ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά μαθήματα ΠΠ

ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

Ενότητα # 11: Κινητά Δίκτυα 4G – 5G (Μέρος 1)

Καθηγητής Χρήστος Ι. Μπούρας
Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Πατρών
email: bouras@cti.gr, site: http://ru6.cti.gr/ru6/bouras

Σκοποί ενότητας

- Εξοικείωση με τα κινητά δίκτυα τέταρτης γενιάς (Long Term Evolution)
- Ανάλυση των κυριότερων χαρακτηριστικών του προτύπου LTE
- Παρουσίαση της αρχιτεκτονικής
- Κατανόηση των κυριότερων τεχνολογιών

Περιεχόμενα ενότητας

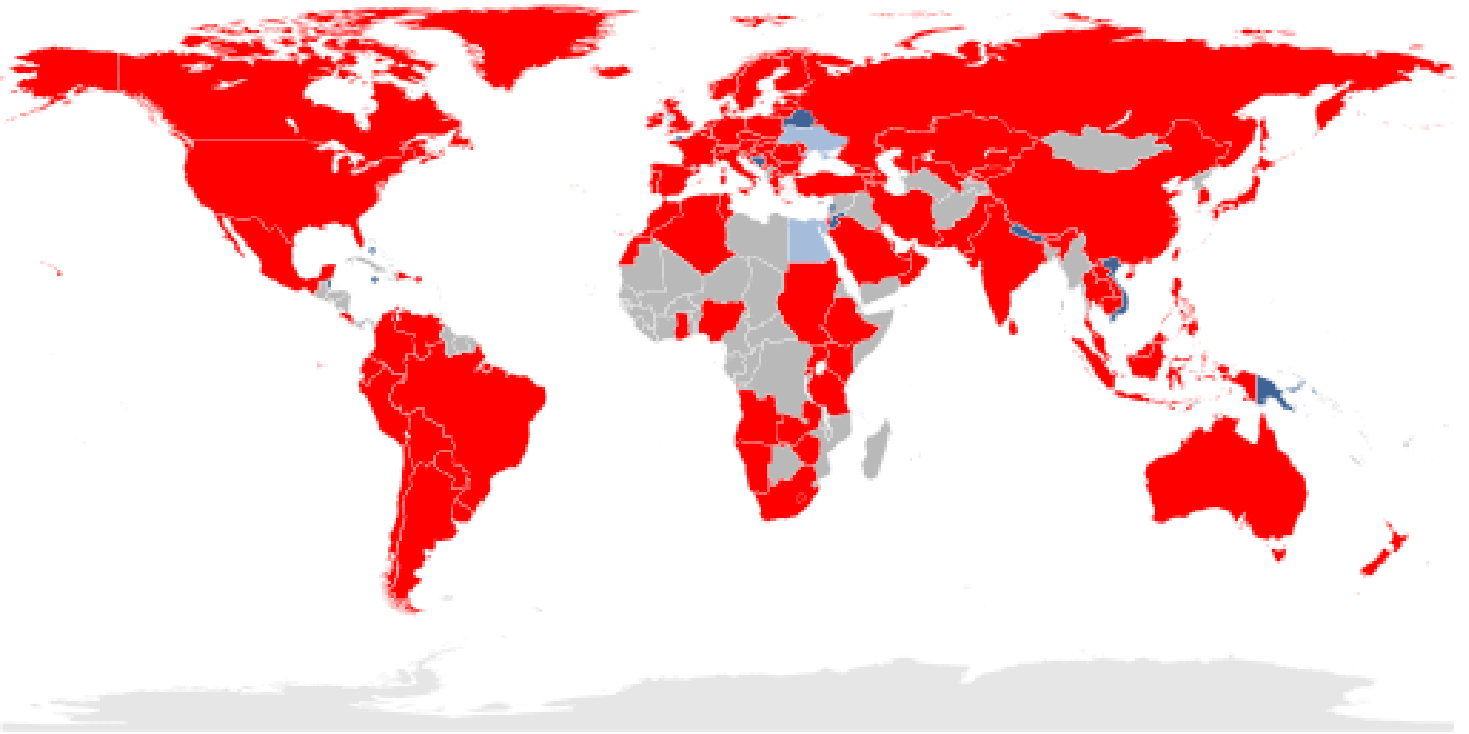
- LTE
  - Γενικά στοιχεία
  - Προδιαγραφές
  - Αρχιτεκτονική
  - Τεχνολογίες

Κινητά Δίκτυα Επόμενης Γενιάς (Μέρος 1)

3GPP Long Term Evolution (LTE)

- Η διαδικασία προτυποποίησης του LTE ξεκίνησε στο Τορόντο το Νοέμβριο του 2004 από τον οργανισμό 3GPP και η πρώτη επίσημη έκδοση (Rel. 8) ανακοινώθηκε το 2008
- Το πρότυπο καλύπτει θέματα που αφορούν την ασύρματη διεπαφή καθώς και την αρχιτεκτονική του ασύρματου δικτύου
- Το LTE της πρώτης έκδοσης δεν κάλυπτε πλήρως τις απαιτήσεις που είχαν οριστεί για τα 4^{ης} γενιάς συστήματα για αυτό τυπικά θεωρείται 3.9G
- Κάτω από την πίεση του μάρκετινγκ, όμως, τελικά αναφέρεται και προωθείται πλέον εμπορικά ως 4ης γενιάς

Παγκόσμια εξάπλωση LTE



Εξάπλωση LTE (κόκκινο: σε λειτουργία, μπλε: σε περίοδο δοκιμών ή σε κατασκευή)

(πηγή: https://el.wikipedia.org/wiki/LTE#/media/File:3GPP_Long_Term_Evolution_Country_Map.svg)

Βασικές απαιτήσεις LTE (1/3)

