

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

University of Macedonia

ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα

Master Information Systems MIS

Δίκτυα Υπολογιστών

Computer Networks

Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

Professor: A.A. Economides



**LTE-Advanced: Εισαγωγή στις τεχνολογίες που το διακρίνουν**

**Φαρδέλλας Α. Γεώργιος**

Fardellas A. Georgios

Θεσσαλονίκη 2012

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Η εμπορική διάθεση του Long Term Evolution έκδοσης 8 τυγχάνει σημαντικής προσοχής παγκόσμια και παράλληλα εξελίσσεται στο LTE-Advanced. Βελτιώνονται υπάρχουσες τεχνολογίες ενώ προγραμματίζεται η εισαγωγή νέων χαρακτηριστικών. Ο σκοπός είναι να επιτευχθεί αυξημένη ταχύτητα μεταδόσεων, εξυπηρετώντας περισσότερους χρήστες, στο περιορισμένο υπάρχον φάσμα. Η εργασία είναι μία επισκόπηση των κύριων τεχνολογιών που χρησιμοποιεί το LTE έκδοσης 10 (LTE-Advanced) αφού πρώτα γίνεται μία εισαγωγή στις τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας και στον λόγο ανάπτυξης του, για τον αδαή αναγνώστη. Στο κύριο μέρος, περιγράφονται η λειτουργία των μηχανισμών σε υψηλό επίπεδο, τα προβλήματα που αυτοί επιλύουν και υπογραμμίζονται κάποιες διαφορές με υπάρχοντα συστήματα.

## ABSTRACT

---

The commercial providing of Long Term Evolution release 8 receives significant attention worldwide and in the same time, is evolving to LTE-Advanced. Existing technologies are improving while there are plans of introducing of new features. The goal is to achieve increased datarates, serving more users, in the limited spectrum. This paper is an overview of the main technologies used in LTE Release 10 (LTE-Advanced) after the first introduction to wireless communication technologies and the reason of its development, for the ignorant reader. In the main section, the mechanisms at a high level and the problems they solve are described and it is highlighted some differences with existing systems.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1.</b>	<b>Εισαγωγή.....</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>Πορεία προς το LTE-Advanced .....</b>	<b>7</b>
	2.1.1 Φάσμα.....	7
	2.2 <i>Κινητά δίκτυα επικοινωνιών.....</i>	8
	2.2.1 1 <sup>η</sup> και 2 <sup>η</sup> Γενιά και θεωρία κυψελών .....	8
	i. Θεωρία κυψελών .....	9
	2.2.2 3 <sup>η</sup> Γενιά-3G.....	9
	i. High Speed Packet Access-HSPA .....	10
	ii. Long Term Evolution-LTE (3.9G).....	10
	2.2.3 Πορεία προς το 4G και LTE-Advanced.....	11
	i. Απαιτήσεις του ITU για την 4 <sup>η</sup> Γενιά.....	11
	ii. Χρήσιμα στοιχεία για το LTE-Advanced .....	11
<b>3.</b>	<b>Τεχνολογίες του LTE Advanced .....</b>	<b>14</b>
	3.1 Διαμόρφωση OFDM .....	14
	3.1.1 Συγκρίσεις.....	15
	3.2 <i>Carrier Aggregation .....</i>	17
	3.2.1 Χαρακτηριστικά .....	17
	3.2.2 Συγκρίσεις.....	19
	3.3 <i>Heterogeneous Networks.....</i>	21
	3.4 <i>Τεχνολογία κεραιών MIMO.....</i>	23
	3.4.1 Βασικές λειτουργίες .....	23
	3.4.2 Enhanced-MIMO.....	25
	3.4.3 Σύγκρισεις.....	26
	3.5 <i>SON-Self Organizing Networks.....</i>	27

3.6	<i>e</i> ICIC-Συντονισμένες παρεμβολές κυψελών.....	29
3.6.1	Προβλήματα συνδυασμού μικροκυψέλης–μακροκυψέλης.....	29
3.6.2	Επικρατούσες λύσεις.....	31
i.	Επιμερισμός επιπέδου χρόνου .....	31
ii.	Δυναμικός επιμερισμός πόρων .....	31
3.7	CoMP-Συντονισμένη λήψη-Μετάδοση Πολλαπλών Σημείων .....	33
3.7.1	Τεχνικές CoMP.....	33
3.7.2	Συγκρίσεις .....	34
3.8	Relaying.....	35
3.8.1	Κατηγορίες.....	36
3.9	Τεχνολογίες επόμενων εκδόσεων.....	37
4.	<b>Συμπεράσματα .....</b>	<b>38</b>
5.	<b>Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....</b>	<b>39</b>
6.	<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>40</b>
7.	<b>Εικόνες-Πίνακες .....</b>	<b>45</b>
8.	<b>Παράρτημα .....</b>	<b>47</b>
8.1	<i>Ακρόνυμα-Λεξιλόγιο.....</i>	<i>47</i>

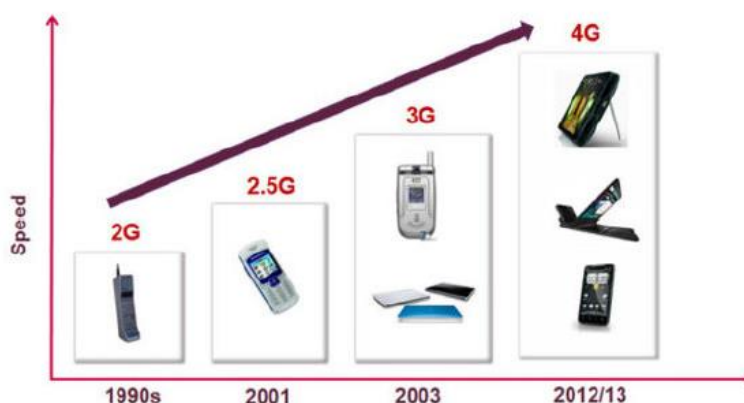


## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το 2009 για πρώτη φορά η κίνηση στο Internet, στις κινητές συσκευές, ξεπέρασε αυτή της φωνής (LTE-a 4G solution, 2011) και θα αυξηθεί κατά 33 φορές μέχρι το 2020 (Solbé, 2012). Ειδικά τώρα που εφαρμόστηκε το IP version 6<sup>1</sup>, οτιδήποτε τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια θα μπορεί να δικτυωθεί<sup>2</sup>.

Αυτή τη στιγμή, σε αυτό που υστερούν οι κινητές συσκευές είναι η ευρυζωνική-broadband σύνδεση, όπως οι συνδέσεις xDSL στις οικίες. Οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών προσπαθούν να συγκλίνουν με τις προηγούμενες απαιτήσεις, αλλά όσο γίνεται με λιγότερες επενδύσεις (minimum CAPEX) και σπατάλη φάσματος (El-Arabied, 2012).

Για να διευθετηθούν τα προηγούμενα, η παγκόσμια κοινότητα που ασχολείται με τα ασύρματα δίκτυα, όπως η *International Telecommunication Union-ITU*, η *IEEE* ή η *3rd Generation Partnership Project-*



Εικόνα 1.1 Εξέλιξη κινητής τηλεφωνίας

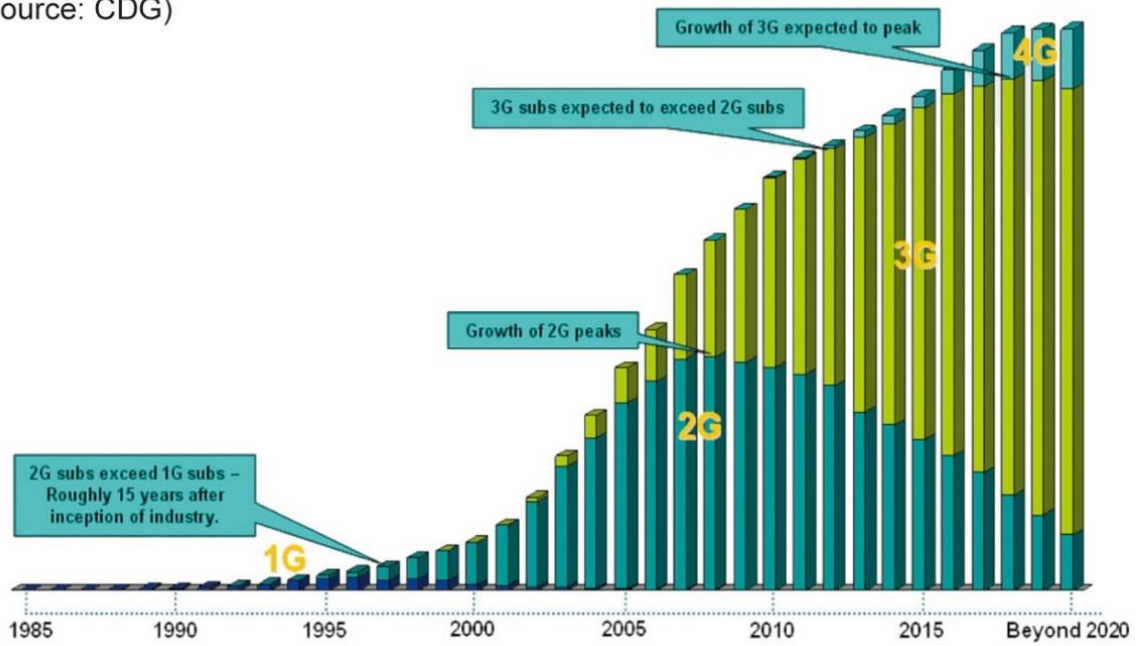
3GPP/3GPP2 προσπαθεί συνεχώς να αναπτύξει τα υπάρχοντα πρότυπα παρέχοντας συμβατότητα, βελτιώσεις απόδοσης φάσματος, υπηρεσιών και εμπειρίας χρήσης. Οι πλέον σύγχρονες ασύρματες τεχνολογίες είναι το *Long Term Evolution* της 3GPP ενώ άμεσος ανταγωνιστής είναι το *WiMax* της IEEE.

Το όνομά Long-Term-Evolution δηλώνει πως οι οργανισμοί και οι εταιρείες θα συνεχίζουν να αναπτύσσουν οργανωμένα και συνεργατικά τη νέα τεχνολογία αφήνοντας οριστικά στο παρελθόν άλλες τεχνολογίες αφού δεν συμφέρει πλέον η συντήρηση-αναβάθμιση παλαιών τεχνολογιών, κάθε λίγα χρόνια (Chandler, 2012). Υπολογίζεται πως η εξέλιξή του, LTE-Advanced, θα υλοποιηθεί το 2013 παγκόσμια. (Research, Rysavy LLC, 2012, σ. 5)

<sup>1</sup> 2<sup>128</sup> διευθύνσεις

<sup>2</sup> Περισσότερες πληροφορίες για το μέλλον της δικτύωσης συσκευών: "Internet of Things": [http://en.wikipedia.org/wiki/Internet\\_of\\_Things](http://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_Things)

(Source: CDG)



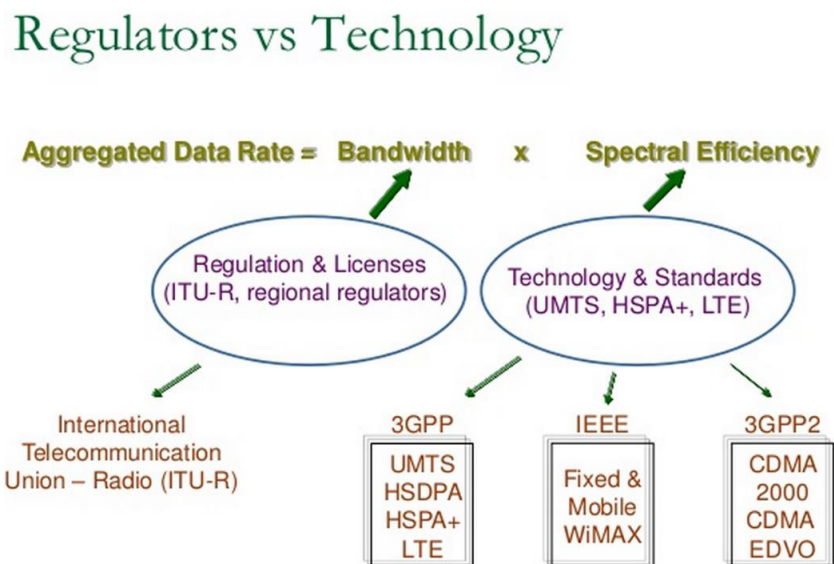
Εικόνα 1.2 Εκτίμηση αύξησης συνδρομητών 3G/4G Πηγή: zte.com.cn

Σκοπός της εργασίας είναι να παρουσιαστούν συνοπτικά οι τεχνολογίες σήμερα, με έμφαση στην LTE Advanced. Θα τονιστούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του, οι διαφορές με τις προηγούμενες τεχνολογίες και ποια προβλήματα επιλύουν.

## 2 ΠΟΡΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΟ LTE-ADVANCED

### 2.1.1 ΦΑΣΜΑ

Το φάσμα <sup>3</sup> είναι ο σημαντικότερος, περιορισμένος φυσικός πόρος για τις ασύρματες τηλεπικοινωνίες. Η απόδοση-ταχύτητα κάθε τεχνολογίας είναι αποτέλεσμα συνδυασμού των κινήσεων των ρυθμιστικών αρχών όπως είναι η ITU ή οι κυβερνήσεις χωρών, που δημοπρατούν το φάσμα κάθε χώρας, και από την άλλη, των κοινοπραξιών εταιριών-επιστημόνων που δημιουργούν και προτυποποιούν τεχνολογίες (Εικόνα 2.1) (Aulama, 2011, σ. 5). Γι' αυτό και αναπτύσσονται συνεχώς τεχνικές που προσπαθούν να βελτιώνουν την φασματική απόδοση<sup>4</sup>.

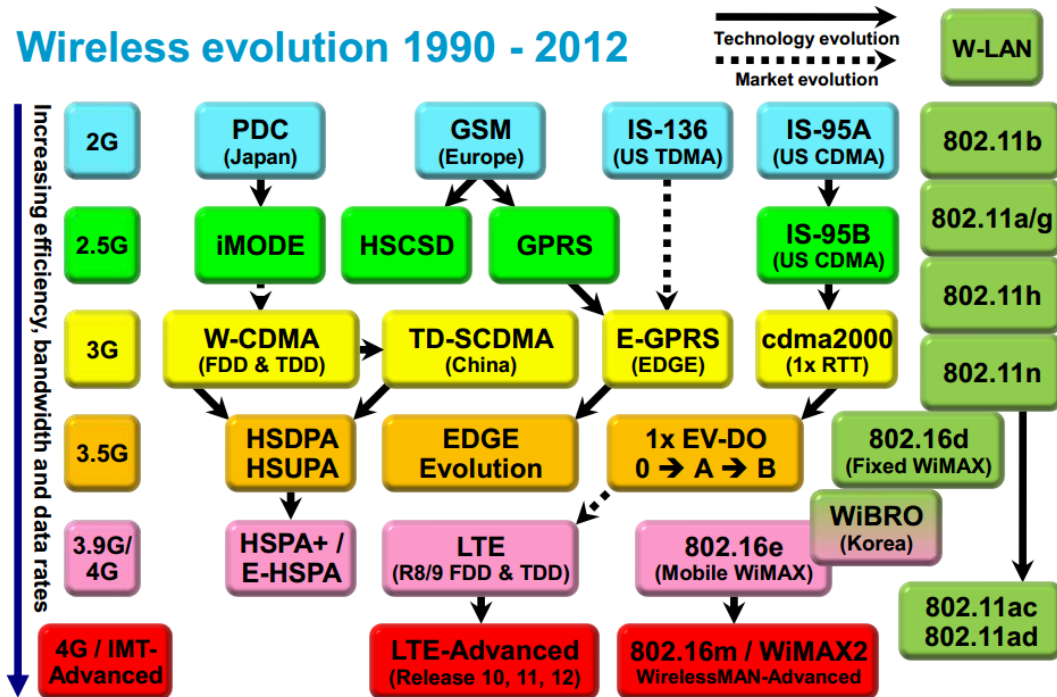


Εικόνα 2.1 Παράγοντες τελικής απόδοσης τεχνολογιών. Πηγή: (Aulama, 2011, σ. 5)

<sup>3</sup> Spectrum is the new black”, (LTE North America Conference, 2012). Η Vodafone Hellas επένδυσε 168.5 εκ. για παραχώρηση άδειας φάσματος, <http://www.umts-forum.org/content/view/4473/172>

<sup>4</sup> Περισσότερα δεδομένα στο ίδιο εύρος. Περισσότερα: [http://en.wikipedia.org/wiki/Spectral\\_efficiency](http://en.wikipedia.org/wiki/Spectral_efficiency)

## 2.2 ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

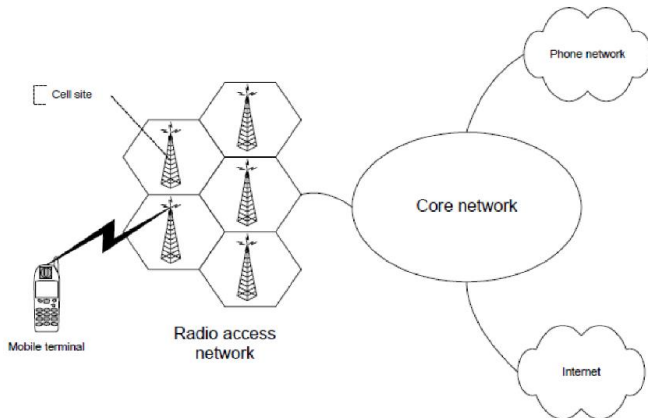


Εικόνα 2.2 Εξέλιξη ασύρματων δικτύων. Πηγή: [www.home.agilent.com](http://www.home.agilent.com)

