



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Συστήματα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Ενότητα 3: Κατανομή και εκχώρηση ασύρματων
πόρων - Πολλαπλή πρόσβαση

Νικόλαος Πασσάς

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Περιγραφή ενότητας

- Σχήματα κατανομής διαύλων ανά κυψέλη
 - Σταθερή κατανομή
 - Δυναμική κατανομή
 - Υβριδική κατανομή
- Δανεισμός διαύλων
- Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης
 - FDMA
 - TDMA
 - CDMA
- Ασύρματη χωρητικότητα κυψελωτών συστημάτων

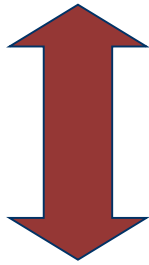


Κατανομή και εκχώρηση
ασύρματων πόρων - Πολλαπλή
πρόσβαση

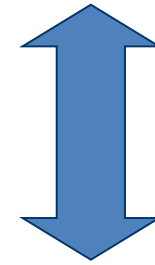
Εισαγωγή

Κατανομή διαύλων

Πολλαπλή πρόσβαση Εκχώρηση



Απόδοση φάσματος



Αποτελεσματική
χρησιμοποίηση του φάσματος
(βελτίωση χωρητικότητας)

Στόχοι: Ευελιξία, ποιότητα, χωρητικότητα



Κατανομή διαύλων - Διαίρεση φάσματος σε διαύλους

- Διαίρεση συχνότητας (FD)
- Διαίρεση χρόνου (TD)
- Διαίρεση κώδικα (CD)
- Συνδυασμός TD, FD, CD



Κατανομή διαύλων - Σχήματα κατανομής διαύλων ανά κυψέλη

- Σταθερή κατανομή (Fixed Channel Allocation, FCA)
- Δυναμική κατανομή (Dynamic Channel Allocation, DCA)
- Υβριδική κατανομή (Hybrid Channel Allocation, HCA)



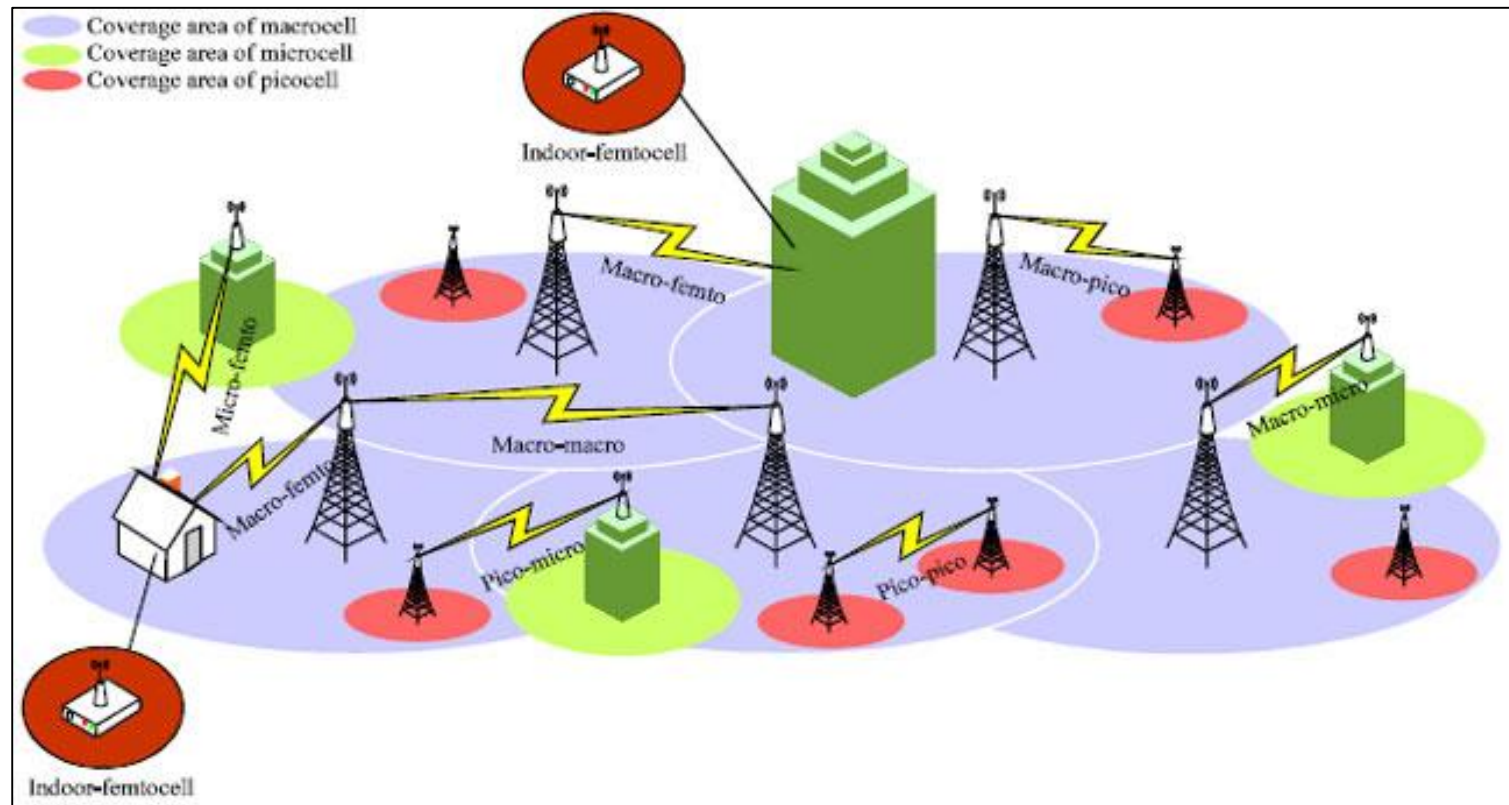
Κατανομή διαύλων – FCA (1)

