματος ή/και του δικτύου μετάδοσης (parameter-based).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι από τις μεθόδους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση μιας VoIP υπηρεσίας, μερικές αξιολογούν μόνο την ποιότητα της λαμβανόμενης ομιλίας (listening quality), ενώ άλλες την ποιότητα της συνομιλίας (conversational quality).

### 5.3 Η μέθοδος MOS

Το Mean Opinion Score (MOS) (International Telecommunication Union) είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη στηρίζεται στην αξιολόγηση της ομιλίας (σε μία κλίμακα 1-5) από έναν αριθμό χρηστών κάτω από συγκεκριμένες πειραματικές συνθήκες, όπως χαμηλό θόρυβο δωματίου. Υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι και κλίμακες αξιολόγησης. Ο πιο διαδεδομένη είναι η Absolute Category Rating (ACR). Σύμφωνα με αυτή οι χρήστες καλούνται να αξιολογήσουν μια σειρά από φωνητικά σήματα με βάση μια κλίμακα, χωρίς να έχουν ακούσει τα αρχικά σήματα. Στη συνέχεια προκύπτει ένας βαθμός από τον μέσο όρο των αξιολογήσεων. Επειδή η ACR μεθοδολογία δεν είναι ευαίσθητη σε μικρές παραμορφώσεις, έχει προταθεί η Degradation Category Rating (DCR) κατά την οποία η αξιολόγηση των παραμορφωμένων σημάτων γίνεται αφού ο χρήστης ακούσει και το αρχικό σήμα.

Πίνακας 5.1: Σύγκριση MOS, ποιότητας και εξασθένησης φωνής

MOS	Quality	Impairment
5	Excellent	Imperceptible
4	Good	Perceptible but not Annoying
3	Fair	Slightly Annoying
2	Poor	Annoying
1	Bad	Very Annoying

### 5.4 Η μέθοδος PESQ

Η πιο σύγχρονη και εξελιγμένη μέθοδος αξιολόγησης φωνής είναι η PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality) (International Telecommunication Union). Έχει προταθεί από τον ITU με κύριο στόχο την χρήση του για αξιολόγηση περιορισμένου εύρους ζώνης τηλεφωνικά δίκτυα και codec. Πρόκειται για μία

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

intrusive αντικειμενική μέθοδο. Συνδυάζει τις λειτουργίες δύο άλλων αντικειμενικών μεθόδων των PSQM+ και PAMS.

Το PESQ συγκρίνει δύο φωνητικά σήματα, όπως για παράδειγμα ένα αρχικό φωνητικό σήμα που μεταδίδεται μέσω ενός VoIP συστήματος/δικτύου με το τελικό σήμα που παραλαμβάνεται, και ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και το μέγεθος της παραμόρφωσης κάνει μια αξιολόγηση στην κλίμακα MOS (5-άριστα ως 1-κακώς).

Κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της παραμόρφωσης που λαμβάνει η μέθοδος υπόψη της είναι το φιλτράρισμα, μικρές τοπικές παραμορφώσεις (που μπορούν να προκληθούν από απώλεια πακέτων φωνής) και μεταβλητή καθυστέρηση.

Η βασική λειτουργία της μεθόδου είναι η σύγκριση μικρών τμημάτων-blocks (μερικές φορές αλληλοκαλυπτόμενων) των δύο σημάτων για υπολογισμό της καθυστέρησης (σταθερής και μεταβλητής) και των χαρακτηριστικών της παραμόρφωσης. Για την παραμόρφωση, κάθε block των δύο σημάτων αναλύεται ως προς το συχνοτικό του περιεχόμενο με μετασχηματισμό Fourier. Από τη σύγκριση των συντελεστών του μετασχηματισμού προκύπτει ο βαθμός και τα χαρακτηριστικά της παραμόρφωσης.

Τέλος ο PESQ με βάση ένα ψυχοακουστικό μοντέλο αξιολογεί την επίδραση της παραμόρφωσης στην ακουστικότητα του σήματος, χρησιμοποιώντας τη MOS κλίμακα.

### 5.5 Η μέθοδος E-Model

Η μέθοδος E-Model είναι η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη non-intrusive αντικειμενική μέθοδος αξιολόγησης της ποιότητας μιας συνδιάλεξης. Το E-Model δημιουργήθηκε αρχικά από τον οργανισμό ETSI και περιγράφεται στο ETSI Technical Report ETR 250 (European Telecommunications Standards Institute). Αργότερα αποτέλεσε το ITU G.107 standard (International Telecommunication



## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

Union) και έκτοτε το E-Model επεκτείνεται συνεχώς ώστε να καλύψει τις απαιτήσεις για χρήση του σε VoIP εφαρμογές.