- Υποστήριξη αποκλειστικά υπηρεσιών μεταγωγής πακέτου
- Μειωμένες καθυστερήσεις, όσον αφορά το χρόνο εγκατάστασης σύνδεσης και την καθυστέρηση μετάδοσης
- Αυξημένους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων
- Αυξημένους ρυθμούς μετάδοσης ακόμα και στα όρια της κυψέλης, ώστε να εξασφαλίζεται ομοιομορφία στην παροχή υπηρεσιών
- Μειωμένο κόστος ανά bit, αποτέλεσμα της βελτιωμένης φασματικής απόδοσης

Βασικές απαιτήσεις LTE (2/3)

- Μεγαλύτερη ευελιξία στη διαχείριση του φάσματος, στις νέες και στις υπάρχουσες συχνότητες λειτουργίας
- Απλοποιημένη αρχιτεκτονική δικτύου
- Διαλειτουργικότητα:
  - δυνατότητα ταυτόχρονης λειτουργίας με μη-3GPP πρότυπα και με υπάρχοντα UTRAN συστήματα κινητών επικοινωνιών
  - υποστήριξη δυνατότητας handover από και προς τα συστήματα αυτά

Βασικές απαιτήσεις LTE (3/3)

- Λογική κατανάλωση ενέργειας στις κινητές τερματικές συσκευές
- Σημαντική μείωση της round-trip καθυστέρησης από το χρήστη έως το σταθμό βάσης στα 5ms-10ms
- Κινητικότητα:
  - δυνατότητα βέλτιστης λειτουργίας του συστήματος για χαμηλές ταχύτητες κίνησης των χρηστών (0-15 χλμ/ώρα)
  - υποστήριξη χρηστών που κινούνται σε πολύ υψηλές ταχύτητες

Στόχοι απόδοσης LTE - Downlink

		Absolute requirement	Comparison to Release 6	Comment
Downlink	Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης	> 100 Mbps	7 x 14.4 Mbps	20 MHz FDD, 2x2 spatial multiplexing.
	Μέγιστη φάσματική απόδοση	> 5 bps/Hz	3 bps/Hz	
	Μέση φάσματική απόδοση κυψέλης	> 1.6-2.1 bps/Hz/κελί	3-4 x 0.53 bps/Hz/ κελί	2x2 spatial multiplexing, Interference Rejection
	Φάσματική απόδοση ορίων κυψέλης	> 0.04-0.06 bps/Hz/χρήστη	2-3 x 0.02 bps/Hz	Για 10 χρήστες ανά κυψέλη
	Broadcast φάσματική απόδοση	> 1 bps/Hz	N/A	Με φορέα αποκλειστικά αφιερωμένο σε broadcast

Στόχοι απόδοσης LTE - Downlink

Στόχοι απόδοσης LTE - Uplink

Uplink	Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης	> 50 Mbps	5 x 11 Mbps	20 MHz FDD, μονή κεραία.
	Μέγιστη φάσματική απόδοση	> 2.5 bps/Hz	2 bps/Hz	
	Μέση φάσματική απόδοση κυψέλης	> 0.66-1.0 bps/Hz/ κελί	2-3 x 0.33 bps/Hz/ κελί	Μονή κεραία.
	Φάσματική απόδοση ορίων κυψέλης	> 0.02-0.03 bps/Hz/ χρήστη	2-3 x 0.01 bps/Hz	Για 10 χρήστες ανά κυψέλη

Στόχοι απόδοσης LTE - Uplink

Στόχοι απόδοσης LTE - System

System	User plane καθυστέρηση (two way radio delay)	< 10 ms	1/5	
	Καθυστέρηση εγκατάστασης σύνδεσης	< 100 ms		Μετάβαση από idle state σε active state
	Υποστηριζόμενα εύρη φάσματος	1.4–20 MHz	5 MHz	(Η αρχική απαίτηση ξεκινούσε στα 1.25 MHz)
	VoIP capacity	NGMN εκτιμώμενος στόχος είναι > 60 sessions/MHz/κελί		

Στόχοι απόδοσης LTE - System

Βασικές διαφορές LTE-UMTS

- Επίπεδη αρχιτεκτονική αποτελούμενη από μόνο έναν τύπο κόμβων (eNodeBs)
- Αποτελεσματικότερα πρωτόκολλα για την υποστήριξη υπηρεσιών μεταγωγής πακέτου
- Αποτελεσματικότεροι μηχανισμοί λειτουργίας και συντήρησης, συμπεριλαμβάνοντας λειτουργίες αυτόματης βελτιστοποίησης
- Εύκολη ανάπτυξη και ρύθμιση του δικτύου, προσφέροντας νέου τύπου σταθμούς βάσης, όπως τους οικιακούς σταθμούς βάσης (femtocells)

Βαθμός διείσδυσης LTE

Country/Territory	Penetration
South Korea	96.38%
Japan	93.48%
Norway	86.96%
United States	86.50%
Hong Kong	86.41%
Netherlands	86.06%
Lithuania	85.06%
Sweden	83.65%
Hungary	83.59%
Taiwan	83.02%