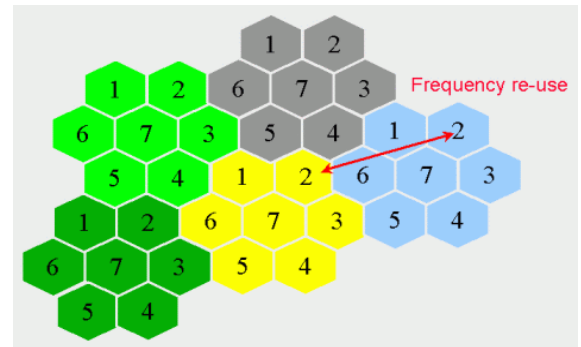
### 2.2.1 1<sup>η</sup> ΚΑΙ 2<sup>η</sup> ΓΕΝΙΑ ΚΑΙ ΘΕΩΡΙΑ ΚΥΨΕΛΩΝ

Η αρχή έγινε με τη κινητή τηλεφωνία 1<sup>ης</sup> γενιάς (αρχές '80) με μεταφορά αναλογικής φωνής, και την αρχική εισαγωγή της θεωρίας κυψελών. Στις αρχές '90, η ψηφιακή 2G γενιά επέτρεψε βασικές υπηρεσίες δεδομένων όπως τα SMS και e-mails. Ένα από τα δίκτυα που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα είναι το GSM (Global System for Mobile) και κάποιες βελτιώσεις του όπως GPRS (General Packet Radio Services). Το GSM (bitrate: 14.4 kbps) χρησιμοποιούσε τεχνολογία μεταγωγής κυκλώματος ενώ το GPRS (μέχρι 60kbps) χρησιμοποιούσε μεταγωγή πακέτου και υποστήριζε IPv4.

i. Θεωρία κυψελών



Εικόνα 2.3 Σύστημα κινητής τηλεφωνίας. Πηγή: [www.grin.com](http://www.grin.com)

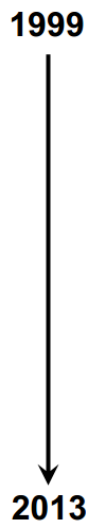


Εικόνα 2.3 Παράδειγμα επαναχρησιμοποίησης συχνότητων στις κυψέλες. Πηγή: [www.telecomabc.com](http://www.telecomabc.com)

Στο σύστημα κυψελών (διαιρεμένες γεωγραφικές περιοχές) υπάρχουν σταθμοί βάσης-κόμβοι (**ΣΒ-nodes**) που χειρίζονται την αποστολή-λήψη δεδομένων και φωνής στη κινητή συσκευή (**User Equipment-UE**). Σε κάθε κυψέλη χρησιμοποιούνται συχνότητες μετάδοσης που όμως δεν ξαναχρησιμοποιούνται σε γειτονικές κυψέλες, για μείωση παρεμβολών. (Tanenbaum, 2005, pp. 192-194).

2.2.2 3<sup>η</sup> ΓΕΝΙΑ-3G

Release	Stage 3: Core specs complete	Main feature of Release
Rel-99	March 2000	UMTS 3.84 Mcps (W-CDMA FDD & TDD)
Rel-4	March 2001	1.28 Mcps TDD (aka TD-SCDMA)
Rel-5	June 2002	HSDPA
Rel-6	March 2005	HSUPA (E-DCH)
Rel-7	Dec 2007	HSPA+ (64QAM DL, MIMO, 16QAM UL). LTE & SAE Feasibility Study, Edge Evolution
Rel-8	Dec 2008	LTE Work item – OFDMA air interface SAE Work item – New IP core network UMTS Femtocells, Dual Carrier HSDPA
Rel-9	Dec 2009	Multi-standard Radio (MSR), Dual Carrier HSUPA, Dual Band HSDPA, SON, LTE Femtocells (HeNB) LTE-Advanced feasibility study, MBSFN
Rel-10	March 2011	LTE-Advanced (4G) work item, CoMP Study Four carrier HSDPA
Rel-11	Sept 2012	CoMP, eDL MIMO, eCA, MIMO OTA, HSUPA TxD & 64QAM MIMO, HSDPA 8C & 4x4 MIMO, MB MSR
Rel-12	March 2013 stage 1	New carrier type, LTE-Direct, Active Antenna Systems



Εικόνα 2.4 Εξέλιξη των προδιαγραφών του τεχνολογιών 3GPP. Πηγή: [www.agilent.com](http://www.agilent.com)

Τα 3G δίκτυα άρχισαν το 2001 με το Universal Mobile Telecommunications System-UMTS από την 3GPP.

**i. High Speed Packet Access-HSPA**

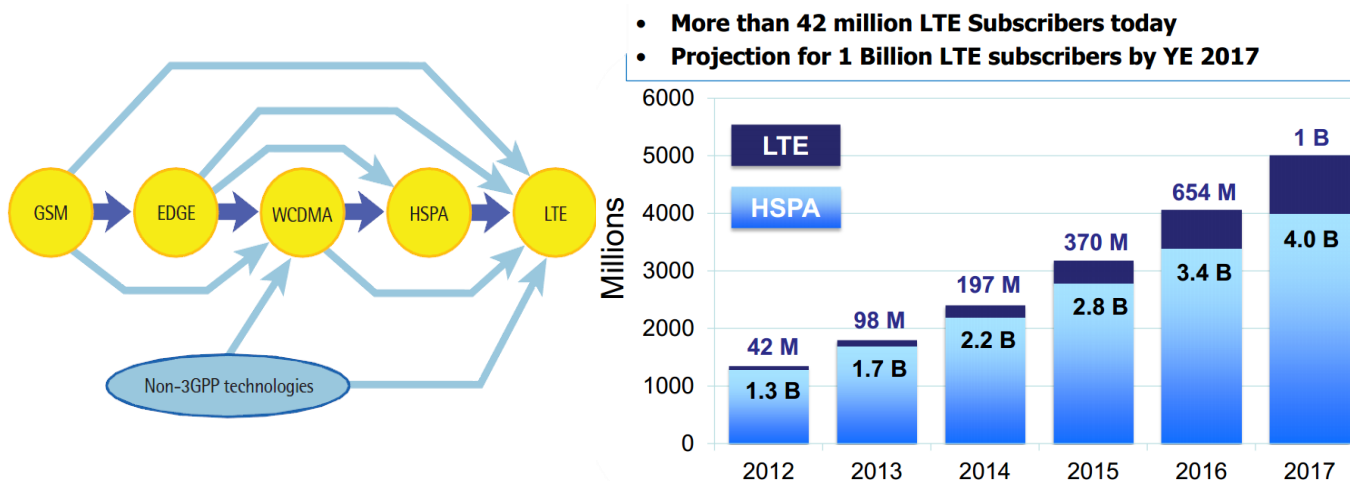
Το HSPA (High Speed Packet Access) αποτελεί την οικογένεια των HSDPA<sup>5</sup> (Release 5) και HSUPA<sup>6</sup> (Release 6). Είναι ικανό για μετάδοση IP πακέτων αντί για Ασύγχρονη Μετάδοση (ATM) στο δίκτυο κορμού (Research, Rysavy LLC, 2012, σ. 25).

Η εξέλιξη του είναι το HSPA+ (Release 7), όπου ξεκινάει και η χρήση MIMO (πολλαπλές κεραιές σε πομπό-δέκτη για αύξηση ταχύτητας) και νέων τεχνικών διαμόρφωσης (64QAM<sup>7</sup>) και εξελίσσεται συνεχώς (Research, Rysavy LLC, 2012, σ. 75).

**ii. Long Term Evolution-LTE (3.9G)**

Παράλληλα με το HSPA+ άρχισε να αναπτύσσεται το νέο LTE (Release 8) με σκοπό την εύκολη μετάβαση όλων, στο τελευταίο. Το HSPA+ θα παραμείνει στην αγορά κυρίαρχο, παράλληλα με το LTE, για τα επόμενα 5-10 χρόνια, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.6-διάγραμμα 2.

Βελτιωμένες τεχνικές του LTE χρησιμοποιούνται στο HSPA+ για συμβατότητα προς τα πίσω, προς όφελος των επενδύσεων των παρόχων, και την μετάβαση σε ένα παγκόσμιο δίκτυο, βασισμένο στο IP πρωτόκολλο (4G Americas, 2012a, σ. 8).



Εικόνα 2.5 Ομαλή μετάβαση στα τελευταία πρότυπα & Αριθμός συνδρομητών στις δύο τεχνολογίες. (Πηγή: Towards Global Mobile Broadband, A White Paper from the UMTS Forum & Informa Telecoms & Media Subscriber Forecast, 2Q 2012)

<sup>5</sup> Αναλυτικότερα για το HSDPA: [http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed\\_Downlink\\_Packet\\_Access](http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed_Downlink_Packet_Access)

<sup>6</sup> Αναλυτικότερα για το HSUPA: [http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed\\_Uplink\\_Packet\\_Access](http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed_Uplink_Packet_Access)

<sup>7</sup> Αναλυτικότερα για QAM [http://en.wikipedia.org/wiki/Quadrature\\_amplitude\\_modulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Quadrature_amplitude_modulation)

### 2.2.3 ΠΟΡΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΟ 4G ΚΑΙ LTE-ADVANCED

#### i. Απαιτήσεις του ITU για την 4<sup>η</sup> Γενιά

Το 2008 ο οργανισμός ITU εξέδωσε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της 4<sup>ης</sup> τεχνολογικής γενιάς που πρέπει οι τεχνολογίες να πλοιορούν (IMT Advanced, 2008). Μερικά από αυτά είναι:

- Μέγιστη ταχύτητα 100 Mb/s σε στιγμές μεγάλης κινητικότητας (αυτοκίνητα/τρένα) και 1 Gb/s για συσκευές σταθερές
- Διαλειτουργικότητα-συμβατότητα με προηγούμενες τεχνολογίες
- Η υποστήριξη πρωτοκόλλου IPv6 και μεταγωγή πακέτου (σε αντίθεση με το 3G που βασίζεται σε δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος και μεταγωγής πακέτων)
- Χρησιμοποίηση πολλαπλών κεραιών, για ΣΒ όσο και κινητές συσκευές

Το LTE, το HSPA+ και το WiMax, τα γρηγορότερα από τα 3G συστήματα, ονομάστηκαν από τα τμήματα marketing των εταιρειών, εσκεμμένα, ως 4G, ενώ δεν πλοιορούν τις προηγούμενες απαιτήσεις, γι' αυτό αναφέρονται και ως 3G+ ή 3.9G.

<b>TABLE I</b>				
<b>IMT-ADVANCED REQUIREMENTS</b>				
		<i>IMT-Advanced</i>	<i>LTE 3GPP Rel. 8</i>	<i>LTE-Advanced 3GPP Rel. 10</i>
Transmission Bandwidth (MHz)		≤40/≤100 MHz	≤20	≤100
Peak Data Rate (DL/UL) (Mbps)		1000 (low mobility) 100 (high mobility)	300/75	1000/500
Peak Spectral Efficiency (bps/Hz)	DL (4×4/8×8)	15/-	15/-	16/30
	UL (2×2/4×4)	6.75	3.75	8.4/16.8 (FDD) 8.1/16.1 (TDD)
Latency (ms)	User Plane	<10	<6	<6
	Control Plane	<100	50	50

Πίνακας 2.1 Συνοπτικός πίνακας απαιτήσεων-στόχων. Πηγή: [www.microwavejournal.com](http://www.microwavejournal.com)

#### ii. Χρήσιμα στοιχεία για το LTE-Advanced

Η ITU το 2012, έχει εντάξει το LTE Advanced, το HSPA+ (Releases 10) και το WiMax 2 στη κατηγορία IMT-Advanced (ITU-R Press Release: IMT-Advanced standards announced, 2012). Στον πίνακα Πίνακας 2.2 παρουσιάζονται οι 3 τεχνολογίες και οι διαφορές τους, ενώ στον πίνακα Πίνακας 2.3,



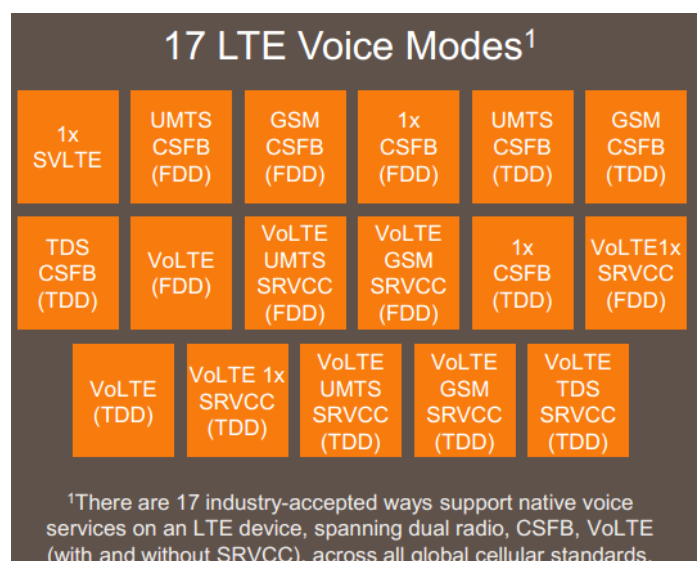
η πορεία προς το 4G. Επίσης στον πίνακα Πίνακας 3.1, σελ. 15, παρουσιάζονται οι τεχνικές διαφορές LTE και WiMax.

	LTE	HSPA+	WIMAX
<b>Advantages</b>	Most coverage and support from major carriers	Existing deployment	Potential for high-bandwidth or wide coverage
<b>Limitations</b>	Limited spectrum	Limited new deployment	Limited availability
<b>Power consumption</b>	Low (per base station)	Low (per base station)	High
<b>Relative range</b>	Small	Small	Wide coverage
<b>Cost</b>	Low	Low	High
<b>Future</b>	Promising	Likely to be phased out	Not clear

Πίνακας 2.2 Σύγκριση των 3 τεχνολογιών 3G. (Varshney, 2012, σ. 38)

Το LTE απειλεί ευθέως και τις επίγειες συνδέσεις. Οι απαιτήσεις IMT-advanced κάνουν λόγο για μελλοντικές ταχύτητες 100Mbps όσο και η «Fiber to the Home»<sup>8</sup>. Οι κινήσεις μίας Ιαπωνικής εταιρείας να μειώσει τις τιμές για FTTH κατά 34% για να αποκόψει τη διαρροή στο LTE, δείχνει τον σχετικό κίνδυνο (Brown, 2012).

Οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας προσφέρουν σήμερα <sup>9</sup> πακέτα LTE έκδοσης 8, τα οποία επιτρέπουν προς το παρόν, μεταφορά δεδομένων αφού το LTE δεν επιτρέπει ακόμη μετάδοση φωνής εγγενώς. Υπάρχουν κάποιες μέθοδοι μεταφοράς κλήσεων συνδρομητών LTE σε 3G ή 2G δίκτυα μέχρι την πλήρη εφαρμογή της τεχνικής *Voice-over-LTE* (VoLTE). Ενδεικτικό της πολύπλοκης κατάστασης είναι οι 17 τεχνικές που αναπτύχθηκαν (Εικόνα 2.7). Όταν θα επιλυθεί το θέμα, θα αρχίσει η παραγκώνιση των HSPA+ δικτύων και θα αρχίσει η επαναδιάθεση του φάσματος στο LTE-Advanced. (4G Americas, 2012a, σσ. 46, 145; Ghadialy, 2012, σ. 21)



<sup>1</sup>There are 17 industry-accepted ways support native voice services on an LTE device, spanning dual radio, CSFB, VoLTE (with and without SRVCC), across all global cellular standards.

Εικόνα 2.6 Οι προσπάθειες για προτυποποίηση μεθόδου παροχής φωνής μέσω LTE. Πηγή: 3g4g.blogspot.gr

<sup>8</sup> Πληροφορίες για το FTTH: [www.webopedia.com/TERM/F/FTTH.html](http://www.webopedia.com/TERM/F/FTTH.html)

<sup>9</sup> Ελλάδα: η Cosmote ξεκίνησε την παροχή LTE (release 8) για δεδομένα τον Οκτώβριο 2012.



Generation	Requirements	Comments
<b>1G</b>	No official requirements. Analog technology.	Deployed in the 1980s.
<b>2G</b>	No official requirements. Digital Technology.	First digital systems. Deployed in the 1990s. New services such as SMS and low-rate data. Primary technologies include IS-95 CDMA and GSM.
<b>3G</b>	ITU's IMT-2000 required 144 kbps mobile, 384 kbps pedestrian, 2 Mbps indoors	Primary technologies include CDMA2000 1X/EV-DO and UMTS-HSPA. WiMAX now an official 3G technology.
<b>4G (Initial Technical Designation)</b>	ITU's IMT-Advanced requirements include ability to operate in up to 40 MHz radio channels and with very high spectral efficiency.	No commercially deployed technology meets requirements today. IEEE 802.16m and LTE-Advanced being designed to meet requirements.
<b>4G (Current Marketing Designation)</b>	Systems that significantly exceed the performance of initial 3G networks. <u>No quantitative requirements.</u>	Today's HSPA+, LTE, and WiMAX networks meet this requirement.