Το E-Model εκτιμά την ποιότητα μιας συνδιάλεξης υπολογίζοντας ένα παράγοντα R (R factor) λαμβάνοντας υπόψη του μια σειρά παραμέτρους που εκτός των άλλων, χαρακτηρίζουν το δίκτυο μετάδοσης και το σύστημα μετάδοσης/λήψης. Ο υπολογισμός του R factor στηρίζεται στην παραδοχή ότι επίδραση διαφορετικών ομάδων παραμέτρων στη συνολική ικανοποίηση του χρήστη είναι αθροιστική. Το R factor είναι το άθροισμα της επίδρασης διαφόρων παραμέτρων της μετάδοσης και κυμαίνεται από 0 ως 120. Τυπικές τιμές του R για περιορισμένου εύρους ζώνης τηλεφωνία είναι 50-94. Το R υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A$$

Όπου,  $R_0$ : αναπαριστά τον λόγο σήματος προς θόρυβο (S/N), που περιλαμβάνει πηγές θορύβου όπως θόρυβος δωματίου, θόρυβος κυκλώματος.  $I_s$ : αναπαριστά το άθροισμα των επιδράσεων παραγόντων που συμβαίνουν σχεδόν ταυτόχρονα (simultaneous) με την ομιλία (π.χ. ένταση, παραμόρφωση κβαντοποίησης).  $I_d$ : αναπαριστά την επίδραση παραγόντων που σχετίζονται με την καθυστέρηση (delay) όπως η ηχώ και η δυσκολία συνομιλίας λόγω καθυστέρησης.  $I_e$ : αναπαριστά την επίδραση παραγόντων που σχετίζονται με τον "εξοπλισμό" (equipment) (π.χ. codec, packet loss rate).  $A$ : παράγοντας πλεονεκτήματος ή προσδοκίας (advantage or expectation factor). Αναπαριστά την προσδοκία του χρήστη για την ποιότητα της συνδιάλεξης. Για παράδειγμα η ευκολία της κλήσης από κινητό τηλέφωνο κάνει τον χρήστη πιο ανεκτικό στην ποιότητα της συνδιάλεξης.

Το E-Model μπορεί να εφαρμοστεί και σε περιπτώσεις αναλογικών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Γι' αυτό το λόγο οι παραπάνω παράγοντες υπολογίζονται από σύνθετες πολυπαραμετρικές εξισώσεις. Στην επόμενη υποενότητα περιγράφεται το πώς μπορεί να απλοποιηθεί το E-Model χρησιμοποιείται για εφαρμογές VoIP.

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

### 5.6 Απλοποιημένο E-Model για VoIP εφαρμογές

Από τις παραμέτρους που χρειάζονται για τον υπολογισμό των παραγόντων του R, οι περισσότερες σχετίζονται με την αναλογική μετάδοση της φωνής και με αναλογικές παραμέτρους των τερματικών συσκευών. Για αυτές τις παραμέτρους μπορούν να χρησιμοποιηθούν default τιμές που ορίζονται στο ITU G.108.

Μία επιπλέον απλοποίηση μπορεί να γίνει θεωρώντας ότι στο VoIP η κύρια επίδραση στην ποιότητα προέρχεται από την καθυστέρηση, τον codec και την απώλεια πακέτων. Με βάση τα παραπάνω η εξίσωση (Ενότητα 5.5) μπορεί να απλοποιηθεί στην:

$$R = 94.2 - I_d - I_e + A$$

### 5.7 Η ποιότητα εμπειρίας σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (QoE of VOIP service)

Υπάρχει μια αυξανόμενη αναγνώριση του γεγονότος ότι η ποιότητα των υπηρεσιών δικτύου (QoS), θα πρέπει να αξιολογούνται σύμφωνα για την ποιότητα της Εμπειρίας τους (QoE) και όχι από τις κλασικές με γνώμονα τα δίκτυα μετρήσεις, όπως η καθυστέρηση, η διαθεσιμότητα, η ανταπόκριση, η ηχώ, και η απώλεια πακέτων.

Επιπλέον, η QoE μπορεί να θεωρηθεί καλή, παρά τον αργό χρόνο απόκρισης ή την απώλεια πακέτων. Η σημασία του QoE έγκειται στην προοπτική της σημαντικής οικονομικής και τεχνικής συνέπειας που έχει στον σχεδιασμό των υποδομών μεταφορών και την ανάπτυξη υπηρεσιών. Αυτό εξηγεί την μεγάλη προσοχή που δίνεται από τους οργανισμούς τυποποίησης της ITU στην QoE.

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

Η VoIP QoE είναι μια υπηρεσία που έχει πρόσφατα αποκτήσει σημαντική διείσδυση στην αγορά.

Τα βασικά δομικά στοιχεία που απαιτούνται για τη λειτουργία μιας PC-to-PC VoIP υπηρεσίας, είναι εγκατεστημένα στις πλευρές του αποστολέα και του παραλήπτη. Στη συνέχεια με ένα σχήμα περιγράφεται η επεξεργασία Pipeline διαδραστικών PC-to-PC συνομιλιών φωνής, όπου ο μηχανισμός κωδικοποίησης στοχεύει στην εξισορρόπηση των συγκρουόμενων απαιτήσεων μειωμένου εύρους ζώνης, διατηρώντας παράλληλα μια καλή αντιληπτή ποιότητα.

Το VoIP QoE είναι ευαίσθητο στη διακύμανση καθυστέρησης του δικτύου, που αναφέρεται ως καθυστέρηση του δικτύου, jitter.

Οι ροές πακέτων φωνής συχνά γίνεται με τη χρήση του αναξιόπιστο πρωτόκολλο μεταφοράς UDP.