Χώρες με τον υψηλότερο βαθμό διείσδυσης του LTE

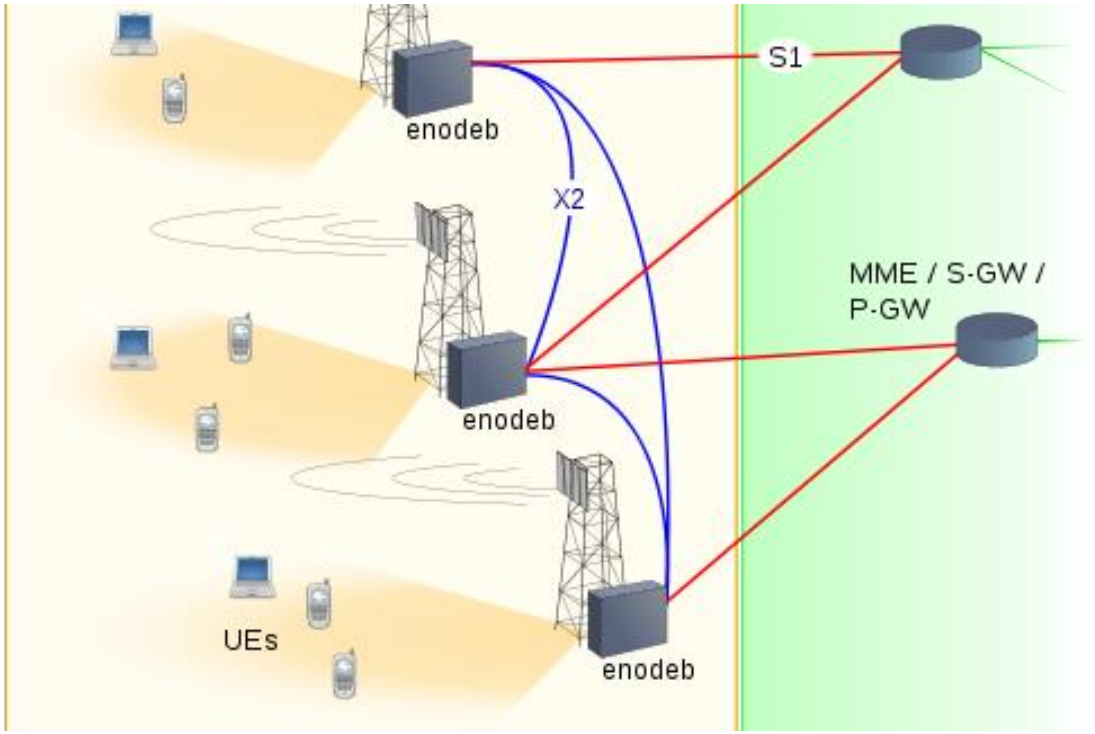
Η Αρχιτεκτονική του Δικτύου LTE (1/2)

- Παρέχει συνεχή IP συνδεσιμότητα μεταξύ της κινητής συσκευής (User Equipment - UE) και του δικτύου Πακέτων Δεδομένων (Packet Data Network-PDN)
- Ο όρος LTE αναφέρεται κυρίως στην εξέλιξη της τεχνολογίας ασύρματης πρόσβασης μέσω του eUTRAN (Evolved-Universal Terrestrial Radio Access Network)
- Αλλά συνοδεύεται και από την εξέλιξη των θεμάτων που δεν αφορούν την ασύρματη πρόσβαση υπό τον όρο ‘System Architecture Evolution’ (SAE) ο οποίος περιλαμβάνει το δίκτυο κορμού Evolved Packet Core (EPC)

Η Αρχιτεκτονική του Δικτύου LTE (2/2)

- Το LTE μαζί με το SAE σχηματίζουν το Evolved Packet System (EPS)
- Το EPS χρησιμοποιεί την έννοια του ασύρματου «φορέα» (radio bearer) για να δρομολογεί την IP κίνηση από μία πύλη στο PDN προς το UE
- Ένας bearer είναι μία ροή IP πακέτων με ένα καθορισμένο επίπεδο ποιότητας υπηρεσιών (Quality of Service-QoS)
- Το eUTRAN και το EPC σε συνεργασία εγκαθιστούν και διαχειρίζονται τους bearers ανάλογα με τις απαιτήσεις

eUTRAN και EPC



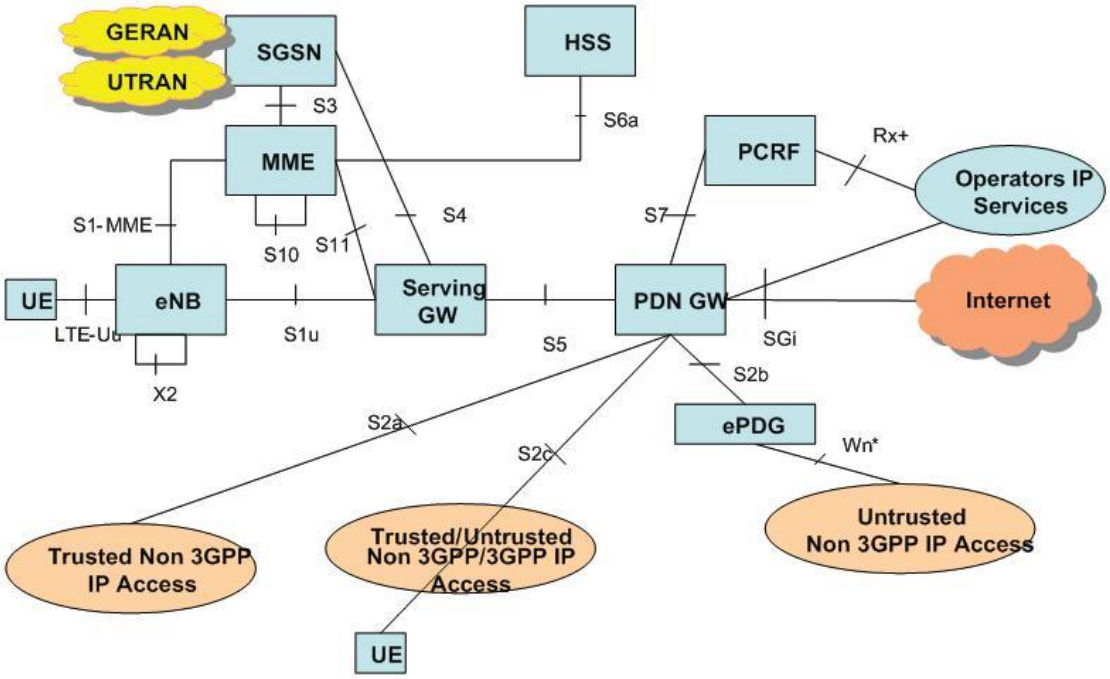
Αρχιτεκτονική eUTRAN και EPC

(πηγή: http://en.wikipedia.org/wiki/E-UTRA#mediaviewer/File:EUTRAN_arch.op.svg)

Η Αρχιτεκτονική του Evolved Packet System (1/2)