- Ο ίδιος αριθμός διαύλων σε κάθε κυψέλη.
- Ομοιόμορφη κίνηση:
 - Πολύ καλή απόδοση
 - Ολική πιθανότητα αποκλεισμού = πιθανότητα ανά κυψέλη
- Μη ομοιόμορφη κίνηση:
 - Υψηλή πιθανότητα αποκλεισμού σε μερικές κυψέλες
 - Υποχρησιμοποίηση διαύλων σε άλλες κυψέλες
- Ακατάλληλη για μοντέρνα συστήματα μικροκυψελών (απρόβλεπτη κίνηση, πολλές μεταπομπές)
- Καλύτερη σε μεγάλες κυψέλες



Κατανομή διαύλων

FCA – Ακατάλληλη στα σύγχρονα δίκτυα



Εικόνα 1.

Κατανομή διαύλων – FCA (2)

- Με μικροκυψέλες και πικοκυψέλες η FCA καταλήγει να είναι ακατάλληλη:
 - Δύσκολος προγραμματισμός
 - Δεν υπάρχει ευελιξία για αναδιάταξη
 - Δεν μπορεί να χειρίζεται απρόβλεπτη κίνηση
 - Δεν παρέχει εύρος ζώνης σύμφωνα με τη ζήτηση (πολυμέσα)



Κατανομή διαύλων – DCA (1)

- Όχι σταθερή σχέση μεταξύ διαύλων και κυψελών.
- Ένας δίαυλος μπορεί να επιλεγεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε κυψέλη, εφόσον ικανοποιούνται οι περιορισμοί των παρεμβολών.
- Μεγαλύτερο κόστος και μεγαλύτερη πολυπλοκότητα.
- Επειδή μπορεί να υπάρχουν περισσότεροι του ενός ελεύθεροι δίαυλοι \Rightarrow εφαρμογή κάποιας στρατηγικής για την επιλογή του διαύλου που θα εκχωρηθεί.



Κατανομή διαύλων – DCA (2)

- Κύρια ιδέα στα σχήματα DCA
 - Ο υπολογισμός του κόστους χρησιμοποίησης κάθε υποψήφιου διαύλου και η επιλογή εκείνου με το μικρότερο κόστος, εφόσον ικανοποιούνται οι περιορισμοί για τις παρεμβολές.
- **Η επιλογή της συνάρτησης κόστους είναι εκείνη που διαφοροποιεί τα διάφορα σχήματα DCA**
 - Πιθανότητα αποκλεισμού κλήσης
 - Χρησιμοποίηση διαύλου
 - Απόσταση επαναχρησιμοποίησης



Κατανομή διαύλων – DCA (3)

- Ανάλογα με τον βαθμό προγραμματισμού και την επικοινωνία μεταξύ των σταθμών βάσης, διακρίνουμε:
- **Κεντρική DCA**
 - Απαιτείται κεντρικός έλεγχος με πληροφορίες που φθάνουν από όλο το σύστημα.
 - Αποδοτική αλλά ανέφικτη πρακτικά (σηματοδοσία, επεξεργασία)
- **Αποκεντρωμένη DCA**
 - Δεν απαιτείται προγραμματισμός ή επικοινωνία με όλους τους σταθμούς βάσης.
 - Μειονεκτήματα: διακοπή εξυπηρέτησης, αδιέξοδα, αστάθεια.