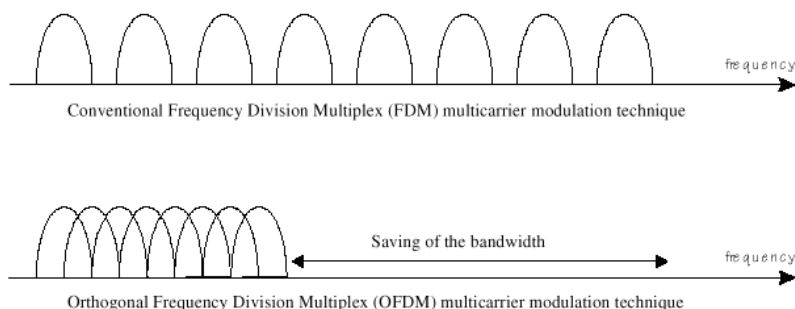
Πίνακας 2.3 Συνοπτικός πίνακας πορείας από τη 1G στη 4G και οι απαιτήσεις τους. (Research, Rysavy LLC, 2012)

### 3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΟΥ LTE ADVANCED

Στόχοι όλων των στοιχείων του LTE-Advanced είναι να αυξήσουν την ταχύτητα μετάδοσης, τη φασματική απόδοση, το QoS (Quality of Service) μειώνοντας τις παρεμβολές, την χωρητικότητα εξυπηρέτησης χρηστών κυψέλης (*Capacity*) ή την ακτίνα δράσης της (*Coverage*). Ως LTE-Advanced θεωρούνται οι εκδόσεις 10 (η οποία έχει οριστικοποιηθεί) και οι επόμενες εκδόσεις 11 και 12.

#### 3.1 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ OFDM

Το LTE βασίζεται στην “Ορθογώνια πολύπλεξη με διαίρεση συχνότητας” (*Orthogonal frequency-division multiplexing-OFDM*<sup>10</sup>) όπου το φάσμα διαιρείται σε πολλές στενές ζώνες/κανάλια, οι οποίες αλληλοεπικαλύπτονται, χωρίς παρεμβολές και πετυχαίνει καλή αποδοτικότητα και χωρητικότητα φάσματος (Hanzo, Akhtman, Wang, & Jiang, 2011, σ. 37).



Εικόνα 3.1 Η πολυπλεξία OFDM σε σύγκριση με τον απλό FDM. Πηγή: [www.wirelesscommunication.nl](http://www.wirelesscommunication.nl)

Επίσης επιτρέπει την μείωση της πολυπλοκότητας κατασκευής συσκευών (κυρίως των MIMO κεραιών τους) και της κατανάλωσης ενέργειας του δέκτη και του πομπού (Parkvall, Furuskar, & Dahlman, 2011, σ. 84). Επιτυγχάνεται καλύτερη ανοχή σε παρεμβολές και στην εξασθένηση πολλαπλών διαδρομών<sup>11</sup>, σε σχέση με το CDMA<sup>12</sup> (Tanenbaum, 2005, σ. 349) των προηγούμενων τεχνολογιών (Πίνακας 3.2). Όπως

<sup>10</sup> Χρησιμοποιείται και από το ADSL και το 802.11 (Wi-Fi)

<sup>11</sup> Εξασθένηση πολλαπλών διαδρομών-Multipath Fading: φαινόμενο που το ραδιοκύμα ανακλάται-διαθλάται σε αντικείμενα και λαμβάνεται στον δέκτη πολλές φορές με διαφορά φάσης (Tanenbaum, 2005, σ. 99)

<sup>12</sup> Code-division multiple access

και δεν εμφανίζεται το φαινόμενο *Cell Breathing*<sup>13</sup> όσο και αν αυξάνονται οι εξυπηρετούμενοι χρήστες στη κυψέλη (OFDMA, 2013).

Στο *downlink* (DL) χρησιμοποιεί την *orthogonal frequency division multiple access* (OFDMA) για ταυτόχρονη επικοινωνία με πολλούς χρήστες. Στο *uplink* (UL) χρησιμοποιεί την παραλλαγή<sup>14</sup> *single carrier frequency division multiple access* (SC-FDMA) και επιτυγχάνει περαιτέρω μείωση κατανάλωσης ενέργειας, σε σχέση με το OFDMA.

### 3.1.1 ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ

- Αναλογιζόμενοι τα προηγούμενα η OFDM είναι καλύτερη τεχνολογία από την CDMA του HSPA.
- Το WiMax χρησιμοποιεί και στο DL και στο UL, OFDMA. (πίνακας 3.1)

	LTE (3GPP R8)	LTE-Advanced (3GPP R10)	WiMAX 802.16e (R1.0)	WiMAX 802.16m (R2.0)
<b>Physical layer</b>	DL: OFDMA <sup>†</sup> UL: SC-FDMA <sup>‡</sup>	DL: OFDMA UL: SC-FDMA	DL: OFDMA UL: OFDMA	DL: OFDMA UL: OFDMA
<b>Duplex mode</b>	FDD and TDD <sup>§</sup>	FDD and TDD	TDD	FDD and TDD
<b>User mobility</b>	217 mph (350 km/h)	217 mph (350 km/h)	37 to 74 mph (60 to 120 km/h)	217 mph (350 km/h)
<b>Channel bandwidth</b>	1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz	Aggregate components of Release 8	3.5, 5, 7, 8.75, 10 MHz	5, 10, 20, 40 MHz
<b>Peak data rates</b>	DL: 302 Mbps (4 × 4 antennae) UL: 75 Mbps (2 × 4) at 20 MHz FDD	DL: 1 Gbps UL: 300 Mbps	DL: 46 Mbps (2 × 2) UL: 4 Mbps (1 × 2) at 10 MHz TDD 3:1 (downlink/uplink ratio)	DL > 350 Mbps (4 × 4) UL > 200 Mbps (2 × 4) at 20 MHz FDD
<b>Spectral efficiency</b>	DL: 1.91 bps/Hz (2 × 2) UL: 0.72 bps/Hz (1 × 2)	DL: 30 bps/Hz UL: 15 bps/Hz	DL: 1.91 bps/Hz (2 × 2) UL: 0.84 bps/Hz (1 × 2)	DL > 2.6 bps/Hz (4 × 2) UL > 1.3 bps/Hz (2 × 4)
<b>Latency</b>	Link layer < 5 ms Handoff < 50 ms	Link layer < 5 ms Handoff < 50 ms	Link layer ~ 20 ms Handoff ~ 35 to 50 ms	Link layer < 10 ms Handoff < 30 ms
<b>VoIP capacity</b>	80 users per sector/ MHz (FDD)	>80 users per sector/ MHz (FDD)	20 users per sector/ MHz (TDD)	>30 users per sector/ MHz (TDD)

<sup>†</sup>Downlink/uplink, <sup>‡</sup>Orthogonal frequency-division multiple access, <sup>§</sup>Single-carrier frequency-division multiple access, <sup>§</sup>Frequency-division duplexing and time-division duplexing

Πίνακας 3.1 Διαφορές των τεχνολογιών LTE και WiMax. (Abichar, Chang & Hsu, 2010, σ. 28)

<sup>13</sup> Cell breathing: όταν σε ένα σταθμό UMTS λειτουργούν πολλά κινητά τηλέφωνα ή απαιτούνται υψηλοί ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων, μειώνεται η ισχύς εκπομπής από την κεραία αυτή, ώστε να μικρύνει η περιοχή κάλυψης του σταθμού και να αποφευχθούν παρεμβολές στους γειτονικούς σταθμούς (Bejerano & Han, 2009, σ. 736).

<sup>14</sup> Χρησιμοποιεί διακριτό μετασχηματισμό Fourier

Technology Name	Type	Characteristics	Typical Downlink Speed	Typical Uplink Speed
			expected (Dual Carrier)	
UMTS	CDMA	3G technology providing voice and data capabilities. Current deployments implement HSPA for data service.	200 to 300 kbps	200 to 300 kbps
HSPA <sup>28</sup>	CDMA	Data service for UMTS networks. An enhancement to original UMTS data service.	1 Mbps to 4 Mbps	500 kbps to 2 Mbps
<u>HSPA+</u>	<u>CDMA</u>	Evolution of HSPA in various stages to increase throughput and capacity and to lower latency.	1.9 Mbps to 8.8 Mbps in <u>5/5 MHz</u> 3.8 Mbps to 17.6 Mbps with <u>dual carrier</u> in <u>10/5 MHz</u> .	1 Mbps to 4 Mbps in 5/5 MHz or in 10/5 MHz
<u>LTE</u>	<u>OFDMA</u>	New radio interface that can use wide radio channels and deliver extremely high throughput rates. All communications handled in IP domain.	6.5 to 26.3 Mbps in <u>10/10 MHz</u>	6.0 to 13.0 Mbps in 10/10 MHz
<u>LTE-Advanced</u>	<u>OFDMA</u>	Advanced version of LTE designed to meet IMT-Advanced requirements.		

Πίνακας 3.2 Συνοπτικός πίνακας 3GPP τεχνολογιών με τα χαρακτηριστικά διαμόρφωσης που υποστηρίζουν και τις ταχύτητες (bps) στα αντίστοιχα μεγέθη καναλιών (MHz) Πηγή: (Research, Rysavy LLC, 2012, σ. 22)

## 3.2 CARRIER AGGREGATION

Η ανάγκη για επίτευξη του στόχου του 1 Gbps των απαιτήσεων IMT-Advanced και τα προβλήματα αδειοδότησης φάσματος, οδήγησε στη τεχνολογία του συνδυασμού των φερόντων σημάτων<sup>15</sup> (ή αλλιώς καναλιών), στο φυσικό επίπεδο (*Carrier/Channel Aggregation-CA*). Βελτιώνει το μέγιστο datarate και μειώνει την καθυστέρηση σε στιγμές μεγάλου φόρτου. Η ολοκλήρωση του μετατέθηκε για την έκδοση 12. (Wannstrom, 2012)

### 3.2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

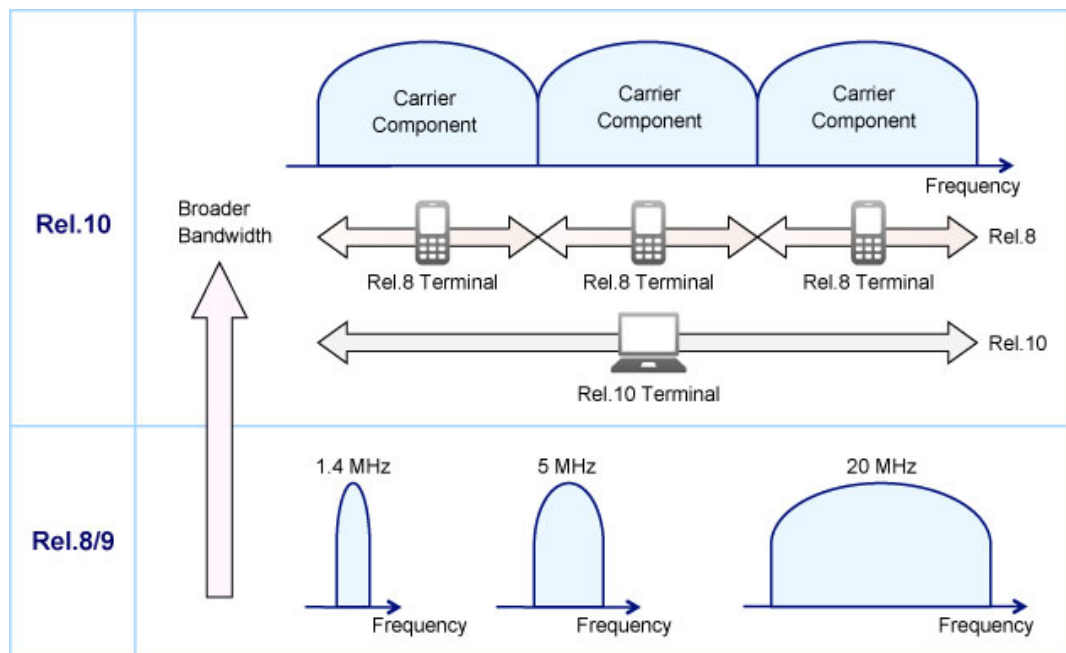
(4G Americas, 2012b, σσ. 8-15)

- Περιέχεται στο HSPA+ και στο LTE (εκδόσεων 10 και έπειτα), για μελλοντική στενή διαλειτουργικότητα τους, με οικονομικά οφέλη για τους παρόχους, εγκατάστασης και συντήρησης.
- Υποστηρίζεται συνδυασμός φερόντων σημάτων (*Component Carriers-CC*) των εκδόσεων 8/9, του HSPA και LTE (εικόνα 3.2).
- Απαιτείται συσκευή, ικανή για CA<sup>16</sup>, για μετάδοση δεδομένων τη στιγμή που βρίσκεται και σε δίκτυο HSPA και σε LTE. Η κατασκευή θεωρείται δύσκολη πρόκληση (Agilent Technologies, 2011, σ. 26).
- Προσφέρει καλύτερη εκμετάλλευση ενός κατακερματισμένου φάσματος σε περιπτώσεις περιορισμένου διαθέσιμου συνεχούς φάσματος και επιτρέπει ευκολότερη αδειοδότηση.
- Η λειτουργία του συνδυασμού φορέων γίνεται στα επίπεδα MAC (*medium access control*) και στο φυσικό (Bhat, και συν., 2012, σ. 105). Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τα δύο συστήματα duplex, FDD και TDD (Wannstrom, 2012).

---

<sup>15</sup> Φέρον σήμα-carrier wave: η κυματομορφή, που έχει διαμορφωθεί, σύμφωνα με ένα σήμα εισόδου (δεδομένα), με σκοπό τη μετάδοση πληροφοριών ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα, μέσα από συγκεκριμένο μέσο μετάδοσης. (Διαμόρφωση σήματος, 2012)

<sup>16</sup> User Equipment κατηγορίας 8 (DL: 3000Mbps, UL:1500Mbps). Περισσότερα: βιβλίο του Cox (2012, σ. 279).

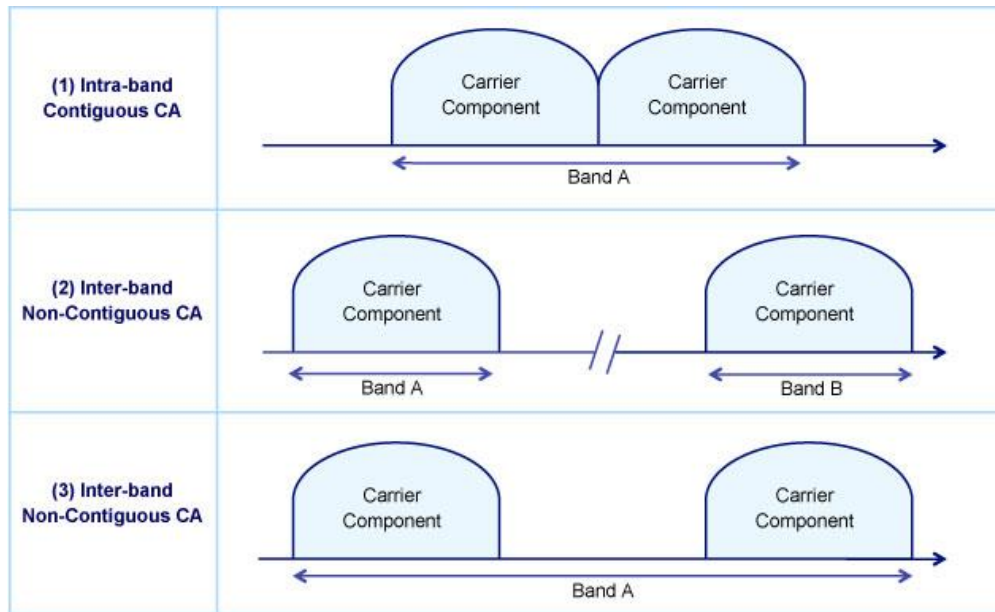


Εικόνα 3.2 Υποστήριξη διαφόρων συχνοτήτων των εκδόσεων 8/9 για τελικό συνδυασμένο φέρον σήμα έκδοσης 10. Πηγή: [www.artizanetworks.com](http://www.artizanetworks.com)

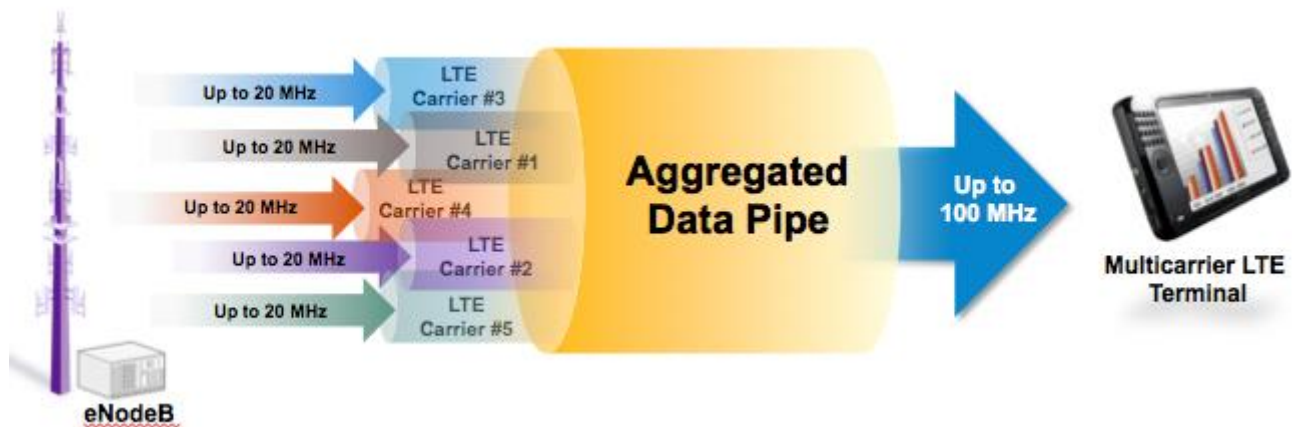
Συνοπτικά υπάρχουν 4 τρόποι λειτουργίας. Τα φέροντα σήματα μπορεί να είναι: (Research, Rysavy LLC, 2012, σ. 98)

- συνεχόμενα στην ίδια ζώνη συχνοτήτων (Release 10)
- σε διαφορετικά τμήματα στην ίδια ζώνη (intra-band spectrum aggregation) (Release 11)
- σε διαφορετική ζώνη (inter-band spectrum aggregation) (εικόνα 3.3) (Rel. 12>)
- διαφορετικής τεχνολογίας, LTE στο ένα κανάλι και HSPA+ στο άλλο (Rel. 12>)

Στο LTE-Advanced θα μπορούν να συνδυαστούν έως 5 φέροντα (κλιμάκωση μέχρι 20 MHz το καθένα) και να παρέχουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης, μέχρι και 100 MHz, που θεωρείται επιτυχία για το LTE-Advanced (εικόνα 3.4) (Parkvall, Furuskar, & Dahlman, 2011, σσ. 85-86). Προς το παρόν ένα κανάλι του LTE υλοποιείται σε μέγεθος 5 ή 10 MHz.