Είναι πολλές οι στρατηγικές που έχουν αναπτυχθεί για να ξεπεραστούν οι αρνητικές αντιληπτές επιπτώσεις αυτών των πηγών υποβάθμισης της ποιότητας. Οι υφιστάμενοι μηχανισμοί μπορούν να ταξινομηθούν ως ακολούθως:

- Network-centric στρατηγικές: ενισχύουν την QoE μέσω της ενσωμάτωσης των κατάλληλων μηχανισμών QoS
- Application-centric στρατηγικές: επιδιώκουν να βελτιώσουν τη QoE μέσω της ανάπτυξης των προηγμένων μηχανισμών ελέγχου σε αποστολέα και παραλήπτη.

## 5.8 Μεθοδολογίες SPEECH QUALITY ASSESSMENT

### A. Υποκειμενικές μέθοδοι (Subjective-driven speech quality)

Οι υποκειμενικές μέθοδοι ποσοτικοποιούν την ικανοποίηση των χρηστών (ή την αντιληπτή ποιότητα) χρησιμοποιώντας μία ομάδα ανθρώπινων υποκειμένων.

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

Έχουν σχεδιαστεί για να αξιολογούν την ποιότητα ομιλίας πάνω από το σύστημα μεταφοράς που περιλαμβάνει μόνο χρονικά αμετάβλητες πηγές απομείωσης. Υποκειμενικές δοκιμές μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την ποσοτικοποίηση του conversational quality.

Χωρίζονται σε δύο μεθοδολογίες:

1) Υποκειμενικές Εργαστηριακές μέθοδοι (Laboratory-based subjective SQA approaches): Αναμφίβολα, οι υποκειμενικές στρατηγικές SQA ορίζονται στο πλαίσιο της ITU-T Rec. P.800 που είναι η πιο δημοφιλής μέθοδος. Η επιλογή ενός υποκειμένου είναι μια κρίσιμη πτυχή για την ακρίβεια και τη συνέπεια του SQA. Η ITU-T Rec. P.800 δείχνει ότι πάνω από έξι ανθρώπινα υποκείμενα θα πρέπει να συμμετέχουν κατά τη διάρκεια μιας συνεδρίας υποκειμενικών δοκιμών. Τα ανθρώπινα υποκείμενα επιλέγονται τυχαία από τον συνήθη πληθυσμό που χρησιμοποιεί συνήθως τηλεφωνική επικοινωνία. Επιπλέον, δεν θα πρέπει να έχουν εμπλακεί άμεσα σε μια υποκειμενική δοκιμή κατά τη διάρκεια των τελευταίων έξι μηνών. Η ομιλία υλικού θα πρέπει να είναι άγνωστη στους συμμετέχοντες. Οι υποκειμενικές στρατηγικές χωρίζονται σε δύο επιμέρους κατηγορίες:

- a. Absolute-based rating methods: Σε αυτήν την προσέγγιση, τα υποκείμενα καλούνται να αξιολογήσουν την ποιότητα ομιλίας ή να ανιχνεύσουν με βάση αποκλειστικά και μόνο τις παραμορφωμένες ακολουθίες ομιλίας. Στην πράξη, η οποία διεξήχθη με υποκειμενικές δοκιμές επί το πλείστον ακολουθούν το ACR μέθοδος που ποσοτικοποιεί την αντιληπτή ποιότητα ομιλίας, παρά το ενοχλητικό βαθμό.
- b. Comparison-based rating methods: Σε αυτήν την προσέγγιση, τα υποκείμενα ακούν υποβαθμισμένες ακολουθίες ομιλίας. Έχουν προταθεί για να επιτρέπουν λεπτή εκτίμηση των καναλιών φωνής και CODECs που παράγουν ελαφρώς ξεχωριστές καλές αντιληπτές ποιότητες. Η ITU-T Rec. P.800 περιγράφει δύο συγκρίσεις με βάση τις μεθόδους αξιολόγησης που αναφέρονται ως DCR (Degradation

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

Category Rating) και CCR (Comparison Category Rating). Μπορούν να διακριθούν ανάλογα με τη χρονική παρουσίαση των ακολουθιών ομιλίας και την κλίμακα αξιολόγησής τους.

Κατά την έναρξη τους, οι υποκειμενικές δοκιμές έχουν σχεδιαστεί για να αξιολογούν την ποιότητα ομιλίας πάνω από σύστημα μεταφορών που περιλαμβάνει μόνο χρονικά αμετάβλητες πηγές απομείωσης. Αυτό εξηγεί γιατί η διάρκεια των ερεθισμάτων περιορίζονται σε 8-20 δευτερόλεπτα, γεγονός που αντικατοπτρίζει εύκολα την αντιληπτή ποιότητα σε ολόκληρη την κλήση. Αυτός ο περιορισμός έχει οδηγήσει σε νέες υποκειμενικές μεθόδους για την ποσοτικοποίηση της ποιότητας ομιλίας μέσω χρονικά μεταβαλλόμενων QoS καναλιών. Η ITU-T Rec. P.880 δίνει μια περιεκτική εξήγηση για το πώς να εκτελούνται συνεχείς χρονικές αξιολογήσεις μεταβαλλόμενης ποιότητας ομιλίας (CETVSQ). Συνεπώς, οι υποκειμενικές δοκιμές μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την ποσοτικοποίηση της ποιότητας ομιλίας. Οι δοκιμές ακρόασης ποιότητας χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση της ποιότητας ακρόασης των παραμορφωμένων ακολουθιών ομιλίας. Τέλος, οι υποκειμενικές δοκιμές μετά από ITU-T Rec. P.800 θα πρέπει να διεξάγονται σε ένα απομονωμένο δωμάτιο ήχου, χρησιμοποιώντας ένα ειδικό εξοπλισμό Αυτό αποτελεί σημαντική πρόκληση σε ακαδημαϊκά και βιομηχανικά περιβάλλοντα και εξηγεί γιατί οι υποκειμενικές δοκιμές περιορίζονται σε ινστιτούτα τυποποίησης και μερικούς ισχυρούς φορείς εκμετάλλευσης τηλεπικοινωνιών.