- Το EPS αποτελείται από το δίκτυο κορμού (Core Network-CN) EPC και το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης (eUTRAN)
- Το δίκτυο κορμού αποτελείται από πολλούς λογικούς κόμβους, το δίκτυο πρόσβασης αποτελείται από μόνο ένα, τον evolved NodeB (eNB), ο οποίος συνδέεται με τα UE
- Κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία συνδέονται εσωτερικά του δικτύου μέσω διεπαφών
- Στην πραγματικότητα, οι διαχειριστές δικτύων μπορεί να χωρίσουν ή να ενώσουν κάποια από αυτά τα στοιχεία στη φυσική τους υλοποίηση

Η Αρχιτεκτονική του Evolved Packet System (2/2)



Η Αρχιτεκτονική του Δικτύου EPS

(πηγή: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:LongTermEvolution.JPG)

Το Δίκτυο Κορμού

- Το δίκτυο κορμού είναι υπεύθυνο για το συνολικό έλεγχο του UE και για την εγκατάσταση των bearers. Οι βασικοί λογικοί κόμβοι του EPC είναι:
  - PDN Gateway (P-GW)
  - Serving Gateway (S-GW)
  - Mobility Management Entity (MME)
- Εκτός από αυτούς τους κόμβους, το EPC περιλαμβάνει και άλλους, όπως τους Home Subscriber Server (HSS) και Policy Control and Charging Rules Function (PCRF)

Το Δίκτυο Πρόσβασης (1/2)

- Το δίκτυο πρόσβασης του LTE, το eUTRAN, αποτελείται από ένα δίκτυο από eNodeBs
- Δεν υπάρχει κεντρικός ελεγκτής στο eUTRAN, συνεπώς η αρχιτεκτονική του χαρακτηρίζεται επίπεδη
- Οι eNodeBs συνδέονται μεταξύ τους μέσω της διεπαφής X2 και με το EPC μέσω της διεπαφής S1
- Τα πρωτόκολλα που εκτελούνται μεταξύ των eNBs και των UEs είναι γνωστά σαν Access Stratum (AS) πρωτόκολλα

Το Δίκτυο Πρόσβασης (2/2)

- Το eUTRAN είναι υπεύθυνο για όλες τις λειτουργίες σχετικές με το ασύρματο κομμάτι του δικτύου, οι οποίες είναι:
  - Διαχείριση των ασύρματων πόρων
  - Συμπίεση επικεφαλίδων, ώστε να εξασφαλιστεί η αποδοτική χρήση της ασύρματης διεπαφής
  - Ασφάλεια
  - Συνδεσιμότητα με το EPC

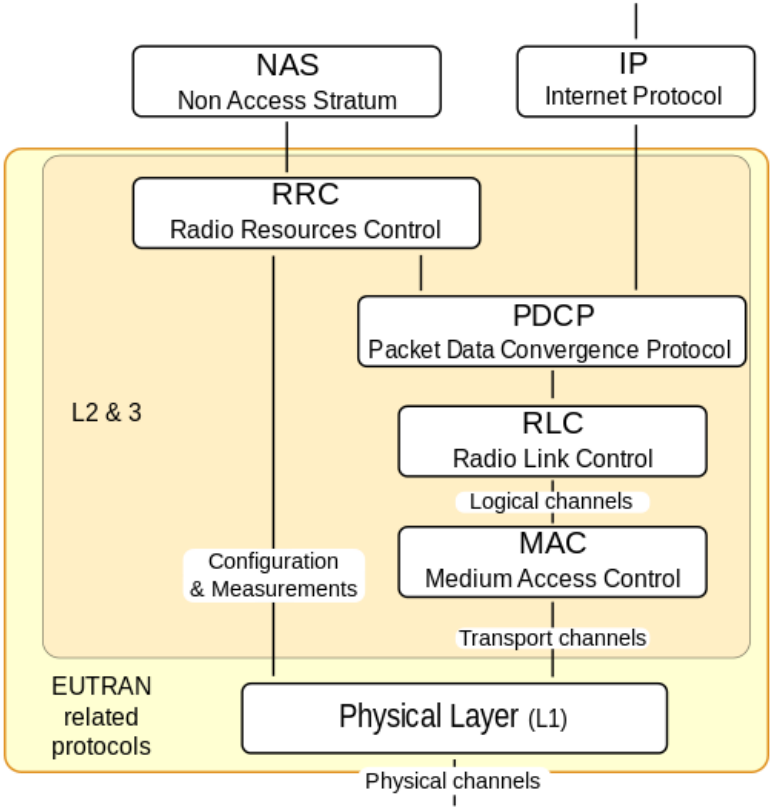
Η Αρχιτεκτονική Πρωτοκόλλων - User Plane

- Ένα IP πακέτο ενθυλακώνεται σε ένα πρωτόκολλο καθορισμένο από το EPC και μεταφέρεται από το P-GW προς το eNodeB για μετάδοση προς το UE
- Διαφορετικά πρωτόκολλα μεταφοράς χρησιμοποιούνται ανάλογα με τη διεπαφή
- Η eUTRAN στοίβα πρωτοκόλλων του user plane αποτελείται από τα Packet Data Convergence Protocol (PDCP), Radio Link Control (RLC) και Medium Access Control (MAC) υποεπίπεδα

Η Αρχιτεκτονική Πρωτοκόλλων - Control Plane

- Η στοίβα πρωτοκόλλων του control plane μεταξύ του UE και του MME ορίζει τα πρωτόκολλα του access stratum
- Το πρωτόκολλο RRC είναι γνωστό σαν ‘Επίπεδο 3’ της στοίβας πρωτοκόλλων του AS
- Αποτελεί τη βασική λειτουργία ελέγχου στο AS και είναι υπεύθυνο για την εγκατάσταση των ασύρματων bearers και για τη διαμόρφωση όλων των χαμηλότερων επιπέδων

Η στοίβα πρωτοκόλλων στο eUTRAN



eUTRAN στοίβα πρωτοκόλλων

(πηγή:
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:EUTRAN_protocol_stack.op.svg)