Εικόνα 3.3 Οι 3 τύποι Carrier Aggregation Πηγή: [www.artizanetworks.com](http://www.artizanetworks.com)



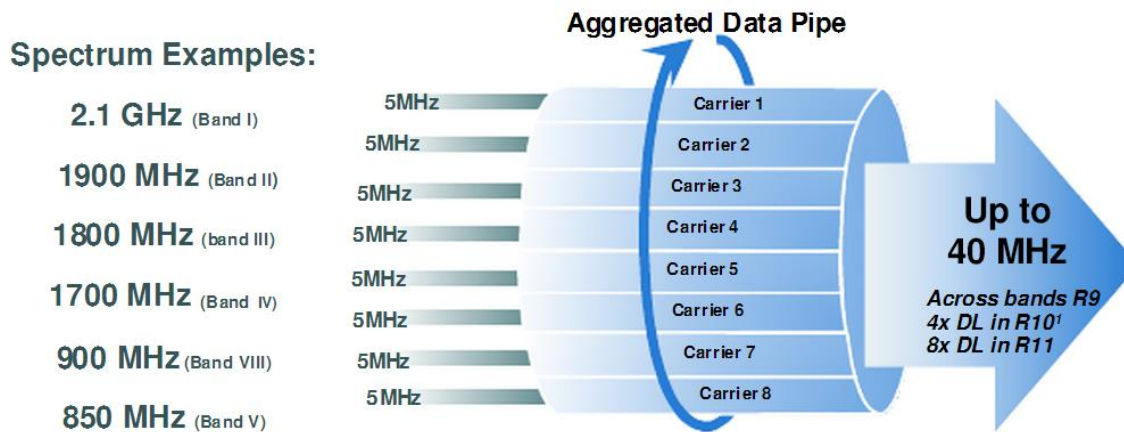
Εικόνα 3.4 CA 5 LTE καναλιών για αύξηση bandwidth μέχρι 100MHz. (eNodeB: ΣΒ, Terminal: Συσκευή).  
Πηγή: [ericsson.com](http://ericsson.com)<sup>17</sup>

### 3.2.2 ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ

- HSPA+ σχεδιάζεται να υποστηρίξει συνδυασμό 8 καναλιών, 5 MHz σταθερά το καθένα (σε αντίθεση με το LTE, που επιτρέπει ευέλικτο μέγεθος καναλιού, 1,4-20MHz), με μέγιστο εύρος ζώνης 40 MHz. (4G Americas, 2012b, σ. 13)
- Και το WiMax χρησιμοποιεί ίδια τεχνολογία, αφού στηρίζεται στο OFDMA και μπορεί να φθάσει κλιμακωτά μέχρι τα 100 MHz. (Tiwari, 2010, σ. 14)

<sup>17</sup> [http://www.ericsson.com/res/thecompany/docs/journal\\_conference\\_papers/wireless\\_access/VTC08F\\_jading.pdf](http://www.ericsson.com/res/thecompany/docs/journal_conference_papers/wireless_access/VTC08F_jading.pdf)



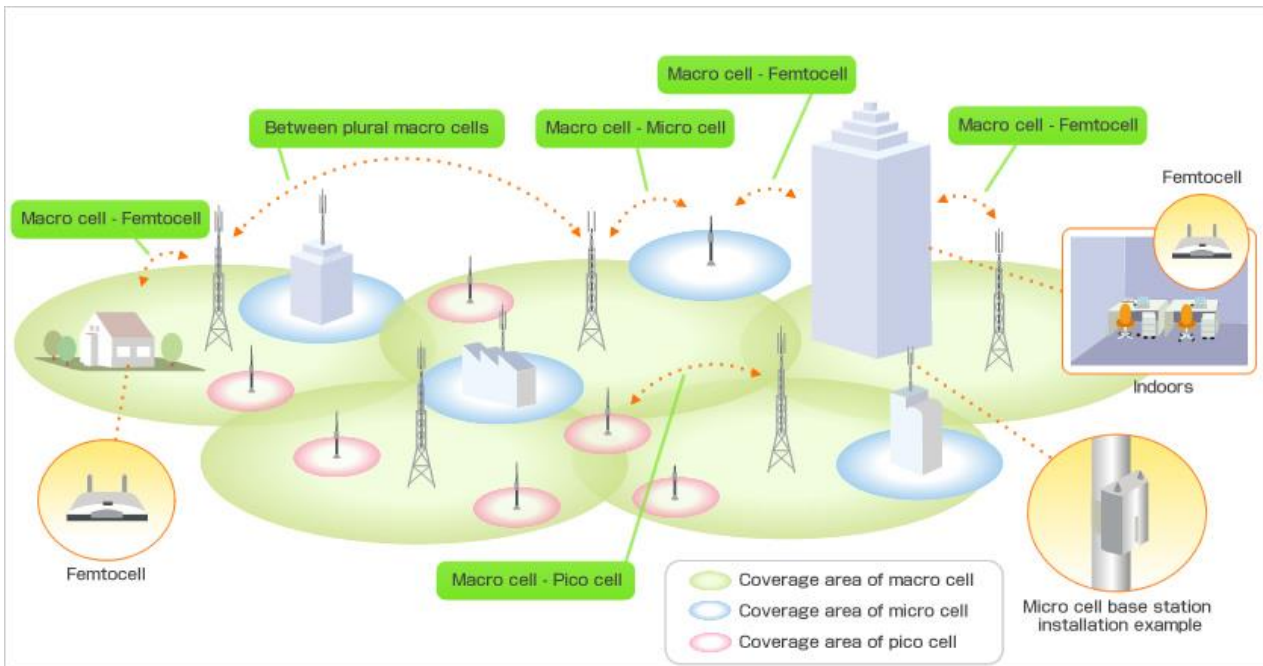


Εικόνα 3.5 Περιγραφή CA στο HSPA+ R11, συνδυασμού 8 καναλιών. (Lebrun, 2011, σ. 13)



### 3.3 HETEROGENEOUS NETWORKS

Ετερογενή δίκτυα (*HetNets*) υφίστανται όταν σε αυτά συνυπάρχουν διαφορετικές ασύρματες τεχνολογίες και διαφορετικοί τύποι κυψελών. Χρησιμοποιούνται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές και βοηθούν με τη σειρά τους στην επίτευξη των προαναφερθέντων IMT στόχων (Bennis & Saad, 2012, σ. 10).



Εικόνα 3.6 Τύποι κυψελών και οι τρόποι συνεργασίας τους. Πηγή: <http://global.kyocera.com>

Ανάλογα με το μέγεθος υπάρχει: (εικόνα 3.6)

- σίγουρα, η μακροκυψέλη (*macrocell-eNodeB*) ως κύριο δίκτυο
- οι μικρές κυψέλες (*small cells*) των Relays και
- οι μικρές χαμηλής κατανάλωσης:
  - η πικοκυψέλη (*picocell*) για εξωτερικούς χώρους
  - η φεμτοκυψέλη (*femtocell*) που εγκαθίσταται από τον χρήστη σε κατοικίες, ως *Home-eNodeB*. Συνδέεται με τον *eNodeB* μέσω *internet*.

Types of nodes	Transmit Power	Coverage	Backhaul
Macrocell	46 dBm	Few km	S1 interface
Picocell	23-30 dBm	<300 m	X2 interface
Femtocell	<23 dBm	<50 m	Internet IP
Relay	30 dBm	300 m	Wireless

Πίνακας 3.3 Προδιαγραφές των διαφορετικών κυψελών. (Lopez-Perez, και συν., 2011, σ. 2)

Με το μικρό μέγεθος, το διαθέσιμο φάσμα μοιράζεται σε λιγότερους χρήστες με θετικά αποτελέσματα ταχύτητας, αποδεσμεύοντας πόρους. Αυξάνονται τα bits/second/Hz/km<sup>2</sup>, που θεωρείται νέα μετρική φασματικής απόδοσης ανα τετραγωνικό. Τέλος επιτυγχάνεται χαμηλή κατανάλωση μπαταριών των συσκευών αφού θα βρίσκονται κοντά σε μικροκυψέλη.

(Baker, 2012, σσ. 116-117; Malladi, 2012, σ. 6; Bhat, και συν., 2012, σ. 112; Lopez-Perez, και συν., 2011, σσ. 2-5)

Καθίσταται αναγκαία η εκμετάλλευση αυτόματων τεχνικών (SON-σελ. 27), κυρίως για αποδοτική διαχείριση των παρεμβολών (eICIC-σελ. 29) και αρμονική συνεργασία των κυψελών (CoMP-σελ. 33), σε στιγμές ακινησίας και κίνησης.

### 3.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΕΡΑΙΩΝ MIMO

Από την αρχή το LTE (Rel. 8) σχεδιάστηκε έτσι ώστε ο σταθμός βάσης και η κινητή συσκευή να χρησιμοποιούν πολλαπλές κεραίες MIMO (Multiple Input Multiple Output Antennas) για: (Chen, Zhang, & Xu, 2007, σ. 6)

- ταχύτερη μετάδοση δεδομένων, αναλόγως την αρχιτεκτονική (4x4, 8x8 κτλ.),
- καλύτερη απόδοση φάσματος ειδικά σε περιβάλλοντα παρεμβολών,
- αύξηση της χωρητικότητας της κυψέλης (αριθμός χρηστών).

Εκφράζεται από τον αριθμό των κεραιών πομπού και δέκτη. Απαιτείται μία συσκευή χρήστη να έχει ενσωματωμένες πολλαπλές κεραίες. Έχει δυνατότητα χρήσης, προς το παρόν, 2x2 κεραιών, με στόχο την υλοποίηση των 8x8 κεραιών (8 layers) για download και 4x4 για upload με τα αντίστοιχα οφέλη, υπερκέρρασης των απαιτήσεων IMT-Advanced, όπως θεωρητικά φαίνεται στον Πίνακα 3.4. (Research, Rysavy LLC, 2012, σ. 22)

Capability requirement	LTE Release 8 capability	LTE-Advanced capability	IMT-Advanced (ITU-R) requirement	LTE-Advanced (3GPP) requirement
Downlink	16.3 (4 layers)	30.6 (8 layers)	15	30
Uplink	4.3 (1 κεραία)	16.8 (4 layers)	6.75	15

Πίνακας 3.4 Μέγιστη φασματική απόδοση (bits per sec per hertz) του LTE και LTE-Advanced για το DL και UL, με χρήση κεραιών 4x4 και 8x8. Πηγή: (Bhat, και συν., 2012, σσ. 106-107)

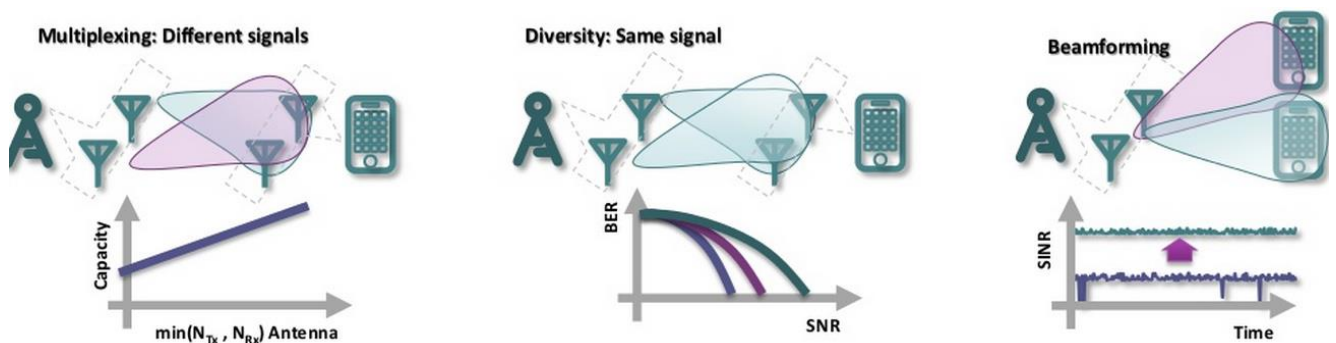
#### 3.4.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ

- **Spatial Multiplexing** (Χωρική πολυπλεξία): Υλοποιείται η μετάδοση διαφορετικών ροών δεδομένων-data streams από δύο ή περισσότερες κεραίες, και πολυπλέκεται στο χωρικό επίπεδο (Wannstrom, 2012). Επιτυγχάνεται αύξηση χωρητικότητας χωρίς επιπλέον φάσμα. Ωστόσο αναφέρεται πως μειώνεται η ακτίνα κάλυψης (Stuhlfauth, 2011a, σ. 105). Είναι ιδανική η χρήση της σε περιπτώσεις αυξημένου  $SINR$ <sup>18</sup>, όπως σε μικροκυψέλες ή σε εσωτερικούς χώρους (Akyildiz, Gutierrez-Estevez, & Reyes, 2010, σ. 228).
- **Transmit Diversity** (ποικίλες μεταδόσεις): Εκμεταλλεύομενη τα φαινόμενα «πολλαπλών διαδρομών», λόγω της ποικιλομορφίας του χώρου, αποστέλνεται παράλληλα το ίδιο σήμα

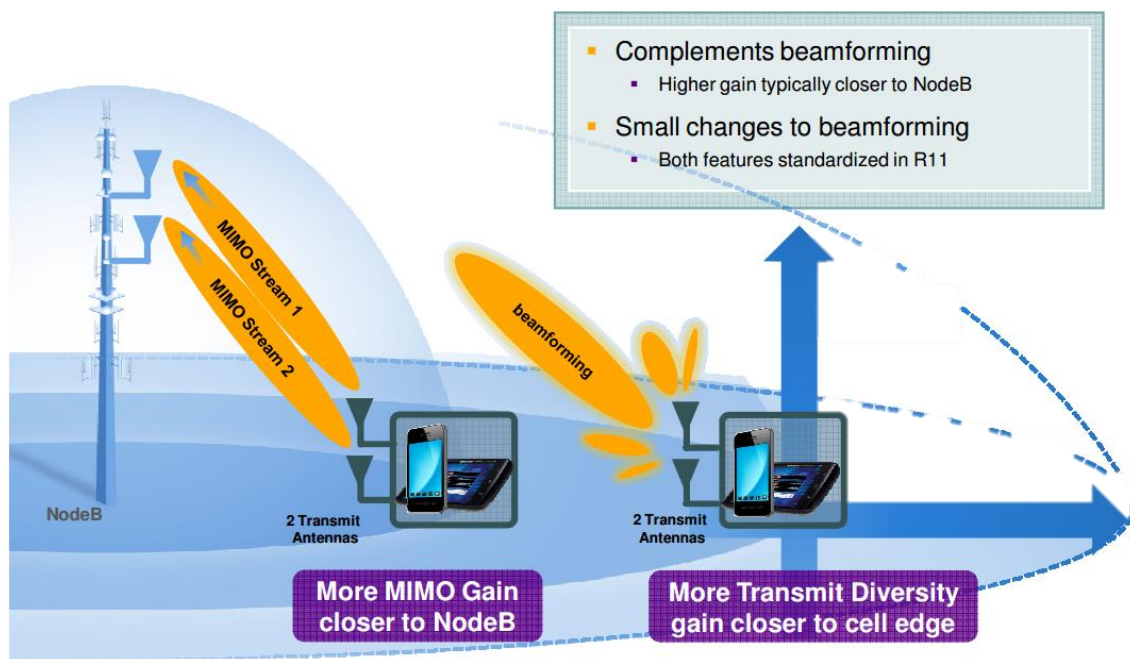
<sup>18</sup> SINR: Signal to Interference plus Noise Ratio. Ο λόγος της ισχύς του σήματος προς την παρεμβολή συν τον θόρυβο.