- 2) Υποκειμενικές Διαδικτυακές μέθοδοι (Internet-based subjective SQA approaches): 1) Επιτρέπει στα υποκείμενα να εκτελούν αξιολόγηση της ποιότητας σε ρεαλιστικές συνθήκες. 2) Επιτρέπει μια υποκειμενική διαδικασία δοκιμών που περιλαμβάνει θέματα που βρίσκονται σε γεωγραφικά κατανεμημένες τοποθεσίες. 3) Επιτρέπει στον διαχειριστή μια απλή και αποτελεσματική διαχείριση των υποκειμένων, του υλικού του λόγου, και καταγράφονται τα δεδομένα.

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

- a. Subjective quality assessment following streaming mode: Μια σειρά από αλληλουχίες ομιλίας υψηλής ποιότητας τοποθετούνται σε ένα διακομιστή συνεχούς ροής. Ζητείται από τους εξεταζόμενους να ξαναπαιξουν τις αλληλουχίες ομιλίας αναπαραγωγής σε πραγματικό χρόνο. Αφού ακούσουν ολόκληρη την ακολουθία ομιλίας, τα υποκείμενα θα δώσουν ένα αποτέλεσμα MOS που ποσοτικοποιεί την ικανοποίησή τους. Τέλος, τα ειδικά σκορ, στέλνονται πίσω προς το διακομιστή συνεχούς ροής.
- b. Subjective quality assessment following download mode: Μια σειρά από ακολουθίες υψηλής και υποβαθμισμένης ποιότητας ομιλίας τοποθετούνται σε ένα διακομιστή Web. Τα υποκείμενα έχουν εντολή να κατεβάσουν ολόκληρη την ακολουθία χρησιμοποιώντας ένα αξιόπιστο πρωτόκολλο μεταφοράς. Στη συνέχεια, καλούνται να παίξουν τις ακολουθίες στον υπολογιστή τους σε μια συγκεκριμένη σειρά. Τέλος, καλούνται να δώσουν μια βαθμολογία για την αντιληπτή ποιότητα.

Στην πράξη, η επιλογή μιας στρατηγικής αξιολόγησης εξαρτάται από τους επιδιωκόμενους σκοπούς και στόχους. Ωστόσο, ο τρόπος λήψης μπορεί να είναι χρήσιμος για την ανάπτυξη των παραμέτρων αξιολόγησης των μοντέλων ποιότητας για νέους κωδικοποιητές ομιλίας, συστήματα απόκρυψης απώλειας πακέτων, πολιτικές de-jitter, συσκευές αφαίρεσης θορύβου, κλπ. Οι τεχνικές που βασίζονται στο Διαδίκτυο επιτρέπουν μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα, ρεαλισμό, ευρεία πρόσβαση και ευκολία διαχείρισης. Μειώνουν σημαντικά το ακριβό κόστος και το χρόνο της ITU-T P.800 υποκειμενικής μεθοδολογίας δοκιμής. Παρ' όλα αυτά, το κύριο μειονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι η έλλειψη ενός ελεγχόμενου περιβάλλοντος λειτουργίας, όπου διεξάγονται οι υποκειμενικές δοκιμές, π.χ., πολύ χαμηλού θορύβου υπόβαθρο, ακουστική ποιότητα, εξατομικευμένες ρυθμίσεις των media players, κλπ. Για την αντιμετώπιση αυτών των ελλείψεων, έχει αναπτυχθεί ένα νέο πλαίσιο που βασίζεται στο Internet για τη μέτρηση της ποιότητας εμπειρίας (QoE) του δικτύου, γνωστό και ως OneClick,.

## **B. Αντικειμενικές μέθοδοι (Objective-driven speech quality)**

Οι αντικειμενικές μεθοδολογίες αποτελούν μια πιο εκλεπτισμένη και αποτελεσματική λύση.