Τεχνολογίες LTE

- Για την επίτευξη των υψηλών επιδόσεών του, το LTE χρησιμοποιεί διάφορες τεχνολογίες. Οι κυριότερες εξ αυτών είναι:
  - OFDM- OFDMA
  - Channel-Dependent Scheduling and Rate Adaptation
  - Inter-Cell Interference Coordination (ICIC)
  - Hybrid ARQ with Soft Combining
  - Μετάδοση πολλαπλών κεραιών
  - Multicast and Broadcast
  - Positioning/Dual-Layer Beam-Forming

Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM)

- Το LTE χρησιμοποιεί την τεχνολογία OFDM για το downlink
- Ο σταθμός βάσης μεταδίδει δεδομένα μέσω πολλαπλών φορέων μικρού εύρους, αντί μέσω ενός μοναδικού wideband σήματος
- Οι φορείς ονομάζονται subcarriers και είναι ορθογώνιοι μεταξύ τους, ώστε είτε ατομικά είτε ως γκρουπ να μεταφέρουν ανεξάρτητες ροές δεδομένων

Orthogonal frequency-division multiple access (OFDMA)

- Επεκτείνει την τεχνολογία του OFDM ώστε να παράγει στο downlink ένα σχήμα πολλαπλής πρόσβασης με μεγάλο βαθμό ελευθερίας
- Οι υποφέρουσες ομαδοποιούνται σε resource blocks (12 subcarriers)
- Τα resource blocks (RB) έχουν μέγεθος 180 kHz στο πεδίο της συχνότητας και 0.5 ms στο πεδίο του χρόνου

Resource blocks (1/2)

- Ο αριθμός των RB εξαρτάται από το διαθέσιμο φάσμα
- Σε κάθε χρήστη ανατίθεται ένας αριθμός από RB
- Όσο περισσότερα RB/χρήστη και όσο ανώτερος ο τύπος διαμόρφωσης, τόσο μεγαλύτερος ο ρυθμός μετάδοσης
- Την ανάθεση των RB στους χρήστες αναλαμβάνει ένα σύνολο μηχανισμών χρονοπρογραμματισμού

Resource blocks (2/2)

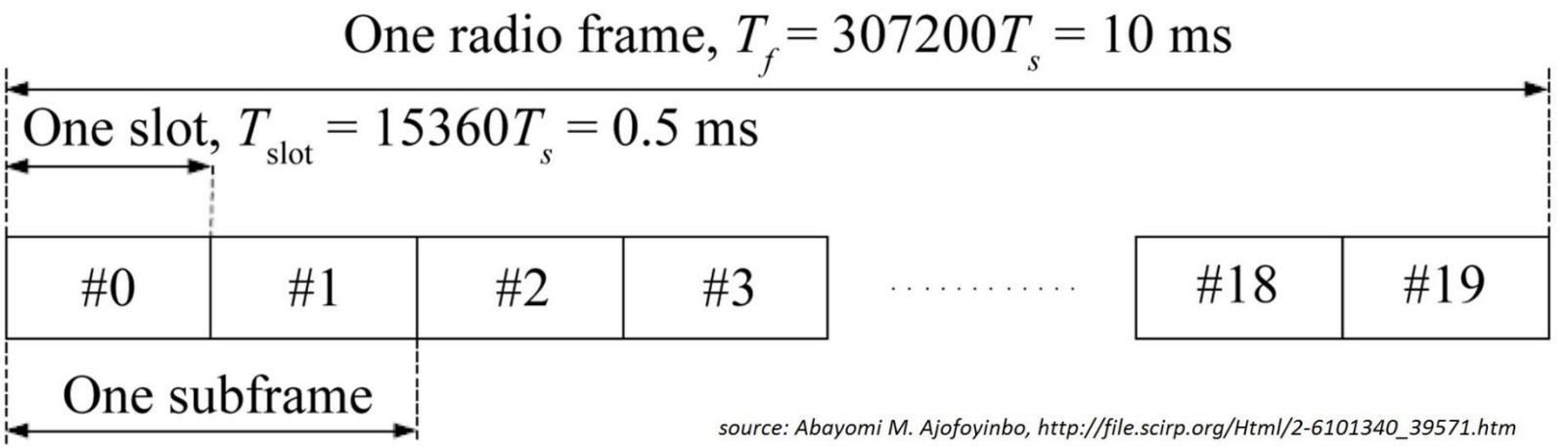
Εύρος φάσματος (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
Resource blocks	6	15	25	50	75	100

Αριθμός διαθέσιμων resource blocks ανά διαθέσιμο φάσμα

LTE Frame (1/2)

- Το πεδίο του χρόνου στο LTE χωρίζεται σε frames
- Κάθε frame έχει διάρκεια 10 ms και χωρίζεται σε 10 subframes των 1 ms
- Το μισό subframe (0.5 ms) ονομάζεται slot και στο FDD (frequency division duplex) αποτελείται από σύμβολα
- Κάθε slot μπορεί να περιέχει 7 σύμβολα (normal cyclic prefix) ή 6 σύμβολα (Extended Cyclic Prefix)
- Στο TDD (time division duplex) κάθε subframe ανατίθεται για uplink, downlink ή απαραίτητη σηματοδοσία ελέγχου