Κεντρική DCA (1)

Μέγιστη ομαδοποίηση

- Μια κλήση αποκλείεται μόνο όταν δεν μπορεί να γίνει ανακατανομή των κλήσεων σε όλους τους διαύλους του συστήματος, ώστε να εξυπηρετηθεί.



$$G_1=(1,2,3), \quad G_2=(2,3,4), \quad G_3=(3,4,5) \quad K=3$$



Κεντρική DCA (2)

Αλγόριθμος MAXMIN

- Εκχωρείται στο κινητό τερματικό ο δίαυλος που μεγιστοποιεί τον ελάχιστο λόγο S/I , ο οποίος εμφανίζεται σε οποιοδήποτε κινητό τερματικό του συστήματος που χρησιμοποιεί τον υπόψη δίαυλο την ώρα της εκχώρησης.

$$\frac{S}{I}(d_i)_{(dB)} = P_r(d_i)_{(dB)} - 10 \log_{10} \sum_{k \in I} 10^{P_r(d_k)_{(dB)}/10}$$

$$\max_{j \in C} \min_{i \in S} \left\{ \frac{S}{I}(d_i) \right\}$$



Αποκεντρωμένη DCA (1)

- Ανταλλαγή πληροφοριών στη γειτονιά παρεμβολής κάθε σταθμού βάσης.
- Επιτρέπεται σε κάποιον σταθμό βάσης να χρησιμοποιήσει κάποιον δίαυλο που είναι διαθέσιμος και δεν χρησιμοποιείται στη γειτονιά παρεμβολής του σταθμού βάσης.



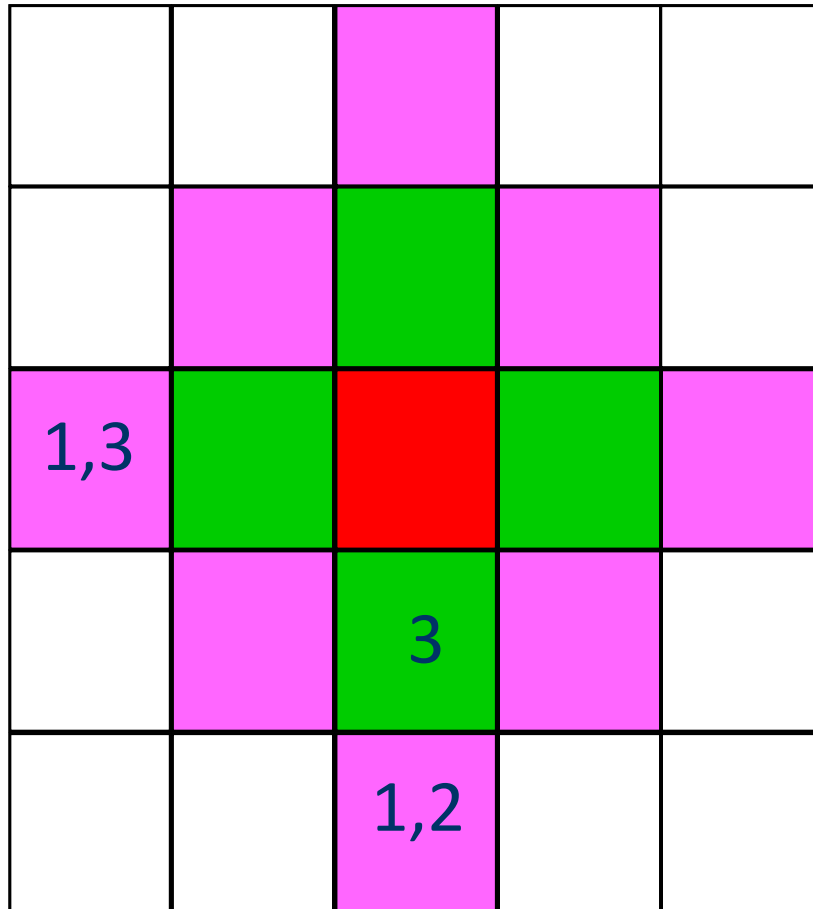
Αποκεντρωμένη DCA (2)

- Τέσσερις βασικοί αλγόριθμοι:
 - Πρώτος διαθέσιμος δίαυλος (First Available, FA)
 - Πλησιέστερος γειτονικός (Nearest Neighbor, NN)*
 - Πλησιέστερος γειτονικός + 1 (NN+1)
 - Μέσου τετραγώνου (Mean Square, MSQ)