στη συσκευή από διαφορετικές «διαδρομές». Αυξάνει την αξιοπιστία μετάδοσης μειώνοντας την εξασθένηση του (το BER<sup>19</sup>). (Research, Rysavy LLC, 2012, σ. 74)

- **Beamforming:** ο ΣΒ συγκεντρώνει την ενέργεια εκπομπής σήματος σε μία ή περισσότερες κατευθύνσεις, εξυπηρετώντας μία ή περισσότερες συσκευές χρήστη, αντίστοιχα. Επιτρέπει την αύξηση κάλυψης της κυψέλης ή της ταχύτητας στην αντίστοιχη άκρη της κυψέλης (Cell-edge throughput), μειώνοντας τις παρεμβολές. (Cox, 2012, σ. 113)



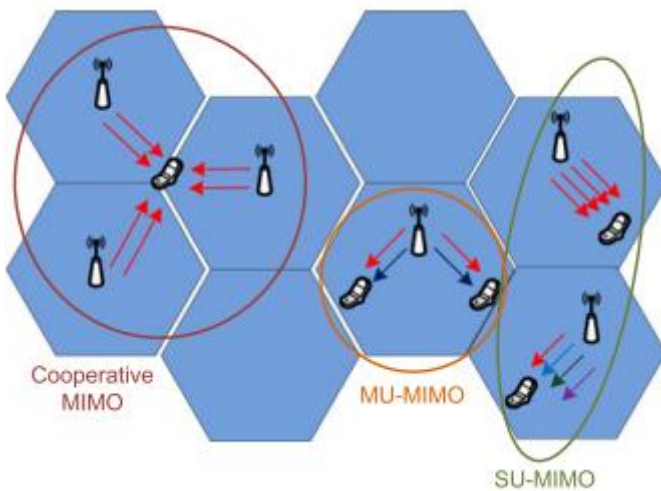
Εικόνα 3.7 Οι βασικές λειτουργίες της MIMO και τα αποτελέσματά τους. (Boaventura, OI's case study, 2012, p. 6)



Εικόνα 3.8 Αναπαράσταση MIMO 2x2, Χωρικής πολυπλεξίας, αριστερά και Beamforming, δεξιά, με το οποίο η κυψέλη αυξάνει το data rate ή την κάλυψη στην αντίστοιχη άκρη. Πηγή: (Qualcomm, 2011, σ. 11)

<sup>19</sup> bit error rate: λόγος των σφαλμάτων προς το συνολικό αριθμό των αποσταλμένων bits.

### 3.4.2 ENHANCED-MIMO



Εικόνα 3.9 Λειτουργίες enhanced MIMO του LTE-Advanced. (Akyildiz, Gutierrez-Estevez, & Reyes, 2010, σ. 227)

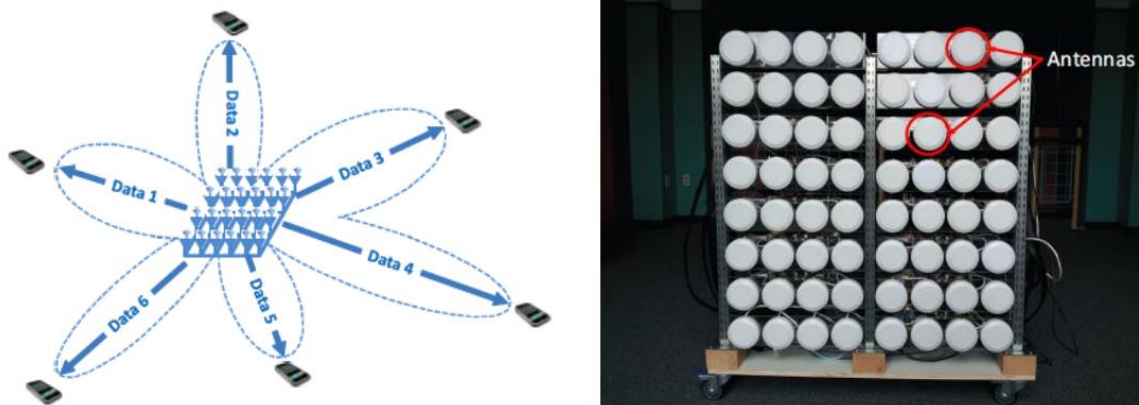
Ο συνδυασμός των παραπάνω λειτουργιών μεταξύ τους, αποτελεί βελτιωμένο χαρακτηριστικό του LTE-Advanced που εκφράζεται με τον όρο **enhanced-MIMO**. Οι τεχνικές επιλέγονται σε απόφαση της τεχνικής SON, ανάλογα τις απαιτήσεις και τις διάφορες μετρήσεις των ΣΒ. Έτσι έχουμε 3 τρόπους λειτουργίας:

- **Single-User MIMO (SU-MIMO)**. Περίπτωση που το Beamforming μπορεί να συνδυαστεί με το Transmit diversity και με το Spatial Multiplexing για μετάδοση σε μία συσκευή. Επιτυγχάνονται τα

θετικά του Beamforming και αύξηση των datarates.

- **Multi-User MIMO (MU-MIMO)**. Όταν διαφορετικές ροές δεδομένων αποστέλλονται σε πολλαπλές (διαφορά με Spatial Multiplexing) συσκευές, κάνοντας χρήση, αν χρειαστεί και Beamforming. Αυξάνεται η χωρητικότητα χρηστών. Η έκδοση 9/10 επιτρέπει μεταδόσεις σε 4 χρήστες ταυτόχρονα.
- **Cooperative MIMO**. Συντονισμένες μεταδόσεις, που θα αναλυθούν στην τεχνική CoMP.

(Akyildiz, Gutierrez-Estevez, & Reyes, 2010, σσ. 227-229; Parkvall, Furuskar, & Dahlman, Evolution of LTE towards IMT-Advanced, 2011, σ. 91; Cox, 2012, σ. 282)



Εικόνα 3.10 Πραγματική υλοποίηση MU-MIMO beamforming. Πηγή: 4gamericas<sup>20</sup>

### 3.4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ

- Η τεχνολογία **HSPA+** και οι βελτιώσεις της χρησιμοποιούν λιγότερες κεραιές MIMO. Θα χρησιμοποιούν στην Release 11, 4x4 αρχιτεκτονική.
- Η **WiMax** κάνει χρήση MIMO στις ίδιες βασικές αρχές με μικρές διαφορές αρχιτεκτονικής και στις επιδράσεις στη φασματική απόδοση ή στη πολυπλοκότητα της συσκευής. (Kalyansundaram & Ramkumar, 2011, σ. 10)
- Επιπλέον έχει αποδειχθεί πως η MIMO λειτουργεί καλύτερα με την διαμόρφωση OFMDA του LTE (και WiMax), παρά με την CDMA της HSPA+. (Ghadialy, 2012, σ. 7)

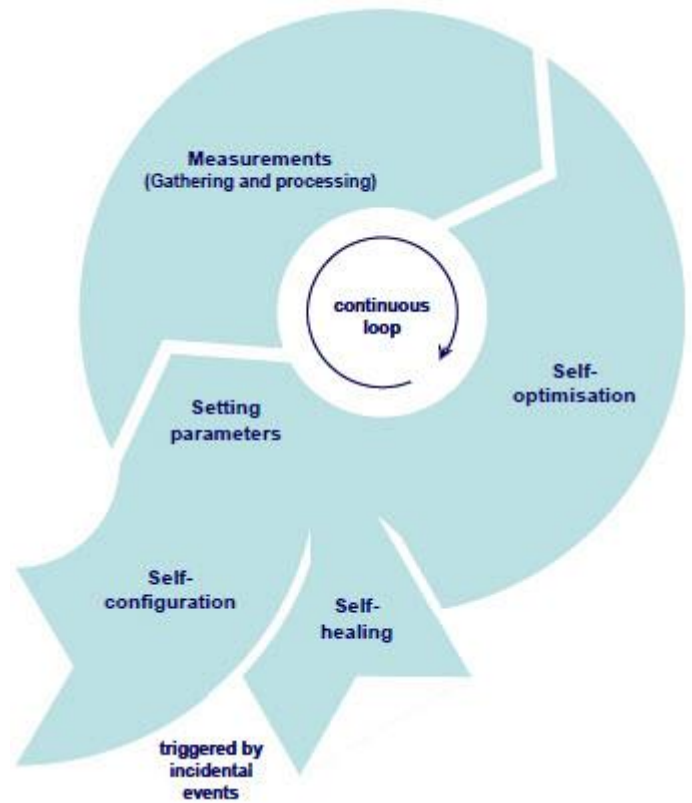
<sup>20</sup> <http://www.4gamericas.org/UserFiles/file/Presentations/Advanced%20Systems%20and%20Techniques-Jacob%20Sharony-Powerwave.pdf>



### 3.5 SON-SELF ORGANIZING NETWORKS

Η επέκταση των κλασικών δικτύων είναι χρονοβόρα και κοστίζει. Οι LTE κυψέλες από την αρχή, επεκτείνονται και λειτουργούν αποδοτικότερα, με λειτουργίες SON, μειώνοντας την ανθρώπινη παρέμβαση, το κόστος εγκατάστασης-συντήρησης, με αλγορίθμους συνεχούς επίβλεψης (monitoring) για:

- **Self-configuration.** Αυτόματη διαδικασία εγκατάστασης μίας νέας κυψέλης ή νέου λογισμικού σε αυτήν. Πχ. οι φεμτοκυψέλες εισέρχονται και **ρυθμίζονται αυτόματα** στο δίκτυο μετά την τοποθέτηση από τον χρήστη.
- **Self-optimization.** Μετά από συλλογή εξειδικευμένων πληροφοριών-μετρήσεων από το περιβάλλον (αυξημένη κίνηση, νέα κτίρια που εμποδίζουν κ.α.) και από γειτονικές κυψέλες, εκτελεί επαναλαμβανόμενες, **αυτόματες ενέργειες «αυτοβελτίωσης»**-προσαρμογής:
  - συντονισμού παρεμβολών κυψελών, ICIC (σελ. 31),
  - εντοπισμού των γειτονικών κυψελών, όλων των τεχνολογιών (Automatic Neighbor Relation),
  - εξισορρόπησης φορτίου (χωρητικότητας) μεταξύ των eNodeB (Load Balancing),
  - τελειοποίησης των handover<sup>21</sup> ενεργειών, με συλλογή στατιστικών αποτυχίας-επιτυχίας (Baker, 2012, σ. 119),
  - εξοικονόμησης ενέργειας, με αυτόματο κλείσιμο μιας μικροκυψέλης, λόγω μειωμένης κίνησης.



Εικόνα 3.11 Διαδικασίες SON. Πηγή: [http:// telecom-cloud.net](http://telecom-cloud.net)

<sup>21</sup> Διαδικασία αλλαγής σταθμών βάσης-κυψελών, μίας κινούμενης συσκευής, με μεταφορά δεδομένων από κόμβο σε κόμβο για απρόσκοπτη, σωστή επικοινωνία. (Handover, 2012)

- Μεταβολής ακτίνας κάλυψης ή χωρητικότητας
- **Self-healing.** Αυτόματη «ανάκαμψη» του συστήματος συνολικά σε προβληματικές περιπτώσεις (αστοχία υλικού ή λογισμικού, ισχυρές παρεμβολές πάνω από κάποιο όριο, φαινόμενα «ring-pong»<sup>22</sup>) με την μικρότερη επιρροή στον χρήστη. Χαρακτηριστικά:
  - αξιοποιείται το ιστορικό των μετρήσεων (measurement log),
  - μείωση ανάγκης εκτέλεσης δοκιμών λειτουργίας (Minimization of Drive Testing) αφού τα δεδομένα υπάρχουν στους ΣΒ και στις συσκευές χρηστών (Hapsari, και συν., 2012, σ. 42),
  - μείωση των περιόδων μη-διαθεσιμότητας.

(Holma, Toskala, Sartori, & Holma, 2012, pp. 48, 105, 159; 4G Americas, 2012a, σσ. 64, 94, 180; Agilent Technologies, 2011, σσ. 23-24)

Όλες οι ενέργειες SON βελτιώνονται συνεχώς σε νέες LTE εκδόσεις. Σημαντικό είναι οι ενέργειες να γίνονται συντονισμένα και να μην «συγκρούονται» μεταξύ τους (σκέψεις της έκδοσης 11). (4G Americas, 2012a, σσ. 97-124)

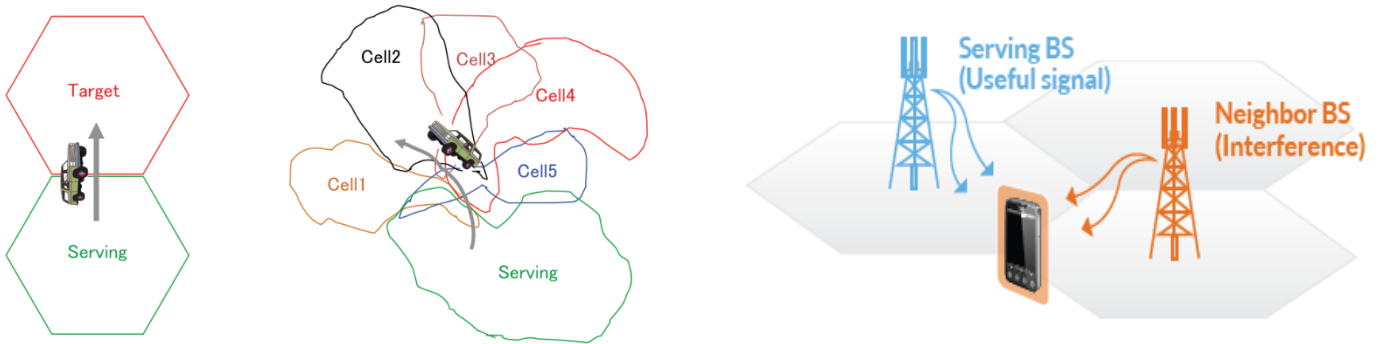
---

<sup>22</sup> Μία συσκευή συνεχώς συνδέεται-αποσυνδέεται από γειτονικές κυψέλες ,σε σύντομο χρονικό διάστημα. (Agilent Technologies, 2011)



### 3.6 ICIC-ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΕΝΕΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ ΚΥΨΕΛΩΝ

Επειδή οι κυψέλες στη πραγματικότητα δεν έχουν καθορισμένα όρια (εικόνα 3.12-1) ή είναι διαφορετικών δυνατοτήτων (Macro/micro/femtocells) δημιουργούν παρεμβολές σε μεταδόσεις στις κινητές συσκευές. Αναπτύχθηκαν τεχνικές όπως ο μηχανισμός *Inter Cell Interference Coordination* (ICIC) για την μείωση τους, στα ετερογενή δίκτυα.