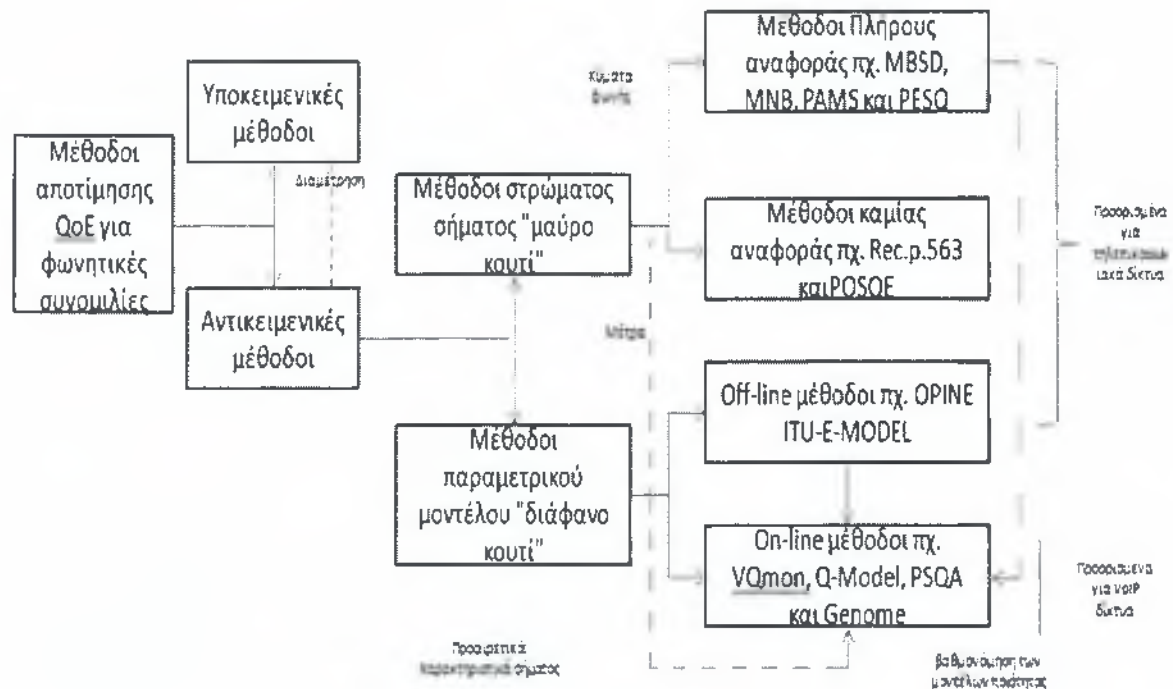
Χωρίζονται σε δύο μεθοδολογίες:

- 1) Μέθοδοι στρώματος σήματος "μαύρο κουτί" (Signal-layer black-box approaches): εκτιμά την αντιληπτή ποιότητα από την επεξεργασία κυμάτων ομιλίας χωρίς ειδική γνώση του υποκείμενου δικτύου μεταφορών και τα χαρακτηριστικά των τερματικών σταθμών. Μπορούν να ταξινομηθούν ως πλήρους αναφοράς SQA αλγόριθμοι επειδή χρειάζονται την αναφορά και τις υποβαθμισμένες ακολουθίες ομιλίας, και επεξεργάζονται μόνο τις υποβαθμισμένες αλληλουχίες για την εκτίμηση της αντιληπτής ποιότητας.
- 2) Μέθοδοι παραμετρικού μοντέλου "διάφανο κουτί" (Parametric-model glass-box approaches): χρησιμοποιούν ένα σύνολο αποκλειστικών παραμέτρων, όπως το κύκλωμα και ο θόρυβος, η απώλεια πακέτων, το σχήμα κωδικοποίησης, η καθυστέρηση jitter, ο ομιλητής και ο ακροατής echoe. Είναι προτιμότερες αυτές οι προσεγγίσεις λόγω της μειωμένης επιβάρυνσης και της ικανότητάς τους να διαχειρίζονται και να παρακολουθούν ζωντανά συνεδρίες VoIP που παρέχονται μέσω ετερογενείς υποδομές μεταφορών. Εδώ εντάσσεται και το E-MODEL.

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι η επιλογή του κατάλληλου SQA αλγορίθμου εξαρτάται από τους επιδιωκόμενους στόχους και το πλαίσιο μέτρησης. Οι παρεμβατικοί double-ended signallayer SQA αλγόριθμοι είναι κατάλληλοι για επιτόπου διάγνωση και ρύθμιση των τερματικών και των δικτύων. Οι Off-line-SQA αλγόριθμοι είναι κατάλληλοι για τους σκοπούς του σχεδιασμού, δηλαδή, κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού των συστημάτων επικοινωνίας. Οι On-line και οι signal-layer single-ended SQA αλγόριθμοι είναι κατάλληλοι για την παρακολούθηση της ποιότητας, την τιμολόγηση και τη διαχείριση των υπηρεσιών. Συνήθως, οι φορείς εκμετάλλευσης τηλεπικοινωνιών με R & D (Ερευνας &

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

Ανάπτυξης) διαίρεση, όπως η Ericsson, Deutsch Telekom και η British Telecom, αναπτύσσουν κατάλληλες εφαρμογές αυτών των SQA αλγορίθμων και τα εργαλεία λογισμικού για απόκτηση, καταγραφή και ανάλυση των μέτρων, ικανοποιούν τις ιδιαίτερες ανάγκες τους.