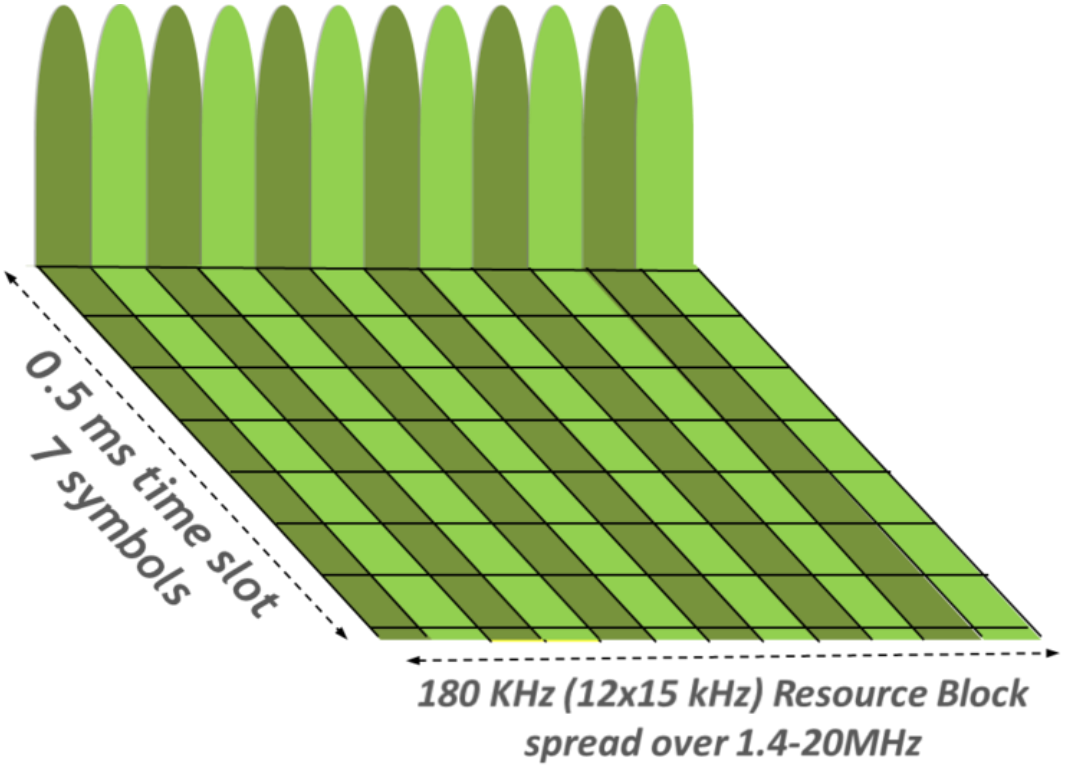
LTE frame (2/2)



source: Abayomi M. Ajofoyinbo, http://file.scirp.org/Html/2-6101340_39571.htm

LTE frame

Resource block στο χρόνο και τη συχνότητα



Το resource block στο χρόνο και τη συχνότητα

(πηγή: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Resource-Block_LTE_OFDMA.png)

Πλεονεκτήματα OFDMA

- Παρέχει μεγάλη ευρωστία απέναντι σε φαινόμενα channel selectivity χωρίς μεγάλη πολυπλοκότητα
- Παρέχει πρόσβαση στο πεδίο της συχνότητας, προσφέροντας μεγαλύτερη ευελιξία στους χρονοπρογραμματιστές
- Επιτρέπει τη χρήση τεχνικών επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων για την αποφυγή παρεμβολών
- Διευκολύνεται η λειτουργία σε διαφορετικά εύρη φάσματος, απλοποιώντας την ανάπτυξη και υλοποίηση των τερματικών

Uplink - SCFDMA

- Μειονέκτημα της OFDMA είναι το υψηλό Peak to Average Power Ratio (PAPR)
- Το υψηλό PAPR απαιτεί ακριβούς και μη αποδοτικούς ενισχυτές ισχύος, που στο uplink σημαίνει τερματικά υψηλού κόστους με μικρή διάρκεια μπαταρίας
- Λύση αποτέλεσε η τεχνολογία Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA), που έχει πολλά κοινά με την OFDMA
- Παρέχει υποδεέστερες επιδόσεις σε σχέση με αυτές του downlink αλλά πετυχαίνει χαμηλότερο PAPR
- Παράλληλα διατηρείται ένας βαθμός ομοιότητας μεταξύ των τεχνολογιών του uplink και του downlink

Channel-Dependent Scheduling and Rate Adaptation

- Το LTE διαμοιράζει το κανάλι μέσω της δυναμικής ανάθεσης πόρων στα πεδία χρόνου και συχνότητας
- Αυτό ταιριάζει στην συχνή μεταβολή των απαιτήσεων πόρων από τους χρήστες
- Ο χρονοπρογραμματιστής ελέγχει σε κάθε χρονική στιγμή σε ποιους χρήστες θα αναθέσει πόρους αποφασίζοντας το ρυθμό δεδομένων
- Για μέγιστη απόδοση, ο μηχανισμός λαμβάνει υπόψη την κατάσταση του καναλιού αναθέτοντας περισσότερους πόρους στους χρήστες με καλύτερη κατάσταση καναλιού

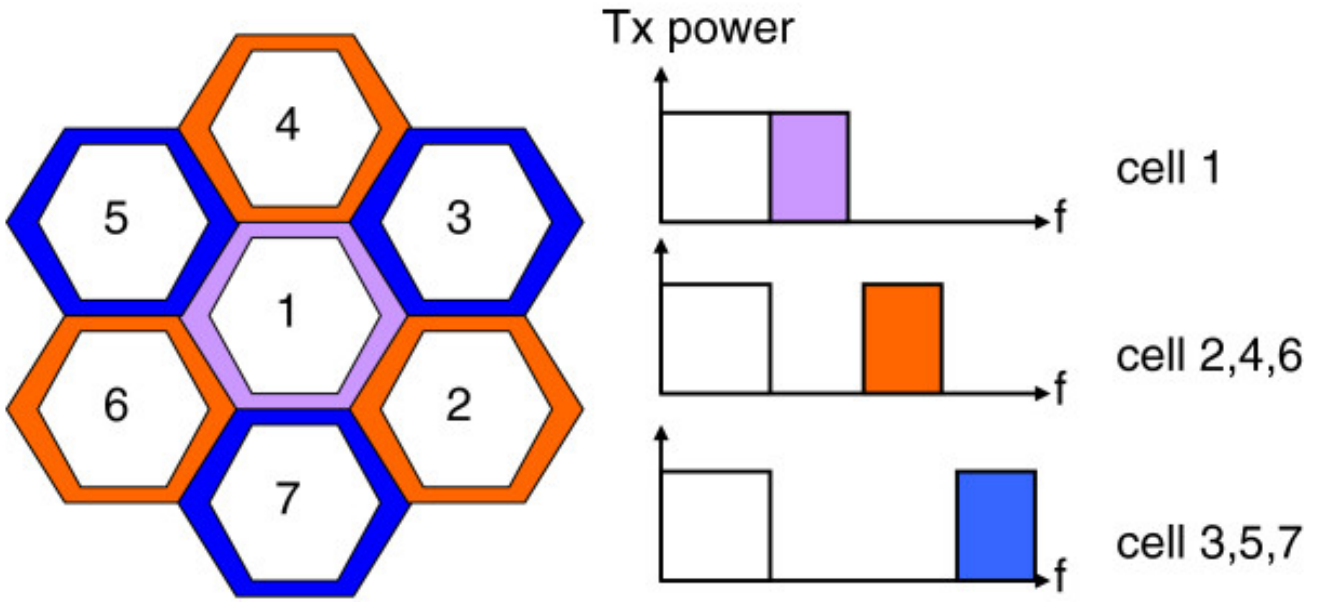
Inter-Cell Interference Coordination - ICIC (1/2)