* αποδοτικότερος



Αποκεντρωμένη DCA - Δυναμική απόκτηση πόρων



Συνάρτηση κόστους

Ραδιοδιάυλος 1: 2




Ραδιοδιάυλος 2: 1

Ραδιοδιάυλος 3: αποκλείεται

Συνάρτηση ανταμοιβής

Ραδιοδιάυλος 1: 2

Ραδιοδιάυλος 2: 1

-  Δοθείσα κυψέλη
-  Γειτονιά παρεμβολής
-  Γειτονιά DRA



Πλήρως αποκεντρωμένη DCA

- Αυτοπροσαρμοζόμενη κατανομή διαύλων
- Ο αλγόριθμος εκχώρησης εκτελείται κλήση προς κλήση.
- Επιλογή διαύλου με τις λιγότερες παρεμβολές για κάθε νέα κλήση
- Απαιτούνται εξελιγμένοι μηχανισμοί ελέγχου ισχύος για μείωση των ομοδιαυλικών παρεμβολών

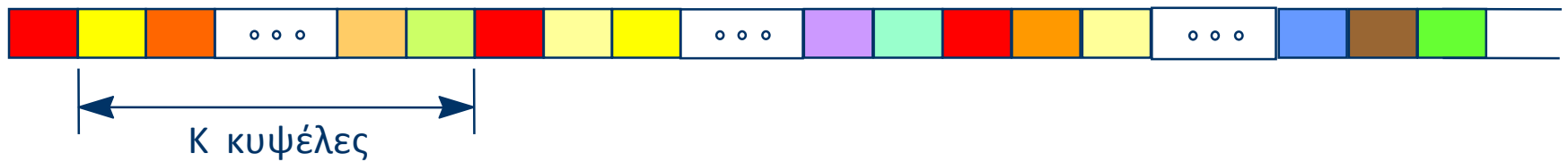


Παράδειγμα 5.2 (1)

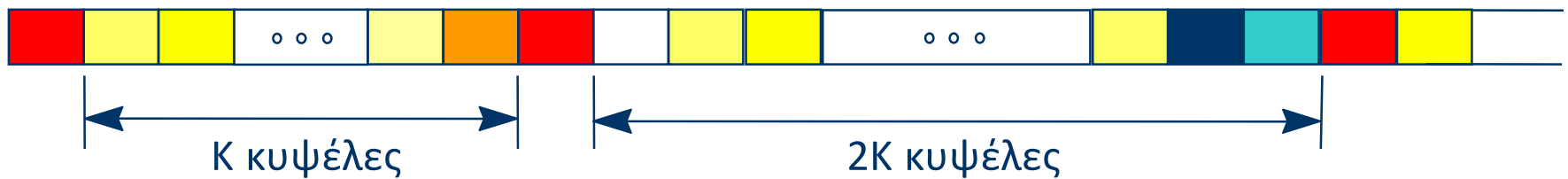
- Σε γραμμικό κυψελωτό σύστημα με πλήρως αποκεντρωμένη DCA, ο δίαυλος που χρησιμοποιείται σε μια κυψέλη δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε K διαδοχικές κυψέλες εκατέρωθεν της υπόψη κυψέλης. Υπάρχει κορεσμός για κάποιον δίαυλο, όταν δεν υπάρχουν επιπλέον κυψέλες που μπορούν να τον χρησιμοποιήσουν χωρίς να καταστρατηγείται ο περιορισμός της ομοδιαυλικής παρεμβολής.
- Να βρεθεί η μέγιστη και ελάχιστη πυκνότητα κορεσμού των χρησιμοποιούμενων διαύλων.



Παράδειγμα 5.2 (2)



$$\rho_{\max} = \frac{1}{K + 1}$$



Υβριδική κατανομή διαύλων

- Μίγμα FCA και DCA.
- Ο συνολικός αριθμός διαύλων διαιρείται σε σταθερό και σε δυναμικό σύνολο.
- Η εκχώρηση διαύλου από το δυναμικό σύνολο ακολουθεί οποιαδήποτε από τις στρατηγικές DCA.
- Παράμετρος επίδοσης είναι ο λόγος σταθερών προς τους δυναμικούς διαύλους.
 - Βέλτιστος λόγος για μεγιστοποίηση απόδοσης.
 - Εξαρτάται από τη μεταβλητότητα της αναμενόμενης κίνησης.