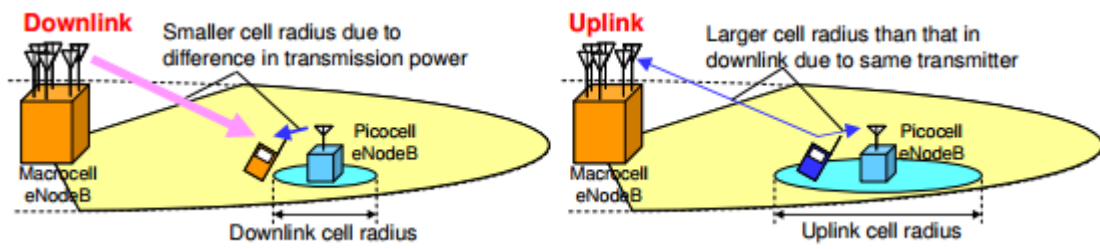
Εικόνα 3.12 (1) Θεωρητική και πραγματική απεικόνιση κυψελών. (2) Παρεμβολές γειτονικής μακροκυψέλης. Πηγή: Πηγή: [www.fujitsu.com/whitepapers/Enhancing-LTE-Cell-Edge.pdf](http://www.fujitsu.com/whitepapers/Enhancing-LTE-Cell-Edge.pdf) [www.eet-china.com](http://www.eet-china.com)

Ο ICIC υπάρχει από την έκδοση 8 και επιτρέπει την ανταλλαγή πληροφοριών<sup>23</sup> καταστάσεων μεταξύ γειτονικών κυψελών (μακροκυψελών), για να εκτελεστούν ενέργειες που μειώνουν τις παρεμβολές, όπως είναι η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων. Πολλά προβλήματα που θα αναφερθούν στη συνέχεια δεν μπόρεσαν να επιλυθούν από την αρχική έκδοση και έτσι προγραμματίστηκαν βελτιώσεις σε *Enhanced-ICIC* (Rel. 10) και σε *Further-Enhanced ICIC* (Rel. 11) με έμφαση σε περιπτώσεις ετερογενών δικτύων. Βελτιώνεται το datarate και η κάλυψη δικτύου στις άκρες της κυψέλης. (Research, Rysavy LLC, 2012, σσ. 109-111)

#### 3.6.1 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΜΙΚΡΟΚΥΨΕΛΗΣ-ΜΑΚΡΟΚΥΨΕΛΗΣ

**Περίπτωση Macrocell-Picocell.** Το UL σήμα της picocell καλύπτει μεγαλύτερη περιοχή από το DL. Καθώς πλησιάζει η συσκευή αντιλαμβάνεται μεν την picocell αλλά το σήμα DL δέχεται παρεμβολές από την μακροκυψέλη λόγω ισχυρότερης εκπομπής. Για να μην αποτρέπεται η σύνδεση στην πικοκυψέλη, λόγω της «ανισορροπίας» DL/UL, στην έκδοση 10, χρησιμοποιείται η τεχνική του **Range Expansion (RE)** πικοκυψελών που επεκτείνει τη περιοχή που αυτές επιλέγονται, δηλαδή το DL σήμα. (Lindbom, Love, Krishnamurthy, Miki, & Chandrasekhar, 2011, σ. 7)

<sup>23</sup> Σήματα και μετρικές προβληματικών καταστάσεων: RNTP, HII, OI. Περισσότερα: (Lindbom και συν., 2011, σ. 5)

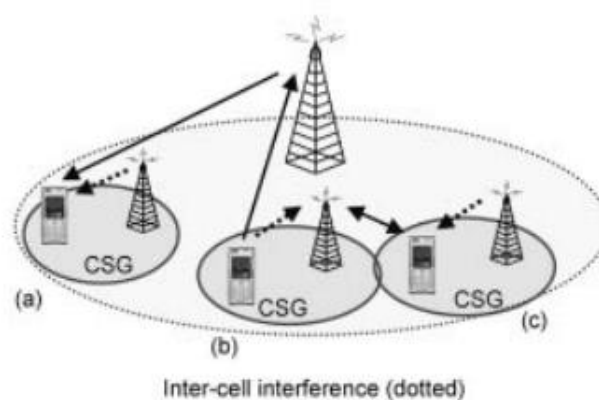


Εικόνα 3.13 Πρόβλημα λόγω ανισοροπίας DL-UL. (Lindbom και συν., 2011, σ. 7)



Εικόνα 3.14 Πείραμα της Qualcomm που αναπαριστά τη διαδικασία του RE όταν εντοπίζεται μία συσκευή. (LTE-Advanced video, 2012)

**Περίπτωση Macrocell-Femtocell.** Δημιουργούνται παρεμβολές σε συσκευές εξυπηρετούμενες από μακροκυψέλη, που βρίσκονται πολύ κοντά σε φεμτοκυψέλη. Η φεμτοκυψέλη έχει ισχυρότερο σήμα αλλά είναι συνήθως «αποκλειστικής» πρόσβασης από κάποιον συνδρομητή, οπότε αρνείται την εξυπηρέτηση (Closed Subscriber Group-CSG).

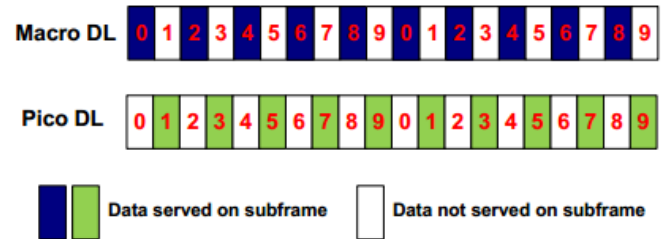


Εικόνα 3.15 Inter Cell Interference σε Macro-micro/femto κυψέλες. (Διακεκομμένη γραμμή: παρεμβολή. Συνεχής γραμμή: η μετάδοση. Φορά: DL ή UL). (Holma, Toskala, Sartori, & Holma, 2012, σ. 54)

### 3.6.2 ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΣΕΣ ΛΥΣΕΙΣ

#### i. Επιμερισμός επιπέδου χρόνου

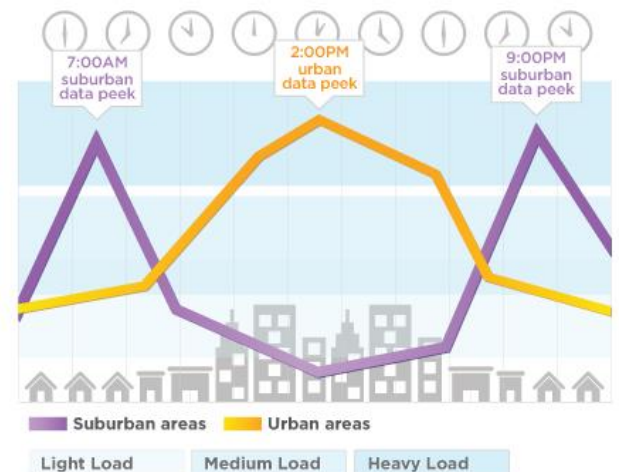
*Time Resource Partitioning.* Μία λύση στο επίπεδο του χρόνου (εικόνα 3.16), είναι η εισαγωγή (με TDM) «σχεδόν κενών πλαισίων» (*Almost Blank Subframes-ABS*) περιοδικά στη αλληλουχία πλαισίων δεδομένων του σήματος, μετά από «ειδοποίηση» της μικροκυψέλης στην μακροκυψέλη, ότι συσκευή της υφίσταται παρεμβολές. Η αποστολή ABS γίνεται και από τις δύο κυψέλες εναλλάξ. (Bhat, και συν., 2012, σσ. 112-113)



Εικόνα 3.16 Time Resource Partitioning με ABS. (4G Americas, 2012a, σ. 63)

#### ii. Δυναμικός επιμερισμός πόρων

*Adaptive Resource Partitioning.* Ενώ το ICIC δημιουργήθηκε να λειτουργεί στατικά, το eICIC λειτουργεί δυναμικά αναλόγως των αναγκών. Έτσι τις ώρες αιχμής (πχ. πρωί) μία μακροκυψέλη στέλνει λιγότερα ABS πλαίσια για να διαχειριστεί την υψηλή κίνηση σε αυτήν. Το απόγευμα αντίστοιχα, με την κίνηση να είναι αυξημένη στις μικροκυψέλες (πχ. φεμτοκυψέλες στα σπίτια), αυξάνει τα ABS (Ghadialy, 2012, σ. 20). Η λύση έχει τη δυνατότητα να ενεργοποιεί και το Range Expansion (Qualcomm, 2012b, σ. 10).



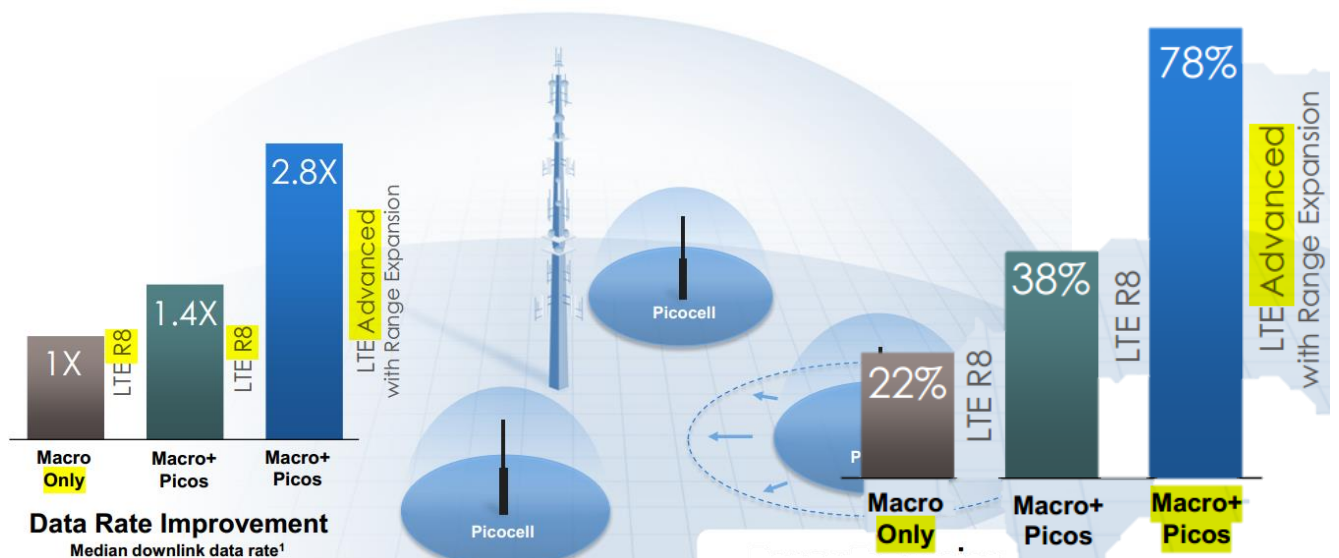
Εικόνα 3.17 Δυναμικός επιμερισμός πόρων. Πηγή: [www.qualcomm.com](http://www.qualcomm.com)

Οι παραπάνω περιπτώσεις χρησιμοποιούν ίδιες συχνότητες κυψελών. Η χρήση διαφορετικών, όπως αναφέρεται (Bai, και συν., 2012, σ. 180), δεν εκτιμάται ότι θα υλοποιηθεί, λόγω της σπατάλης ακριβού φάσματος, αν και επιλύεται με Carrier Aggregation (Frequent Resource Partitioning<sup>24</sup>). Στο επίπεδο του χώρου (Spatial) επιτυγχάνεται με την CoMP που θα αναλυθεί παρακάτω.

<sup>24</sup> Περισσότερες λεπτομέρειες στο (Lindbom και συν., 2011, σ. 9)

Αξίζει να σημειωθεί πως στις περιπτώσεις Macrocell και 4 Picocells σε αυτήν, αν γίνει χρήση του Range Expansion (σε σύγκριση με μία μακροκυψέλη): (Qualcomm, 2012b, σσ. 9,11)

- Πολλαπλασιάζεται το datarate κατά 2.8. (εικόνα 3.18-σχέδιο 1)
- Το ποσοστό των χρηστών που έχουν ταχύτητες πάνω από 1Mbps αυξάνεται στο 78%. (εικόνα 3.18-σχέδιο 2)



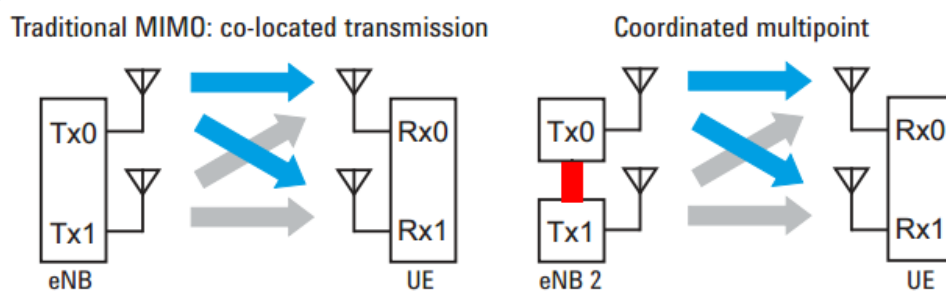
Εικόνα 3.18 Παρουσίαση ωφελιών χρήσης 4 Picocells σε μακροκυψέλη και χρήση Range Expansion. (Qualcomm, 2012b, σσ. 9, 11)

Απαιτείται συσκευή LTE-Advanced, με δυνατότητα ακύρωσης παρεμβολών (θέμα της *feICIC*) που να ενεργοποιεί την ανακάλυψη μικροκυψελών (*small cell discovery*) και το Range Expansion καθώς κινείται. (Βαί, και συν., 2012, σ. 180; Qualcomm, 2012b, σ. 10)

### 3.7 COMP-ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΕΝΗ ΛΗΨΗ-ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ

Είναι μηχανισμός ICIC, μια διαδικασία «συνεννόησης» των κυψελών (όλων των ειδών) για συντονισμένη λήψη και μετάδοση (*Coordinated multiple point (CoMP) transmission and reception*) στη συσκευή, με σκοπό και αυτή, να αυξήσει τον λόγο SINR ειδικά σε άκρες μίας κυψέλης, με δύο τεχνικές (Bhat, και συν., 2012, σ. 110). Είναι η τεχνολογία MIMO με την «έξυπνη» καθοδήγηση αλγορίθμων SON και αναφέρεται πώς η MIMO και SON οδήγησαν στη COMP.

Στην εικόνα 3.19, οι μεταδότες (Tx) δεν είναι στην ίδια φυσική υποδομή (διαφορά με την MIMO) αλλά συνδέονται ταχύτατα (αποτελούν μία ομάδα-cluster ΣΒ) και διαμοιράζονται τον φόρτο μετάδοσης δεδομένων (Agilent Technologies, 2011, σ. 20). Η διασύνδεση τους σχεδιάζεται να είναι οπτικής ίνας, με μελλοντική εφαρμογή τεχνολογιών *cloud*, όσον αφορά το λογισμικό, για ευελιξία διαχείρισης και μείωση του ενεργοβόρου-ακριβού εξοπλισμού στις κυψέλες (Baker, 2012, σ. 117).



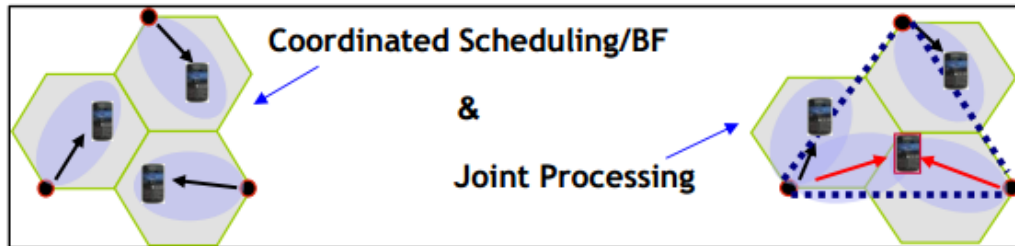
Εικόνα 3.19 Διαφορά CoMP με τη Χωρική πολυπλεξία της MIMO (κόκκινο χρώμα). (Agilent Technologies, 2011, σ. 20)

#### 3.7.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ COMP

Τεχνικές που αφορούν μία ομάδα κυψελών LTE-Advanced και ενεργοποιούνται από SON διαδικασίες:

- **Coordinated Scheduling/Beamforming:** (Συντονισμένος χρονοπρογραμματισμός και ενίσχυση εκπομπής). Αν υπάρξει ανάγκη για διαδικασία beamforming (βλ. σελ. 21), αυτή θα γίνει προγραμματισμένα και σε κατεύθυνση, ώστε να αποφευχθούν οι παρεμβολές μεταξύ των κυψελών (Inter-cell Interference). (Irmer, και συν., 2011, σ. 106)
- **Joint Transmission:** («Συνδυασμένη» μετάδοση). Η περίπτωση αυτή, εκμεταλλεύεται θετικά τις παρεμβολές. Τα μεταδιδόμενα δεδομένα βρίσκονται ταυτόχρονα διαθέσιμα στους ΣΒ («αντιγράφονται») της ομάδας, και λαμβάνονται στη συσκευή, από τις κυψέλες (macro,

rico, femto), στα σημεία που εντοπίζονται παρεμβολές. Η μετάδοση μεταξύ των ΣΒ γίνεται με χωρική πολυπλεξία MIMO, και γιαυτό ονομάζεται και *cooperative MIMO* (Cox, 2012, σ. 303). Έχει καλύτερη απόδοση σε σχέση με τη προηγούμενη αλλά απαιτεί ενσύρματη, ταχύτατη διασύνδεση ΣΒ (*backhaul*) (4G Americas, 2012a, σ. 83).