Σχήμα 5.2: Ταξινόμηση μεθόδων SQA

### 5.9 Μεθοδολογίες εκμετάλλευσης των αντικειμενικών SQA αλγορίθμων

Σε αυτή την ενότητα, απαριθμούνται οι διαφορετικές μεθοδολογίες εκμετάλλευσης των αντικειμενικών SQA αλγορίθμων. Τέτοιες είναι:

- Το VQuad software από την GL Corporation,
- Το OPERA από την OPTICOMS
- Το Mongolia από τον C. Hoene



Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

- Το VQmon από τον Clark
- Το EVOM από τον S. Jelassi

#### **5.10 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ VoIP QoE ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΟΝΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟΥ**

Υπάρχει η δυνατότητα ποσοτικοποίησης της QoE κατά το χρόνο εκτέλεσης της υπηρεσίας VoIP χρησιμοποιώντας ένα σύνολο δικτύων και εφαρμογών μετρήσεων. Εκτελούν μια λειτουργία χαρτογράφησης από ένα σύνολο αντικειμενικών βασικών παραμέτρων, όπως η διακύμανση της καθυστέρησης και το ποσοστό ζημίας πακέτων

- A. Ένας πρωτόγονος αλγόριθμος μονού τερματισμού για την αξιολόγηση της VoIP υπηρεσίας: χρησιμοποιεί προεπιλεγμένες τιμές για E-Model παραμέτρους που δεν σχετίζονται με το δίκτυο μεταφορών, όπως η κβαντοποίηση. Επιπλέον, τονίζει την επίδραση των πηγών υποβάθμισης της ποιότητας που παρατηρείται πάνω από δίκτυα δεδομένων, δηλαδή την καθυστέρηση, το ποσοστό απώλειας πακέτων, και το σύστημα κωδικοποίησης. Ο υπολογισμός του παράγοντα αξιολόγησης γίνεται με τη χρήση του ακόλουθου τύπου:  $R = 94.2 - Id(Ta) - Ie(CODEC.PLR) + A$ ,
- B. Επαυξημένοι αλγόριθμοι μονού τερματισμού για την αξιολόγηση της VoIP υπηρεσίας: προσπαθούν να βελτιώσουν τη συσχέτιση μεταξύ των εκτιμώμενων και υποκειμενικών βαθμολογιών ποιότητας σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών του δικτύου και των ρυθμίσεων εφαρμογής.
- a. Χαμηλής και υψηλής διακριτότητας SQA αλγόριθμοι ευαίσθητοι στην εκρηκτικότητα της απώλειας πακέτων: τα coarse-grained

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

χαρακτηριστικά της διαδικασίας απώλειας πακέτου συλλαμβάνονται χρησιμοποιώντας μια 4-state Markov αλυσίδα.

- b. SQA Αλγόριθμοι ακμής: Μία συσκευή ακμής έχει αναπτυχθεί στο τέλος κάθε σύνδεσης VoIP που μπορεί να είναι είτε από PC σε PC ή από PC σε PSTN φωνητική συνομιλία.
- c. SQA Αλγόριθμοι SQA μονού τερματισμού, βασισμένοι σε τεχνητά νευρωνικά δίκτυα: ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μιμηθεί την ανθρώπινη αξιολόγηση συμπεριφοράς υπό δεδομένες συνθήκες.
- d. Αλγόριθμοι SQA με χρήση του παραδείγματος των ισότιμα αντιληπτών περιγραμμάτων ποιότητας:
- e. Παραμετρικά SQA μοντέλα ευαίσθητα στην αντιληπτή σπουδαιότητα των πακέτων που λείπουν:
- f. Ένας SQA αλγόριθμος που αντιλαμβάνεται την αποσύνδεση:

### 5.11 Αντιληπτή ποιότητα λόγου στα επερχόμενα κινητά και pervasive δίκτυα

Σε αυτό το πλαίσιο, ένα ερευνητικό πρόγραμμα, γνωστό ως Mobisense, έχει διεξαχθεί στο εργαστήριο της Deutsche Telekom που βρίσκεται στο Βερολίνο. Ο απώτερος στόχος της Mobisense ήταν να καθοριστούν οι υποκειμενικές μεθοδολογίες δοκιμών που επιτρέπουν λεπτές ποσοτικοποιήσεις των QoE Συνδιαλέξεων μέσω κινητών ετερογενή δικτύων. Η συνολική υποκειμενική δοκιμή που έχει διεξαχθεί αποκαλύπτει τις ακόλουθες διαπιστώσεις:

1. Η διαδικασία απώλειας πακέτων ήχου και εύρους ζώνης, είναι οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την QoE μιας συνομιλίας VoIP (πχ wideband και narrow-bands- WB, NB).
2. Η αλλαγή του ήχου εύρους ζώνης είναι περίπου ισοδύναμη με την υποβάθμιση της ποιότητας της απώλειας πακέτων 5-10%, και στις δύο NB και WB συνθήκες.