Δανεισμός διαύλων

- **Βασική ιδέα:** η κυψέλη που εμφανίζει συμφόρηση μπορεί να δανειστεί ελεύθερους διαύλους από τις γειτονικές κυψέλες, με την προϋπόθεση ότι ο δανεισμός θα επιφέρει την ελάχιστη ζημιά στις γειτονικές κυψέλες.
- Ποιο εύκολη και οικονομική λύση από το DCA.
- **Αλγόριθμοι**
 - Απλού δανεισμού
 - Υβριδική εκχώρηση
 - Δανεισμού με διάταξη διαύλων
 - Διάταξη διαύλων και επανεκχώρηση
 - Δανεισμού με κατευθυντικό κλείδωμα



Απλός δανεισμός

- Η κυψέλη που εμφανίζει συμφόρηση δανείζεται ένα δίαυλο από τις γειτονικές κυψέλες, δημιουργώντας ελάχιστη παρεμβολή στις εξυπηρετούμενες κλήσεις.
- **Ο δίαυλος «κλειδώνεται»** και δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε απόσταση μικρότερη από την απόσταση ομοδιαυλικής παρεμβολής.
- Αποδοτικό σε συνθήκες μέτριας ανομοιόμορφης κίνησης
- Σε υψηλή κίνηση λιγότερο αποδοτικό από την FCA λόγω μεγαλύτερης απόστασης ομοδιαυλικής παρεμβολής.
- **Υβριδική εκχώρηση:** Περιορισμός δανειζόμενων διαύλων.

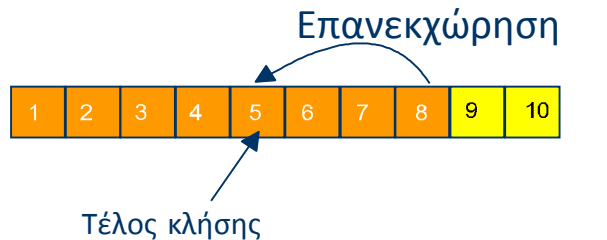


Δανεισμός με διάταξη διαύλων

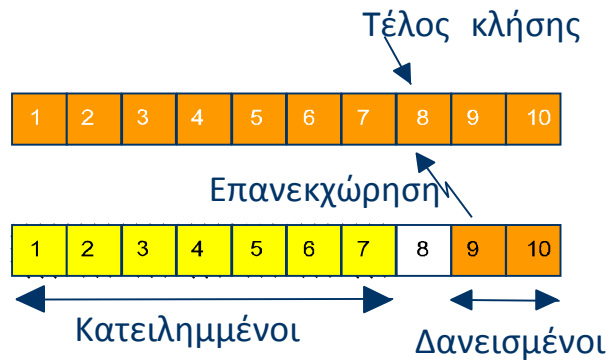
- Οι διάυλοι κάθε κυψέλης είναι διατεταγμένοι με βάση την πιθανότητα δανεισμού τους.
- Μια **τοπική κλήση** λαμβάνει το διάυλο με την **μικρότερη πιθανότητα δανεισμού**
- Εάν σε μια κυψέλη δεν υπάρχει διαθέσιμος διάυλος, **δανείζεται** από τις γειτονικές το διάυλο με τη **μεγαλύτερη πιθανότητα δανεισμού**.
- Οι πιθανότητες μπορούν να προσδιορίζονται με διάφορες τεχνικές (π.χ. ομοδιαυλικής παρεμβολής).
- Όμοια με τον απλό δανεισμό κάθε διάυλος που δανείζεται κλειδώνεται.