Εικόνα 3.20 Αριστερά: οι ΣΒ τη στιγμή του κοινού *beamforming* σε συσκευές. Δεξιά: *Joint transmission* στην άκρη της κυψέλης. (Research, Rysavy LLC, 2012, σ. 105)

### 3.7.2 ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ

	WCDMA soft handover	HSDPA multiframe	LTE CoMP joint transmission
Architecture	RNC + NodeB	Same as WCDMA	Centralized baseband + RF units
Transport	Low bandwidth high delay is fine	Same as WCDMA	High bandwidth low delay
Data transmission	Same data from different cells	Different data from different cells	Same data from different cells
Feedback from UE	Same feedback (power control) to every NodeB	Different feedback to different NodeBs (CQI and HARQ-ACK)	Fast feedback to the centralized baseband for beamforming

Πίνακας 3.5 Σύγκριση παρόμοιων τεχνικών με την CoMP, παλαιότερων τεχνολογιών. (Holma & Toskala, 2012, σ. 212)

- Η «οικογένεια» HSPA και ειδικότερα η HSDPA χρησιμοποιεί τεχνική παρόμοια με την CoMP-Joint transmission, την *Multiframe*, όπως και η UMTS (WCDMA) την soft-handover. Οι τρόποι λειτουργίας είναι διαφορετικοί, όπως ότι η *Multiframe* διαιρεί τα προς αποστολή δεδομένα ενώ οι άλλες δύο στέλνουν τα ίδια δεδομένα από τις κυψέλες (Holma & Toskala, 2012, σ. 212). Το *Multiframe* παρέχει και αυτό, αύξηση χωρητικότητας και του datarate ειδικότερα στις άκρες της κυψέλης. (Qualcomm, 2012a, σ. 6)
- Το WiMax, λόγω της ίδιας σχεδόν χρήσης της MIMO τεχνολογίας, επωφελείται των CoMP μηχανισμών, όπως το LTE-Advanced. (Irmer, και συν., 2011, σ. 102)

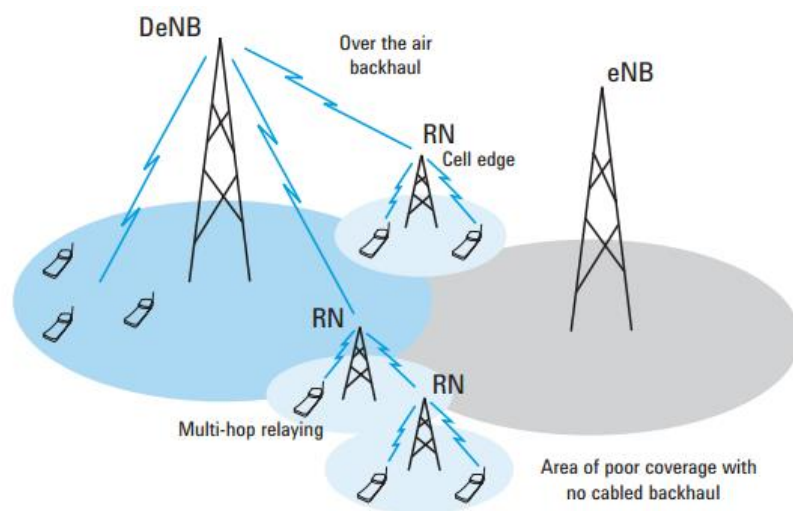


### 3.8 RELAYING

Η αναμετάδοση σήματος στο LTE-Advanced υλοποιείται με συσκευές *relays*, δημιουργώντας κόμβους, για: (Baker, 2012, σ. 118)

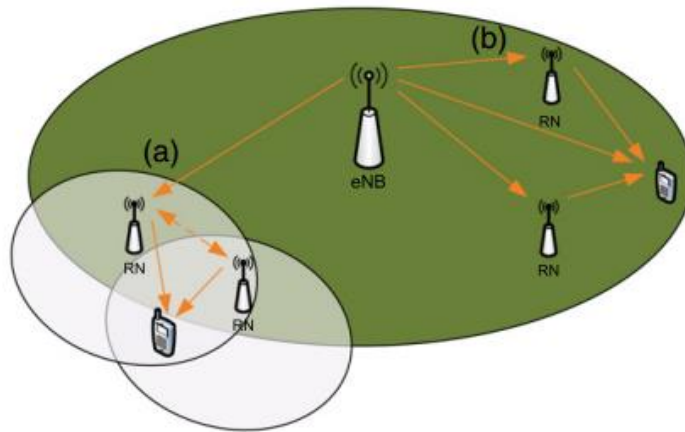
- αραιοκατοικημένες περιοχές, με μειωμένη κάλυψη δικτύου,
- να αυξήσει το bitrate στα όρια μίας κυψέλης,
- να αυξήσει τη χωρητικότητα κυψέλης,
- να ικανοποιήσει χρήστες που κινούνται με μεγάλη ταχύτητα (πχ. τράινα).

Η συσκευή-«κόμβος» relay (*relay node*-RN), σε αντίθεση με τον repeater που απλά αναμεταδίδει, εφαρμόζει αποκωδικοποίηση του ληφθέντος σήματος, από τον «δωρητή»-ΣΒ (*Donor-eNodeB*) πριν το αναμεταδώσει, αφαιρώντας παρεμβολές. Υπάρχει και η δυνατότητα εγκατάστασης διαδοχικών Relays. (Multi-hop Relaying). Η σύνδεση «RN↔ DeNB» είναι **ασύρματη**.(Cox, 2012, σσ. 300-301; Agilent Technologies, 2011, σ. 21; Holma, Toskala, Sartori, & Holma, 2012, p. 117)



Εικόνα 3.21 Αναπαράσταση Donor-eNB, RN, Multi-hop Relaying. (Agilent Technologies, 2011, σ. 21)

Οι RNs έχουν και δυνατότητες λειτουργιών CoMP. Μπορούν να συνεργαστούν μεταξύ τους εφαρμόζοντας Joint Transmission μεταξύ τους (εικόνα 3.22-a) ή μεταξύ τους αλλά και με τον ΣΒ (εικόνα 3.22-b). (Akyildiz, Gutierrez-Estevez, & Reyes, 2010, σ. 239)



Εικόνα 3.22 Περιπτώσεις CoMP στα Relays. (Akyildiz, Gutierrez-Estevez, & Reyes, 2010, σ. 239)

### 3.8.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ

(Yang, Hu, Xu, & Mao, 2009, σ. 101; Bhat, και συν., 2012, σ. 109)

- **Διαφανούς σύνδεσης-Transparent:** ο κόμβος είναι μέρος του Donor-eNodeB (DeNB) (στην ακτίνα κάλυψής του) και δεν δημιουργεί ξεχωριστή κυψέλη. Είναι Relay «τύπου 2».
- **Μη-διαφανούς σύνδεσης-Non transparent:** ο RN διαχειρίζεται μία κυψέλη δική του, σαν να είναι eNodeB. Διαχωρίζεται επιπλέον σε:
  - «**τύπου 1**»: μεταδίδει σε half-duplex και έτσι δεν μπορεί να μεταδίδει ταυτόχρονα σε συσκευή και να δέχεται από τον DeNB.
  - «**τύπου 1α**»: full-duplex και η σύνδεση «συσκευής↔RN» και των «RN↔DeNB» είναι σε διαφορετική συχνότητα (outband)
  - «**τύπου 1β**»: full-duplex και η σύνδεση «συσκευής↔RN» και των «RN↔DeNB» είναι στην ίδια συχνότητα (inband). Η απόδοση είναι ίδια με των φεμτοκυψελών.

Παρόλαυτα, έχει διατυπωθεί πώς είναι δύσκολο να διαχειριστεί η παρεμβολή που δημιουργείται λόγω των RNs και μειώνεται το bandwidth της σύνδεσης όλων των σταθμών (backhaul) (Baker, 2012, σ. 118). Η ολοκλήρωση του μετατέθηκε για την έκδοση 11 (Stuhlfauth, 2011b).

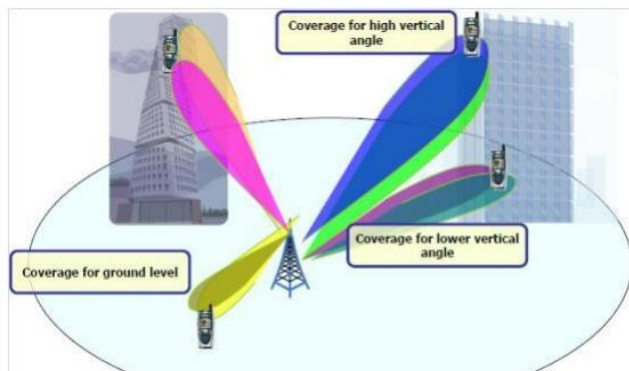


### 3.9 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΟΜΕΝΩΝ ΕΚΔΟΣΕΩΝ

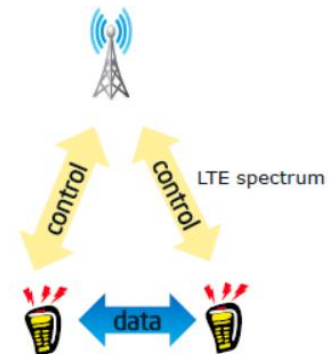
Ηδη η έκδοση 12 είναι έτοιμη να αρχίσει, σε ερευνητικό επίπεδο, κάτι όμως που εξαρτάται από την πορεία της έκδοσης 11 και τότε αυτή θα οριστικοποιηθεί. Κύρια σημεία με τα οποία θα ασχοληθούν οι επόμενες εκδόσεις: (4G Americas, 2012a, σ. 124)

- Βελτιώσεις στα ετερογενή δίκτυα.
- «3D Beamforming» για εξυπηρέτηση συσκευών καθ' ύψος (αυτή τη στιγμή γίνεται στο ίδιο ύψος με τον ΣΒ).
- Διαλειτουργικότητα LTE-Advanced – Wifi, ώστε η πρόσβαση στο Internet να είναι συνεχόμενη από πρότυπο σε πρότυπο.
- Επικοινωνία των συσκευών μεταξύ τους μέσω του LTE-Advanced φάσματος (Machine2Machine επικοινωνία).

#### LTE Multi-Antenna Enhancements



#### Device-to-Device



Εικόνα 3.23 3D Beamforming & M2M επικοινωνία (4G Americas, 2012a, σσ. 130, 137)

## 4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Το νέο Long Term Evolution φάνηκε να το αποδέχονται όλοι οι πάροχοι, αφού ξεκίνησε την ανάπτυξη του από την αρχή, σε αντίθεση με το WiMax που ήταν εξέλιξη άλλου προτύπου. Ηδη προϊόντα (πχ. iPhone 5) κάνουν χρήση LTE.
- Με το LTE-Advanced άρχισε η εποχή 4G και προμηνύεται να καλυφθεί η ζήτηση που θα αυξηθεί κατά 33 φορές μέχρι το 2020.
- Στο μέλλον θα παραμείνουν η αναβαθμισμένη παλαιά τεχνολογία HSPA+ και το νέο LTE-Advanced, με στόχο την πλήρη εδραίωση του τελευταίου.
- Πρέπει να δοθεί έντονη προσοχή στη ανάπτυξη και βελτίωση της διασύνδεσης των ΣΒ, όλων των ειδών, τώρα που η ανάπτυξη ετερογενών δικτύων βρίσκεται στα σχέδια όλων των παρόχων και οι τεχνικές SON αυξάνονται και γίνονται πιο πολύπλοκες.
- Σε παρακάτω πίνακα συγκεντρώθηκαν οι θετικές, κύριες επιπτώσεις των προηγούμενων μεθόδων.

<b><i>Αύξηση</i></b>	<b>Φασματική απόδοση (spectrum efficiency bps/sec)</b>	<b>Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (datarate bps)</b>	<b>Ακτίνα κάλυψης κυψέλης (coverage)</b>	<b>χωρητικότητα εξυπηρέτησης (capacity)</b>
<b>OFDMA</b>	+			
<b>MIMO</b>	+	+	+	+
	<i>MU-MIMO &amp; MxN MIMO</i>	<i>Beamforming</i>	<i>Beamforming</i>	<i>Spatial Multiplexing</i>
<b>CoMP</b>	+	+		
	<i>Coordinated Scheduling</i>	<i>Joint Transm.</i>		
<b>HetNets</b>	+			+
	<i>eICIC</i>			<i>Micro-femto-pico cells</i>
<b>CA</b>		+		
<b>Relays</b>		+	+	+
<b>eICIC</b>		+	+	

Πίνακας 4.1 Συνοπτικός πίνακας των μεθόδων LTE-Advanced και των κύριων επιπτώσεών τους.

## **5 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ**

---

Η εργασία όντας μία εισαγωγική επισκόπηση του LTE-Advanced και των βασικών τεχνολογιών που την καθιστούν εδραιωμένη, δεν αναφέρεται ειδικότερα σε τεχνικές λεπτομέρειες. Λαμβάνεται υπόψη ο στόχος της εργασίας, που είναι ο αναγνώστης με ανεπάρκεια γνώσεων του θέματος και γενικότερα των τηλεπικοινωνιακών θεμάτων.

Μία μελλοντική βιβλιογραφική έρευνα θα μπορούσε να παρουσιάζει λεπτομερέστερα τις προηγούμενες τεχνολογίες ενώ παράλληλα να περιγράψει και την αρχιτεκτονική του συστήματος LTE, με τον εξοπλισμό που το αποτελούν. Η περιγραφή λιγότερο σημαντικών καινοτομιών, που σχεδιάζονται να εισαχθούν σε εκδόσεις 11 και 12 θα ήταν χρήσιμο να προστεθεί.

## 6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- 4G Americas. (2012a, October). *4G Mobile Broadband Evolution: Release 10, Release 11 and Beyond - HSPA, SAE/LTE and LTE-Advanced*. 4G Americas. Ανάκτηση November 2012, από 4G Americas: <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=pressreleasedisplay&pressreleaseid=4114>
- 4G Americas. (2012b, June). *HSPA+LTE Carrier Aggregation*. 4G Americas. Ανάκτηση November 25, 2012, από 4G Americas: <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=pressreleasedisplay&pressreleaseid=4114>
- Abichar, Z., Chang, J. M., & Hsu, C.-Y. (2010, May). WiMAX or LTE: Who will Lead the Broadband Mobile Internet? *IT Professional*, 12(3), σσ. 26-32. doi:10.1109/MITP.2010.47
- Agilent Technologies. (2011, March 8). *Introducing LTE-Advanced* [PDF]. doi:5990-6706EN
- Akyildiz, I. F., Gutierrez-Estevez, D. M., & Reyes, E. C. (2010, December). The evolution to 4G cellular systems: LTE-Advanced. *Physical Communication*, 3(4), 217-244. doi:10.1016/j.phycom.2010.08.001
- Aulama, M. (2011, November). LTE-3GPP Standard Perspective. Amman, Jordan. Ανάκτηση October 15, 2012, από <http://www.slideshare.net/muhannadaulama/lte-3gpp-standard-perspective>
- Bai, D., Park, C., Lee, J., Nguyen, H., Singh, J., Gupta, A., . . . Kang, I. (2012, February). LTE-advanced modem design: challenges and perspectives. *IEEE Communications Magazine*, 50(2), 178-186. doi:10.1109/MCOM.2012.6146497
- Baker, M. (2012, February). From LTE-Advanced to the Future. *IEEE Communications Magazine*, σσ. 116-120. doi:0163-6804/12
- Bejerano, Y., & Han, S.-J. (2009, June). Cell Breathing Techniques for Load Balancing in Wireless Lans. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 8(6), 735-749. doi:10.1109/TMC.2009.50
- Bennis, M., & Saad, W. (2012, December 11). *An introduction to Wireless Small Cell Networks* [Presentation]. Ανάκτηση December 20, 2012, από SlideShare Website: <http://www.slideshare.net/MehdiBennis1/heterogeneous-and-small-cell-networks>

- Bhat, P., Nagata, S., Campoy, L., Berberana, I., Derham, T., Liu, G., . . . Yang, J. (2012, February). LTE-Advanced: An Operator Perspective. *IEEE Communications Magazine*, σσ. 104-114. doi:0163-6804/12
- Boaventura, A. (2012, April 17). *OI's case study* [PDF]. *LTE Latin America 2012*, (σ. 21). Rio de Janeiro. Ανάκτηση November 2012, από [slideshare.net/amsboaventura/lte-latam-2012-alberto-boaventura-v6](http://slideshare.net/amsboaventura/lte-latam-2012-alberto-boaventura-v6)
- Brown, T. (2012, November 22). *LTE + Smartphones = Potential headache for FTTH operators*. Ανάκτηση November 30, 2012, από <http://lteconference.wordpress.com>:  
<http://lteconference.wordpress.com/2012/11/22/lte-smartphones-potential-headache-for-ftth-operators/>
- Chandler, N. (2012, March 13). *How 4G Works*. Ανάκτηση από [howstuffworks.com](http://howstuffworks.com/electronics/howstuffworks.com/4g.htm):  
[electronics.howstuffworks.com/4g.htm](http://howstuffworks.com/electronics/howstuffworks.com/4g.htm)
- Chen, H.-H., Zhang, X., & Xu, W. (2007, June). Next-Generation CDMA vs. OFDMA for 4G Wireless Applications. *IEEE Wireless Communications*, 14(3), σσ. 6-7. doi:10.1109/MWC.2007.386606
- Cox, C. (2012). *An introduction to LTE* (1st εκδ.). West Sussex, UK: John Wiley & Sons, Ltd. doi:1119942829
- Dodd, A. Z. (2012). *The essential guide to telecommunications* (5th εκδ.). Prentice Hall. doi:978-0-13-705891-4
- El-Arabied, M. (2012). *Heterogeneous networks: An introduction*. Universitat Bremen, Dept. Of Communications Engineering.
- Ghadialy, Z. (2012). LTE, LTE-A AND 4G: the move to the Het Net. *Mobile Europe Insight Report*, 15-25. Ανάκτηση December 15, 2012, από <http://3g4g.blogspot.gr/2012/11/quick-introduction-to-lte-advanced.html>
- Handover*. (2012, December 27). Ανάκτηση από Wikipedia:  
<http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Handover&oldid=529900851>