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

3. Οι υποβαθμίσεις λόγω soft handover δικτύου χωρίς κωδικοποιητή μεταγωγής, είναι αμελητέα σε σύγκριση με την απώλεια πακέτων και του εύρους ζώνης του ήχου μεταγωγής.
4. Η μετάβαση σε μια NB CODEC ομιλία που μειώνει το ποσοστό απώλειας πακέτων είναι πιο συμφέρουσα από την επιδίωξη αξιοποίησης των WB CODEC ομιλίας.
5. Μια αλλαγή NB προς WB μετάδοσης ομιλίας αναβαθμίζει την αντιληπτή ποιότητα μόνον όταν η υπολειπόμενη διάρκεια κλήσης είναι αρκετά μεγάλη ( 30 δευτερόλεπτα ) . Μια μετάβαση από WB σε NB συνδέεται πάντα με μια απώλεια στην ποιότητα.
6. Η ακόλουθη σχέση έχει παρατηρηθεί μεταξύ των υποβαθμίσεις απώλειας πακέτων και εύρους ζώνης ήχου:
  - i. Εάν η απώλεια πακέτων είναι υψηλή ( χαμηλή βασική ποιότητα ) , ο αντίκτυπος της αλλαγής του εύρους ζώνης ήχου για την αντιληπτή ποιότητα είναι χαμηλή.
  - ii. Εάν η απώλεια πακέτων είναι χαμηλή ( υψηλή βασική ποιότητα ) , ο αντίκτυπος της αλλαγής του εύρους ζώνης ήχου για τη συνολική ποιότητα της κλήσης είναι υψηλή.
7. Σε κακές συνθήκες δικτύου ( υψηλή αναλογία απώλειας πακέτων ) , δεν έχει σημασία αν το εύρος ζώνης ήχου μπορεί να διατηρηθεί ή όχι. Η πιθανή προσπάθεια θα πρέπει να επικεντρωθεί στη μείωση της απώλειας πακέτων . Ως εκ τούτου , μια μεταπομπή μειώνει την αναλογία απώλειας πακέτων και θα πρέπει να γίνει σε μια τέτοια περίπτωση.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### Αξιολόγηση των VoIP εφαρμογών σε πραγματικές συνθήκες

Όσον αφορά το ευρύ φάσμα συνθηκών του δικτύου, οι VoIP εφαρμογές θα πρέπει να παρουσιάζουν έναν υψηλό βαθμό ελαστικότητας. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να είναι σε θέση να προσαρμόσουν το ποσοστό της μετάδοσης των πακέτων και τον προγραμματισμό, το σύστημα κωδικοποίησης, τη packetizing μεθοδολογία, και την προστασία των πακέτων, ανάλογα με τις επικρατούσες καταστάσεις του δικτύου. Επιπλέον, πολλές εφαρμογές VoIP χρησιμοποιούν ένα VAD (Ανιοχρευτής Voice Δραστηριότητας) αλγόριθμο για να διακρίνει μεταξύ των ενεργών και μη περιόδων μιας αλληλουχίας ομιλίας. Τυπικά, ένας μηχανισμός γεφύρωσης των διαδοχικών ενεργών περιόδων που χωρίζονται από μια μικρή σιωπή χρησιμοποιείται για την πρόληψη των χρονικών αποκομμάτων που υποβαθμίζουν σημαντικά την αντιλαμβανόμενη ποιότητα.

Συνήθως, δημοφιλείς εφαρμογές VoIP, όπως το Skype, το Google Talk, το Yahoo Messenger και το Windows Live διατηρούν την προσαρμοστική τους συμπεριφορά για να αντιμετωπίσουν τις χρονικά μεταβαλλόμενες απομειώσεις. Στην πραγματικότητα, η μηχανική προσπάθεια απαιτείται για τη μελέτη και κατανόηση του τρόπου λειτουργίας των εφαρμογών VoIP. Σήμερα, δεν υπάρχει κάποια ενιαία υποκειμενική μέθοδος δοκιμής για την αξιολόγηση της αντιληπτικής απόδοσης των δημοφιλών εφαρμογών VoIP. Ως εκ τούτου, πιστεύουμε ότι υπάρχει επείγουσα ανάγκη να αναπτυχθεί μια ομοιογενή μεθοδολογία υποκειμενικής δοκιμής που να προορίζεται ειδικά για την αξιολόγηση των αιτήσεων VoIP. Θα πρέπει να σχεδιαστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπει τη μελέτη της αντιληπτής ποιότητας υπό ρεαλιστικές συνθήκες ακρόασης και ομιλητικών προοπτικών.

Βασικά, οι υπάρχοντες SQA αλγόριθμοι VoIP εστιάζουν στην ακριβή εκτίμηση της ποιότητας ακρόασης. Αυτή η επιλογή μπορεί να εξηγείται από την αναμενόμενη σημαντική επίδραση των βλαβών που σχετίζονται με τον εξοπλισμό, δηλαδή το σύστημα κωδικοποίησης και απώλειας πακέτων για τη συνολική

## Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

αντιληπτή ποιότητα. Αυτό σημαίνει ότι οι αντιληπτές επιπτώσεις καθυστέρησης που σχετίζονται με βλάβες παραμελούνται μέσω της υπόθεσης ότι η παρατηρούμενη επίδραση της μονόδρομης καθυστέρησης είναι κοινή κάτω από όλες τις εργασίες συνομιλίας και όλα τα σενάρια, π.χ., PC-to-PC και PC-to-PSTN. Στην πραγματικότητα, οι υπάρχοντες αλγόριθμοι SQA χρησιμοποιούν πρωτόγονα μοντέλα για την ποσοτικοποίηση της επίδρασης της μονόδρομης καθυστέρησης. Συνεπώς, υπάρχει μεγάλη ανάγκη ανάπτυξης ενός πιο σύνθετου μοντέλου ποιότητας για την ποσοτικοποίηση των βλαβών καθυστέρησης που εμποδίζουν την απρόσκοπτη λειτουργία της παρακολούθησης κλήσης VoIP.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

CHOI J. (2009), *Quality of Service (QoS) and Quality of Experience (QoE): Concept, Architecture, Parameters and Performance*, KAIST, Korea.

LORENZ P. (n.d.), *QoS and QoE in the Next Generation Networks and Wireless Networks*, IEEE.