Δανεισμός με διάταξη διαύλων και επανεκχώρηση



Δίαυλοι της θεωρούμενης κυψέλης



Κατειλημμένοι διάυλοι της θεωρούμενης κυψέλης

Δίαυλοι γειτονικής κυψέλης

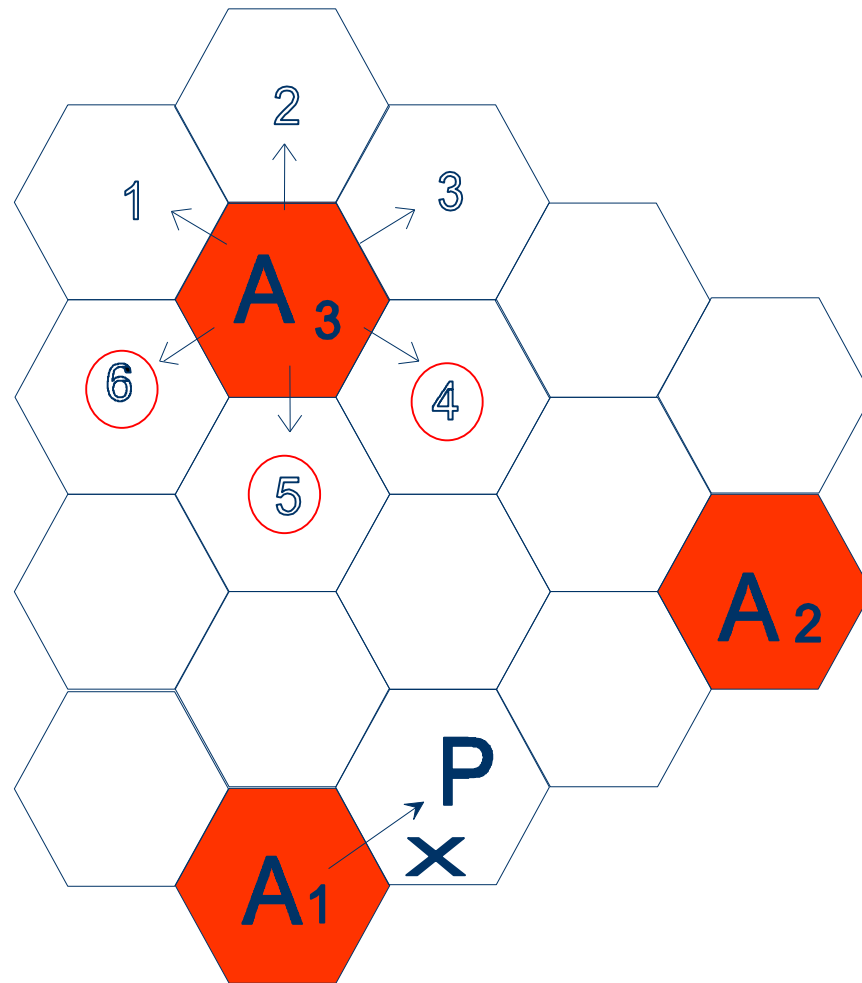


Κατειλημμένοι διάυλοι της θεωρούμενης κυψέλης

Δίαυλοι γειτονικής κυψέλης



Δανεισμός με κατευθυντικό κλείδωμα



Εικόνα 2.

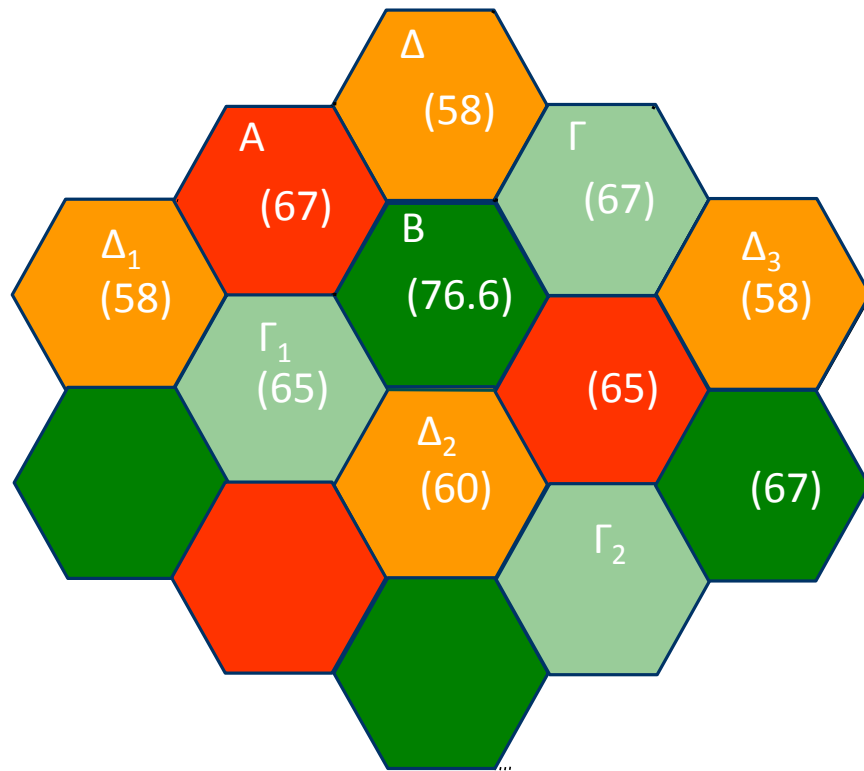


Αλγόριθμοι δανεισμού

- Πολύπλοκη διαχείριση του συστήματος.
 - Απαιτείται κατανεμημένη διαχείριση του συστήματος.
- Αυξημένο φορτίο σηματοδοσίας.
- Διάδοση του δανεισμού.



Παράδειγμα 5.3



$$C_{ολ} = 332$$

$$K = 4$$

$$GOS \leq 1\%$$

Δανεισμός με κλείδωμα

A) Πόσοι δίαυλοι $\Delta \rightarrow B$

B) Ποιες ομοδιαυλικές της Δ επηρεάζονται

Εικόνα 3.