- Το LTE σχεδιάστηκε να λειτουργεί με επαναχρησιμοποίηση συχνότητας ανά κελί
- Αυτό σημαίνει πως οι ίδιοι πόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα σε γειτονικά κελιά
- Η πρόσβαση σε ολόκληρο το φάσμα προσφέρει μεγαλύτερη απόδοση συνολικά αλλά οδηγεί σε παρεμβολές σε χρήστες στα όρια της κυψέλης
- Για τη μείωση των παρεμβολών, μπορεί να υπάρξει συντονισμός μεταξύ των κελιών (ICIC), αποφεύγοντας τη ταυτόχρονη χρήση φάσματος από τερματικά στα άκρα γειτονικών κυψελών

Inter-Cell Interference Coordination - ICIC (2/2)

- Οι προδιαγραφές του LTE-A επιτρέπουν τρεις τύπους συντονισμού: το στατικό, το ημι-στατικό και το δυναμικό
  - Ο στατικός κατανέμει τους πόρους μία φορά βάση παρελθοντικών παρατηρήσεων και δεν υφίσταται ανακατανομή
  - Ο ημιστατικός εξετάζει περιοδικά για μεγάλες αλλαγές στις συνθήκες φόρτου, ώστε να αλλάξει, αν θεωρηθεί ωφέλιμο, τον υφιστάμενο καταμερισμό. Η περίοδος είναι της τάξης των ωρών
  - Στον δυναμικό συντονισμό, οι eNodeBs επικοινωνούν συνεχώς προκειμένου να προσαρμόζονται σε νέες συνθήκες

Εφαρμογή ICIC για αποφυγή παρεμβολών



An illustration of FFR.

Chen and Yuan *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking* 2012 **2012**:230
doi:10.1186/1687-1499-2012-230 http://jwcn.eurasipjournals.com/content/2012/1/230

Εφαρμογή ICIC για αποφυγή παρεμβολών στα άκρα των κυψελών

Hybrid ARQ with Soft Combining

- Επιτρέπει στο τερματικό την γρήγορη αίτηση αναμετάδοσης λανθασμένα λαμβανόμενων blocks
- Οι αναμεταδόσεις μπορεί να αιτηθούν άμεσα μετά από κάθε μετάδοση πακέτου, ελαχιστοποιώντας έτσι την επίδραση στην επίδοση του χρήστη
- Χρησιμοποιείται αυξανόμενος πλεονασμός, και ο δέκτης αποθηκεύει προσωρινά τα μαλακά bits ώστε να εκτελέσει soft combining μεταξύ των αποπειρών μετάδοσης

Τεχνολογία Πολλαπλών Κεραιών (1/3)

- Η χρήση τεχνολογιών πολλαπλών κεραιών (MIMO) επιτρέπει την εκμετάλλευση του χωρικού πεδίου σαν μία άλλη νέα διάσταση
- Αυτό αποκτά μεγάλη σημασία στην επιδίωξη για υψηλότερες φασματικές αποδόσεις
- Με τη χρήση πολλαπλών κεραιών η θεωρητικά επιτεύξιμη φασματική απόδοση κλιμακώνεται γραμμικά με το πλήθος των κεραιών

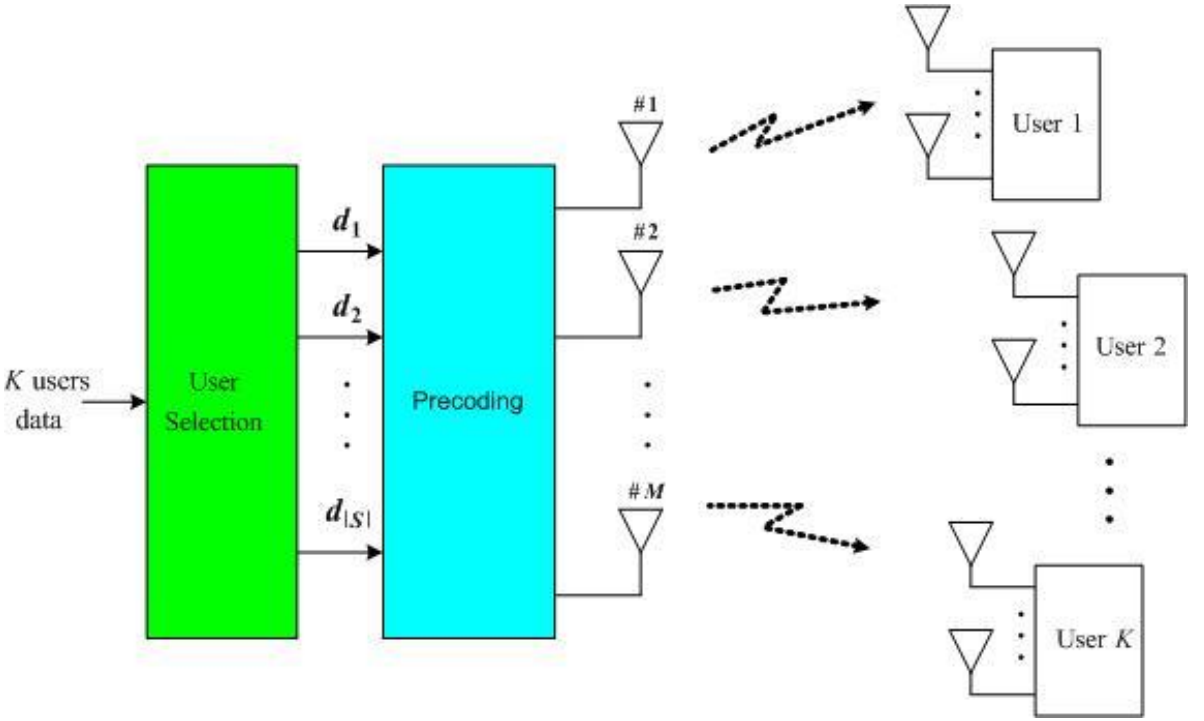
Τεχνολογία Πολλαπλών Κεραιών (2/3)