MAYURI, R. & MANISH, P. (2012), *4G Wireless Technology: A Survey Paper*, Proceedings of the National Conference "NCNTE-2012" at Fr. C.R.I.T., Vashi, Navi Mumbai.

FRICKE, M. HECKWOLF, A. HERBER, R. NITSCH, R. SCHWARZE, S. VOB, S. & WEVERING, S. (2012), *Requirements of 4G-Based Mobile Broadband on Future Transport Networks*, Journal of Telecommunications and Information Technology, Germany.

SWEDENBURG, D. & PFLUM, M. (2010), *4G Wireless Technology*, Airspan Technical Symposium.

DELOIT, (2011), *The impact of 4G technology on commercial interactions, economic growth, and U.S. competitiveness*.

[MUVVA, B. MAIPAKSANA, B. & REDDY, M. (2012), *4G and Its Future Impact: Indian Scenario*, International Journal of Information and Electronics Engineering, vol. 2, No. 4, India.

BHANDARE, T. (2008), *LTE and WiMAX Comparison*, Sants Clara University.

ALI ALFAYLY, IS-HAKA MKWAWA, LINGFEN SUN & EMMANUEL IFEACHOR (2012), *QoE-based Performance Evaluation of Scheduling Algorithms over LTE*, School of Computing and Mathematics, Plymouth University, U.K.

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

ΚΩΤΣΟΠΟΥΛΟΣ Σ., ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΙΔΗΣ Γ. (1997), Κινητή Τηλεφωνία, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

RAPPARORT TH. S. (2006), Ασύρματες Επικοινωνίες - Αρχές και Πρακτική, 2η έκδοση, Εκδόσεις Γκιούρδας (μεταφρασμένο).

ΘΕΟΛΟΓΟΥ Μ. Ε. (2007), Δίκτυα Κινητών & Προσωπικών Επικοινωνιών, Εκδόσεις Τζιόλα.

ΚΑΝΑΤΑΣ Α., ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ Φ., ΠΑΝΤΟΣ Γ. (2008), Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

CHOI J. (2009), Quality of Service (QoS) and Quality of Experience (QoE): Concept, Architecture, Parameters and Performance, KAIST, Korea.

LORENZ P. (n.d.), QoS and QoE in the Next Generation Networks and Wireless Networks, IEEE.

HARDY C. (2003), "VoIP Service Quality – Measuring and evaluating packet-switched voice", McGraw Hill.

DAVIDSON J., PETERS J., BHATIA M., KALIDINDI S., MUKHERJEE S. (2006), "Voice over IP Fundamentals, 2nd edition", Cisco press.

JOHNSTON A., SINNREICH H. (2006), "Internet Communications Using SIP, 2nd edition", Wiley Publishing.

PETIT O., GURLE D. (2005), "Beyond VoIP protocols", John Wiley & Sons, Ltd.

AHSON S., ILYAS M. (2009), "VoIP Handbook – Applications, Technologies, Reliability, and Security", CRC Press.

WALKER J. (2002), "A Handbook for Successful VoIP Deployment: Network Testing, QoS, and More", NetIQ.

Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

SCHULZRINNE H., CASNER S., FREDERICK R., & JACOBSON V. (1996), "RTP: A transport protocol for real-time applications." RFC 1889, Internet Engineering Task Force.

ITU-T Recommendation H.323, "Packet-based multimedia communication systems".

CASNER S. & JACOBSON V. (1999), "Compressing IP/UDP/RTP headers for low-speed serial links." RFC 2508, Internet Engineering Task Force.

HARDY W. C., "QoS Measurement and Evaluation of Telecommunications Quality of Service" .John Wiley & Sons, 2001. ISBN 0-471-49957-9.

International Telecommunication Union, "Methods for Subjective Determination of Transmission Quality," ITU Recommendation P.800.

International Telecommunication Union, "Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ), An Objective Method for End-to-end Speech Quality Assessment of Narrowband Telephone Networks and Speech Codecs," ITU-T Recommendation P.862, Feb.2001.

European Telecommunications Standards Institute, "Speech Communication Quality from Mouth to Ear of 3.1 kHz Handset Telephony across Networks," Tech. Report. ETR 250.

ITU, "Recommendation G.107. E-model, a computational model for use in transmission planning."

IXIA (2011), Quality of Service (QoS) and Policy Management in Mobile Data Networks.

EKSTROM H. (2009), QoS Control in the 3GPP Evolved Packet System, IEEE Communications Magazine.



Ποιότητα Εμπειρίας (QoE) σε φωνητικές υπηρεσίες πακέτου (VoIP) πάνω από ασύρματα δίκτυα

CANFORA G., Di PENTA M., ESPOSITO R., & VILLANI M. (n.d.), A Framework for QoS-Aware Binding and Re-Binding of Composite Web Services, Research Centre on Software Technology, University of Sannio, Italy.

MOSER O., ROSENBERG F. & DUSTDAR S. (2008), Non-Intrusive Monitoring and Service Adaptation for WS-BPEL, Technical University Vienna, Austria.

Elkin, Ed (10 April 2014). "The Secret Value of VoLTE". TMCnet. Retrieved 14 September 2014

Jingjing Zhang, Nirwan Ansari "On assuring End-to-End QoE in Next Generation Networks: Challenges and a Possible Solution" IEEE Communications Magazine, July 2011, pp. 185-191.