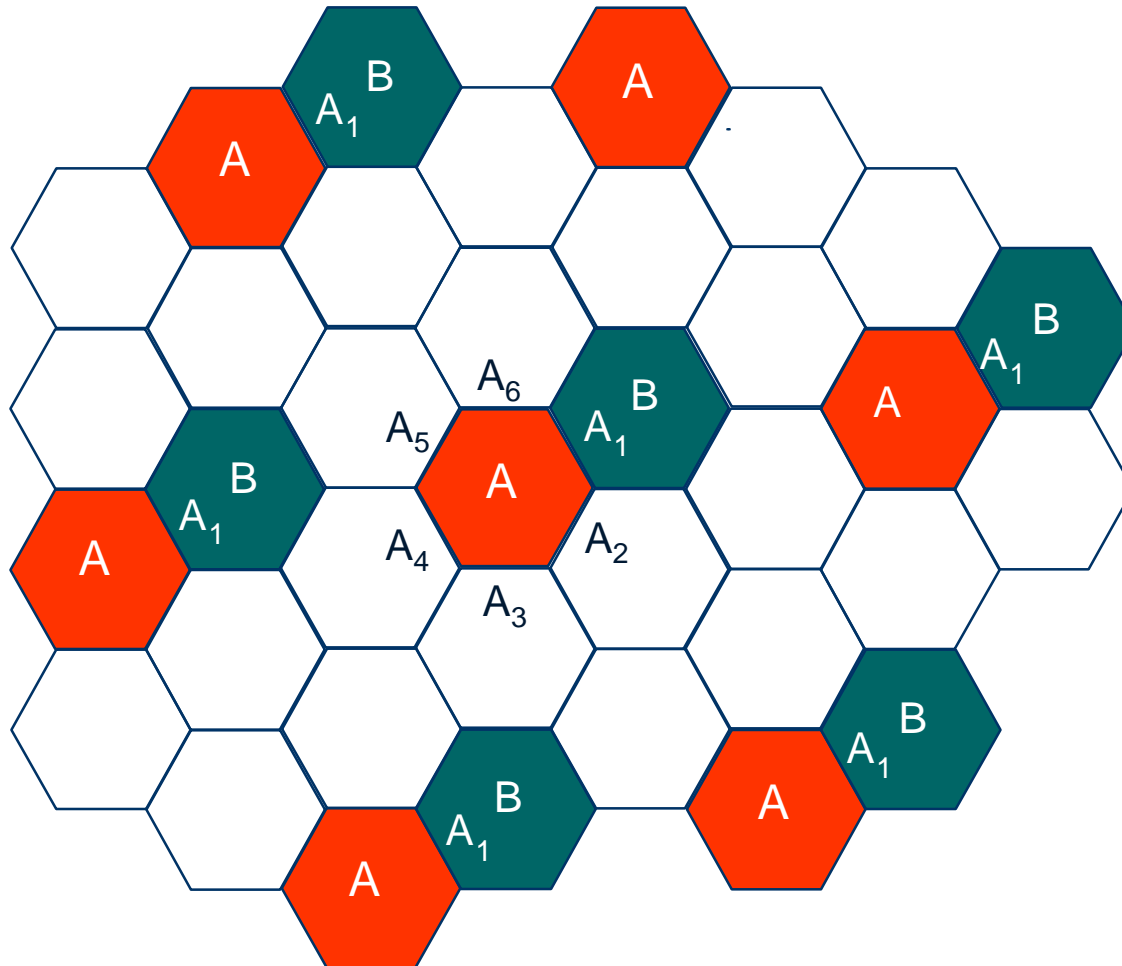
Υπολογισμός βαθμού εξυπηρέτησης – Erlang B