- Hanzo, L., Akhtman, Y. J., Wang, L., & Jiang, M. (2011). *MIMO-OFDM for LTE, Wi-Fi and WiMAX*. West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd. Ανάκτηση November 20, 2012
- Hapsari, W., Umesh, A., Iwamura, M., Tomala, M., Gyula, B., & Sebire, B. (2012, June). Minimization of drive tests solution in 3GPP. *IEEE Communications Magazine*, 50(6), σσ. 28-36.  
doi:10.1109/MCOM.2012.6211483
- Holma, H., & Toskala, A. (2012). *LTE Advanced: 3GPP Solution for IMT-Advanced* (1st εκδ.). John Wiley & Sons. doi:(isbn) 1118399412, 9781118399415
- Holma, H., Toskala, A., Sartori, C., & Holma, H. (2012). *Self-Organizing Networks (SON), in LTE-Advanced: 3GPP Solution for IMT-Advanced* (1st εκδ.). Chichester, UK: John Wiley & Sons.  
doi:10.1002/9781118399439.ch10
- Irmer, R., Droste, H., Marsch, P., Grieger, M., Fettweis, G., Brueck, S., Jungnickel, V. (2011, February). Coordinated multipoint: Concepts, performance, and field trial results. *IEEE Communications Magazine*, 49(2), σσ. 102-111. doi:10.1109/MCOM.2011.5706317
- ITU-R Press Release: IMT-Advanced standards announced. (2012, January 18). Ανάκτηση από [http://www.itu.int/net/pressoffice/press\\_releases/2012/02.aspx](http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2012/02.aspx)
- Kalyansundaram, P., & Ramkumar, A. (2011). *MIMO features In WiMAX and LTE: An Overview Report* [PDF]. Ανάκτηση December 28, 2012, από Slideshare Website:  
[http://www.slideshare.net/Prav\\_Kalyan/mimo-techniques-in-wimax-and-lte-an-overview-report](http://www.slideshare.net/Prav_Kalyan/mimo-techniques-in-wimax-and-lte-an-overview-report)
- Kottkamp, M. (2010, July). *LTE-Advanced Technology Introduction* [PDF]. doi:1MA169\_2e
- Lebrun, G. (2011, May 12). *Overview on mobile broadband technologies* [Presentation]. *EBU workshop* (σ. 32). Geneva: Qualcomm. Ανάκτηση December 16, 2012, από <http://tech.ebu.ch/events/mobile-broadband11>
- Lindbom, L., Love, R., Krishnamurthy, S., Miki, N., & Chandrasekhar, V. (2011, December 7). *Enhanced Inter-cell Interference Coordination for Heterogeneous Networks in LTE-Advanced: A Survey*. ARXIV. doi:1112.1344

- Lopez-Perez, D., Guvenc, I., Roche, G. d., Kountouris, M., Quek, T. Q., & Zhang, J. (2011, June). Enhanced Inter-Cell Interference Coordination Challenges in Heterogeneous Networks. *IEEE Wireless Commun. Mag.*, 18(3), σσ. 22-30. doi: 10.1109/MWC.2011.5876497
- LTE North America Conference. (2012). Dallas. Ανάκτηση από <http://lteconference.wordpress.com/>
- LTE-a 4G solution*. (2011, April). Ανάκτηση από [ericsson.com](http://ericsson.com):  
<http://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/wp-4g.pdf>
- LTE-Advanced video. (2012). Qualcomm. Ανάκτηση December 20, 2012, από  
<http://www.qualcomm.com/solutions/wireless-networks/technologies/lte-advanced>
- Malladi, D. (2012). *Heterogeneous Networks* [Presentation]. *IEEE Communication Theory Workshop* (σ. 48). Hawaii: Qualcomm. Ανάκτηση από <http://www.ieee-ctw.org/2012/HetNets3Gand4GIEEECTW2012.pdf>
- Orthogonal frequency-division multiple access*. (2013, January 5). Ανάκτηση January 6, 2012, από Wikipedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal\\_frequency-division\\_multiple\\_access](http://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency-division_multiple_access)
- Parkvall, S., Dahlman, E., Jöngren, G., Landström, S., & Lindbom, L. (2011). *Heterogeneous network deployments in LTE*. Ericsson. Ανάκτηση από  
[http://www.ericsson.com/res/thecompany/docs/publications/ericsson\\_review/2011/ER-hetnet-deployment.pdf](http://www.ericsson.com/res/thecompany/docs/publications/ericsson_review/2011/ER-hetnet-deployment.pdf)
- Parkvall, S., Furuskar, A., & Dahlman, E. (2011, February). Evolution of LTE towards IMT-Advanced. *IEEE Communications Magazine*, 49(2), σσ. 84-91. doi:10.1109/MCOM.2011.5706315
- Qualcomm. (2012a). *HSPA+ Advanced – Taking HSPA+ to the Next Level*. San Diego: Qualcomm. Ανάκτηση January 2012, από [http://www.qualcomm.com/instella\\_api/asset/65d3f1f0-358b-012f-8e9a-12313804dc61](http://www.qualcomm.com/instella_api/asset/65d3f1f0-358b-012f-8e9a-12313804dc61)
- Qualcomm. (2012b, February). *LTE Advanced* [Presentation]. Ανάκτηση από Qualcomm website:  
<http://www.qualcomm.com/media/documents/lte-advanced%E2%80%94global-4g-solution>
- Radiocommunication Sector (ITU-R)*. (2008, March 7). doi:IMT-ADV/1-E



- Research, Rysavy LLC. (2012, August). *Mobile Broadband Explosion*. 4G Americas. Ανάκτηση November 2012, από 4G Americas: <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page&sectionid=428>
- Solbé, C. (2012, January 24). *Data traffic will grow by 33%*. Ανάκτηση από 3gpp.org: <http://www.3gpp.org/Data-traffic-will-grow-by-33x>
- Stuhlfauth, R. (2011a, November). *LTE: Introduction, evolution and testing* [Presentation]. Ανάκτηση October 15, 2012, από Slideshare: <http://www.slideshare.net/RohdeSchwarzNA/lte-eutran-rsanov2012combinedday>
- Stuhlfauth, R. (2011b). *UMTS Long Term Evolution (LTE)* [Presentation]. Ανάκτηση October 15, 2012, από Slideshare: <http://www.slideshare.net/RohdeSchwarzNA/lte-eutran-rsanov2012day1>
- Tanenbaum, A. S. (2005). *Δίκτυα Υπολογιστών* (Fourth εκδ.). (Γ. Ξυλωμένος, Μεταφρ.) Amsterdam, The Netherlands: Κλειδάριθμος. doi:960-209-689-6
- Tiwari, B. (2010). *Wimax 2.0 for operators*. [www.beyond4g.org](http://www.beyond4g.org). Ανάκτηση από <http://www.wimax.com/whitepapers/bp-tiwari-wimax-20-for-operators.pdf>
- Varshney, U. (2012, September/October). 4G Wireless Networks. *IT Professional Magazine*, σσ. 34-39.
- Wannstrom, J. (2012, May). *Carrier Aggregation explained*. Ανάκτηση October 2012, από 3GPP Web site: <http://www.3gpp.org>
- Yang, Y., Hu, H., Xu, J., & Mao, G. (2009, October). Relay technologies for WiMax and LTE-advanced mobile systems. *IEEE Communications Magazine*, 47(10), σσ. 100-105. doi:10.1109/MCOM.2009.5273815
- Διαμόρφωση σήματος*. (2012, October 30). Ανάκτηση December 10, 2012, από Wikipedia: [http://el.wikipedia.org/wiki/Διαμόρφωση\\_σήματος](http://el.wikipedia.org/wiki/Διαμόρφωση_σήματος)

## 7 ΕΙΚΟΝΕΣ-ΠΙΝΑΚΕΣ

ΕΙΚΟΝΑ 1.1 ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ.....	5
ΕΙΚΟΝΑ 1.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΥΞΗΣΗΣ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΩΝ 3G/4G ΠΗΓΗ: ZTE.COM.CN .....	6
ΕΙΚΟΝΑ 2.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ. ΠΗΓΗ: (AULAMA, 2011, Σ. 5).....	7
ΕΙΚΟΝΑ 2.2 ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ. ΠΗΓΗ: WWW.HOME.AGILENT.COM.....	8
ΕΙΚΟΝΑ 2.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ. ΠΗΓΗ: WWW.GRIN.COM.....	9
ΕΙΚΟΝΑ 2.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΣΤΙΣ ΚΥΨΕΛΕΣ. ΠΗΓΗ: WWW.TELECOMABC.COM .....	9
ΕΙΚΟΝΑ 2.5 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΤΟΥ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ 3GPP. ΠΗΓΗ: WWW.AGILENT.COM.....	9
ΕΙΚΟΝΑ 2.6 ΟΜΑΛΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΑ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΠΡΟΤΥΠΑ & ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΩΝ ΣΤΙΣ ΔΥΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ. (ΠΗΓΗ: TOWARDS GLOBAL MOBILE BROADBAND, A WHITE PAPER FROM THE UMTS FORUM & INFORMA TELECOMS & MEDIA SUBSCRIBER FORECAST, 2Q 2012).....	10
ΕΙΚΟΝΑ 2.7 ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΓΙΑ ΠΡΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΑΡΟΧΗΣ ΦΩΝΗΣ ΜΕΣΩ LTE. ΠΗΓΗ: 3G4G.BLOGSPOT.GR .....	12
ΕΙΚΟΝΑ 3.1 Η ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ OFDM ΣΕ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΠΛΟ FDM. ΠΗΓΗ: WWW.WIRELESSCOMMUNICATION.NL.....	14
ΕΙΚΟΝΑ 3.2 ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΣΥΧΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΕΚΔΟΣΕΩΝ 8/9 ΓΙΑ ΤΕΛΙΚΟ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟ ΦΕΡΟΝ ΣΗΜΑ ΕΚΔΟΣΗΣ 10. ΠΗΓΗ: WWW.ARTIZANETWORKS.COM .....	18
ΕΙΚΟΝΑ 3.3 ΟΙ 3 ΤΥΠΟΙ CARRIER AGGREGATION ΠΗΓΗ: WWW.ARTIZANETWORKS.COM.....	19
ΕΙΚΟΝΑ 3.4 CA 5 LTE ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΓΙΑ ΑΥΞΗΣΗ BANDWIDTH ΜΕΧΡΙ 100MHZ. (ENODEB: ΣΒ, TERMINAL: ΣΥΣΚΕΥΗ). ΠΗΓΗ:ERICSSON.COM .....	19
ΕΙΚΟΝΑ 3.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ CA ΣΤΟ HSPA+ R11, ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ 8 ΚΑΝΑΛΙΩΝ. (LEBRUN, 2011, Σ. 13).....	20
ΕΙΚΟΝΑ 3.6 ΤΥΠΟΙ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥΣ. ΠΗΓΗ: HTTP://GLOBAL.KYOCERA.COM .....	21
ΕΙΚΟΝΑ 3.7 ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΗΣ MIMO ΚΑΙ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥΣ. (BOAVENTURA, OI'S CASE STUDY, 2012, P. 6) .....	24
ΕΙΚΟΝΑ 3.8 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ MIMO 2x2, ΧΩΡΙΚΗΣ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑΣ, ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΚΑΙ BEAMFORMING, ΔΕΞΙΑ, ΜΕ ΤΟ ΟΠΟΙΟ Η ΚΥΨΕΛΗ ΑΥΞΑΝΕΙ ΤΟ DATA RATE Η ΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΑΚΡΗ. ΠΗΓΗ: (QUALCOMM, 2011, Σ. 11).....	24
ΕΙΚΟΝΑ 3.9 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ENHANCED MIMO ΤΟΥ LTE-ADVANCED. (AKYILDIZ, GUTIERREZ-ESTEVEZ, & REYES, 2010, Σ. 227).....	25
ΕΙΚΟΝΑ 3.10 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ MU-MIMO BEAMFORMING. ΠΗΓΗ: 4GAMERICAS.....	26
ΕΙΚΟΝΑ 3.11 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ SON. ΠΗΓΗ: HTTP:// TELECOM-CLOUD.NET.....	27
ΕΙΚΟΝΑ 3.12 (1) ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΗΣΗ ΚΥΨΕΛΩΝ. ΠΗΓΗ: WWW.FUJITSU.COM/WHITEPAPERS/ENHANCING- LTE-CELL-EDGE.PDF.....	29
ΕΙΚΟΝΑ 3.13 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΛΟΓΩ ΑΝΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ DL-UL. (LINDBOM ΚΑΙ ΣΥΝ., 2011, Σ. 7) .....	30
ΕΙΚΟΝΑ 3.14 ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΗΣ QUALCOMM ΠΟΥ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΑ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΟΥ RE ΟΤΑΝ ΕΝΤΟΠΙΖΕΤΑΙ ΜΙΑ ΣΥΣΚΕΥΗ. (LTE- ADVANCED VIDEO, 2012).....	30
ΕΙΚΟΝΑ 3.15 INTER CELL INTERFERENCE ΣΕ MACRO-MICRO/FEMTO ΚΥΨΕΛΕΣ. (ΔΙΑΚΕΚΟΜΕΝΗ ΓΡΑΜΜΗ: ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ. ΣΥΝΕΧΗΣ ΓΡΑΜΜΗ: Η ΜΕΤΑΔΟΣΗ. ΦΟΡΑ: DL Η UL). (HOLMA, TOSKALA, SARTORI, & HOLMA, 2012, P. 54).....	30

ΕΙΚΟΝΑ 3.16 TIME RESOURCE PARTITIONING ΜΕ ABS. (4G AMERICAS, 2012Α, Σ. 63) .....	31
ΕΙΚΟΝΑ 3.17 ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΕΠΙΜΕΡΙΣΜΟΣ ΠΟΡΩΝ. ΠΗΓΗ: WWW.QUALCOMM.COM .....	31
ΕΙΚΟΝΑ 3.18 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΩΦΕΛΕΙΩΝ ΧΡΗΣΗΣ 4 PICOCELLS ΣΕ ΜΑΚΡΟΚΥΨΕΛΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ RANGE EXPANSION. (QUALCOMM, 2012Β, ΣΣ. 9, 11) .....	32
ΕΙΚΟΝΑ 3.19 ΔΙΑΦΟΡΑ COMP ΜΕ ΤΗ ΧΩΡΙΚΗ ΠΟΛΥΠΛΑΞΙΑ ΤΗΣ MIMO (ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ). (AGILENT TECHNOLOGIES, 2011, Σ. 20) .....	33
ΕΙΚΟΝΑ 3.20 ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΟΙ ΣΒ ΤΗ ΣΤΙΓΜΗ ΤΟΥ ΚΟΙΝΟΥ BEAMFORMING ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ. ΔΕΞΙΑ: JOINT TRANSMISSION ΣΤΗΝ ΑΚΡΗ ΤΗΣ ΚΥΨΕΛΗΣ. (RESEARCH, RYSAVY LLC, 2012, Σ. 105).....	34
ΕΙΚΟΝΑ 3.21 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ DONOR-ENB, RN, MULTI-HOP RELAYING. (AGILENT TECHNOLOGIES, 2011, Σ. 21) .....	35
ΕΙΚΟΝΑ 3.22 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ COMP ΣΤΑ REALYS. (AKYILDIZ, GUTIERREZ-ESTEVEZ, & REYES, 2010, Σ. 239).....	36
ΕΙΚΟΝΑ 3.23 3D BEAMFORMING & M2M ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ (4G AMERICAS, 2012Α, ΣΣ. 130, 137) .....	37



ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ-ΣΤΟΧΩΝ. ΠΗΓΗ: WWW.MICROWAVEJOURNAL.COM.....	11
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ 3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ 3G. (VARSHNEY, 2012, Σ. 38).....	12
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΟΡΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗ 1G ΣΤΗ 4G ΚΑΙ ΟΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΟΥΣ. (RESEARCH, RYSAVY LLC, 2012) .....	13
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ LTE ΚΑΙ WiMAX. (ABICHAR, CHANG, & HSU, 2010, Σ. 28).....	15
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2 ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ 3GPP ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΜΕ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΠΟΥ ΥΠΟΣΤΗΡΙΖΟΥΝ ΚΑΙ ΤΙΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ (BPS) ΣΤΑ ΑΝΤΙΧΤΟΙΧΑ ΜΕΓΕΘΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (MHZ) ΠΗΓΗ: (RESEARCH, RYSAVY LLC, 2012, Σ. 22).....	16
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ. (LOPEZ-PEREZ, ΚΑΙ ΣΥΝ., 2011, Σ. 2) .....	22
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4 ΜΕΓΙΣΤΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ (BITS PER SEC PER HERTZ) ΤΟΥ LTE ΚΑΙ LTE-ADVANCED ΓΙΑ ΤΟ DL ΚΑΙ UL, ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΕΡΑΙΩΝ 4X4 ΚΑΙ 8X8. ΠΗΓΗ: (BHAT, ΚΑΙ ΣΥΝ., 2012, ΣΣ. 106-107) .....	23
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΑΡΟΜΟΙΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕ ΤΗΝ COMP, ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ. (HOLMA & TOSKALA, 2012, Σ. 212) .....	34
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ LTE-ADVANCED ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΟΥΣ.....	38

## 8 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

---

### 8.1 ΑΚΡΩΝΥΜΑ-ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ

**CAPEX:** Capital expenditures

**DL/UL:** Downlink ή download ή downstream/Uplink ή upload ή upstream, κατερχόμενη/απερχόμενη ζεύξη

**3GPP:** 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project. A group of standard bodies produce technical specification for telecom industry.

**GSM:** Global system for mobile communication. It is widely used mobile protocol.

**CDMA:** Code division multiple access.

**OFDM:** Orthogonal frequency division multiplexing.

**MIMO:** Multiple in multiple out.

**SON:** Self organizing networking.

**RE:** Range Expansion

**VoIP:** Voice over IP.

**SC-FDMA:** Single Carrier Frequency division multiple access.

**Modulation:** A process of varying carrier signal.

**IPv6:** Next generation internet protocol version 6.

**QoS:** Quality of Service is a better service methodology in data traffic.

**Backhaul:** A link/system between core network and distributed point.

**CoMP:** Coordinated multiple point