- Οι πολλαπλές κεραίες εισάγουν μεγάλη ποικιλία χαρακτηριστικών και μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διάφορους τρόπους, βάσει τριών θεμελιωδών αρχών:
  - Κέρδος ποικιλομορφίας
  - Κέρδος διάταξης
  - Κέρδος χωρικής πολυπλεξίας

Τεχνολογία Πολλαπλών Κεραιών (3/3)

- Κέρδος ποικιλομορφίας. Χρήση της χωρικής ποικιλομορφίας για να βελτιωθεί η ανθεκτικότητα της εκπομπής ως προς την εξασθένιση λόγω πολυδιόδευσης
- Κέρδος διάταξης. Η συγκέντρωση της ενέργειας σε μία ή περισσότερες κατευθύνσεις. Αυτό επιτρέπει και την ταυτόχρονη εξυπηρέτηση πολλών χρηστών (multi-user MIMO)
- Κέρδος χωρικής πολυπλεξίας. Η μετάδοση πολλαπλών ροών σήματος σε ένα χρήστη σε πολλαπλά χωρικά επίπεδα μέσω συνδυασμού των διαθέσιμων κεραιών

Multi-user MIMO



Multi-user MIMO

(πηγή: http://en.wikipedia.org/wiki/Multi-user_MIMO#mediaviewer/File:Multiuser_mimo.jpg)

Multimedia Broadcast Multicast Services (MBMS)

- Στις υπηρεσίες MBMS τα ίδια δεδομένα μεταδίδονται σε πολλαπλούς χρήστες από πολλά διαφορετικά κελιά και όλοι οι χρήστες της συγκεκριμένης MBMS υπηρεσίας λαμβάνουν το ίδιο σήμα
- Στο LTE η υλοποίηση ονομάζεται eMBMS
- Προϋποθέτει καλή κάλυψη και μικρή κατανάλωση ισχύος των τερματικών
- Το πρώτο είναι ιδιαίτερα σημαντικό γιατί στο MBMS δεν μπορεί να γίνει προσαρμογή σύνδεσης σε ξεχωριστούς χρήστες, που σημαίνει ότι ο ρυθμός μετάδοσης εξαρτάται από την δυνατότητα λήψης του χειρότερου χρήστη

MBMS Single-Frequency Network (MBSFN)

- Όταν οι μεταδόσεις από διαφορετικά κελιά είναι συγχρονισμένες, το τερματικό μπορεί να θεωρήσει ότι η πηγή του σήματος είναι μοναδική
- Αυτή η λειτουργία ονομάζεται MBMS Single-Frequency Network (MBSFN)
- Προσφέρει αυξημένη ποιότητα σήματος, ειδικά στα όρια των κελιών που συμμετέχουν στο σχήμα
- Οδηγεί σε μειωμένες παρεμβολές σε ευάλωτες περιοχές
- Προσφέρει αυξημένο diversity, αφού η ίδια πληροφορία προέρχεται από διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές

Positioning

- Το positioning αναφέρεται στη δυνατότητα του RAN να εκτιμήσει την τοποθεσία των τερματικών
- Όταν τα τερματικά δεν έχουν δέκτη σήματος GPS η εύρεση τοποθεσίας γίνεται μέσω του RAN
- Η μέθοδος βασίζεται στην μέτρηση σημάτων αναφοράς που μεταδίδονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα και από διαφορετικές κυψέλες

Σύντομη ανασκόπηση

- LTE
  - Γενικά στοιχεία
  - Προδιαγραφές
  - Αρχιτεκτονική
  - Τεχνολογίες

Βιβλιογραφία (1/2)

- Σημειώσεις μαθήματος (Κεφάλαιο 7)
- Βιβλία:
  - Data and Computer Communications, William Stallings
  - 4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband, Dahlman E., Parkvall S., Skold J.
  - Long Term Evolution: 3GPP LTE Radio and Cellular Technology, Furht B., Ahson S.

Βιβλιογραφία (2/2)

- Links:
  - http://ru6.cti.gr/ru6/bouras/undergraduate-courses/euruzwnikes-texnologies?language=el (Δικτυακός τόπος μαθήματος)
  - http://www.3gpp.org/ (Δικτυακός τόπος του οργανισμού 3GPP)
  - http://www.3gpp.org/specifications/67-releases (Προδιαγραφές εκδόσεων LTE)
  - http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/100-the-evolved-packet-core (Ο δικτυακός τόπος του 3GPP για το Evolved Packet Core)

Ερωτήσεις

Τέλος Ενότητας

BY NC ND

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 2.0.

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Χρήστος Μπούρας 2017. «Ευρυζωνικές Τεχνολογίες. Κινητά Δίκτυα Επόμενης Γενιάς (Μέρος 1)». Έκδοση: 2.0. Πάτρα 2017. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: https://eclass.upatras.gr/courses/CEID1063/

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

[1] http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.