Προσφερόμενη κίνηση A (erlang)												
C	Πιθανότητα αποκλεισμού B (%)											
	0.01	0.05	0.1	0.5	1	2	5	10	15	20	30	40
51	29.63	32.09	33.33	36.85	38.80	41.19	45.53	50.64	55.19	59.75	69.88	82.65
52	30.40	32.90	34.15	37.72	39.70	42.12	46.53	51.73	56.35	60.99	71.31	84.32
53	31.17	33.70	34.98	38.60	40.60	43.06	47.53	52.81	57.50	62.22	72.73	85.98
54	31.94	34.51	35.80	39.47	41.51	44.00	48.54	53.89	58.66	63.46	74.15	87.65
55	32.72	35.32	36.63	40.35	42.41	44.94	49.54	54.98	59.82	64.70	75.58	89.31
56	33.49	36.13	37.46	41.23	43.32	45.88	50.54	56.06	60.98	65.94	77.00	90.97
57	34.27	36.95	38.29	42.11	44.22	46.82	51.55	57.14	62.14	67.18	78.43	92.64
58	35.05	37.76	39.12	42.99	45.13	47.76	52.55	58.23	63.31	68.42	79.85	94.30
59	35.84	38.58	39.96	43.87	46.04	48.70	53.56	59.32	64.47	69.66	81.27	95.97
60	36.62	39.40	40.80	44.76	46.95	49.64	54.57	60.40	65.63	70.90	82.70	97.63
61	37.41	40.22	41.63	45.64	47.86	50.59	55.57	61.49	66.79	72.14	84.12	99.30
62	38.20	41.05	42.47	46.53	48.77	51.53	56.58	62.58	67.95	73.38	85.55	101.0
63	38.99	41.87	43.31	47.42	49.69	52.48	57.59	63.66	69.11	74.63	86.97	102.6
64	39.78	42.70	44.16	48.31	50.60	53.43	58.60	64.75	70.28	75.87	88.40	104.3
65	40.58	43.52	45.00	49.20	51.52	54.38	59.61	65.84	71.44	77.11	89.82	106.0
66	41.38	44.35	45.85	50.09	52.44	55.33	60.62	66.93	72.60	78.35	91.25	107.6
67	42.17	45.18	46.69	50.98	53.35	56.28	61.63	68.02	73.77	79.59	92.67	109.3
68	42.97	46.02	47.54	51.87	54.27	57.23	62.64	69.11	74.93	80.83	94.10	111.0
69	43.77	46.85	48.39	52.77	55.19	58.18	63.65	70.20	76.09	82.08	95.52	112.6
70	44.58	47.68	49.24	53.66	56.11	59.13	64.67	71.29	77.26	83.32	96.95	114.3
71	45.38	48.52	50.09	54.56	57.03	60.08	65.68	72.38	78.42	84.56	98.37	116.0
72	46.19	49.36	50.94	55.46	57.96	61.04	66.69	73.47	79.59	85.80	99.80	117.6
73	47.00	50.20	51.80	56.35	58.88	61.99	67.71	74.56	80.75	87.05	101.2	119.3
74	47.81	51.04	52.65	57.25	59.80	62.95	68.72	75.65	81.92	88.29	102.7	120.9
75	48.62	51.88	53.51	58.15	60.73	63.90	69.74	76.74	83.08	89.53	104.1	122.6
76	49.43	52.72	54.37	59.05	61.65	64.86	70.75	77.83	84.25	90.78	105.5	124.3
77	50.24	53.56	55.23	59.96	62.58	65.81	71.77	78.93	85.41	92.02	106.9	125.9
78	51.05	54.41	56.09	60.86	63.51	66.77	72.79	80.02	86.58	93.26	108.4	127.6
79	51.87	55.25	56.95	61.76	64.43	67.73	73.80	81.11	87.74	94.51	109.8	129.3
80	52.69	56.10	57.81	62.67	65.36	68.69	74.82	82.20	88.91	95.75	111.2	130.9
81	53.51	56.95	58.67	63.57	66.29	69.65	75.84	83.30	90.08	96.99	112.6	132.6
82	54.33	57.80	59.54	64.48	67.22	70.61	76.86	84.39	91.24	98.24	114.1	134.3
83	55.15	58.65	60.40	65.39	68.15	71.57	77.87	85.48	92.41	99.48	115.5	135.9
84	55.97	59.50	61.27	66.29	69.08	72.53	78.89	86.58	93.58	100.7	116.9	137.6
85	56.79	60.35	62.14	67.20	70.02	73.49	79.91	87.67	94.74	102.0	118.3	139.3
86	57.62	61.21	63.00	68.11	70.95	74.45	80.93	88.77	95.91	103.2	119.8	140.9
87	58.44	62.06	63.87	69.02	71.88	75.42	81.95	89.86	97.08	104.5	121.2	142.6
88	59.27	62.92	64.74	69.93	72.82	76.38	82.97	90.96	98.25	105.7	122.6	144.3
89	60.10	63.77	65.61	70.84	73.75	77.34	83.99	92.05	99.41	107.0	124.0	145.9
90	60.92	64.63	66.48	71.76	74.68	78.31	85.01	93.15	100.6	108.2	125.5	147.6
91	61.75	65.49	67.36	72.67	75.62	79.27	86.04	94.24	101.8	109.4	126.9	149.3
92	62.58	66.35	68.23	73.58	76.56	80.24	87.06	95.34	102.9	110.7	128.3	150.9

Εικόνα 4.

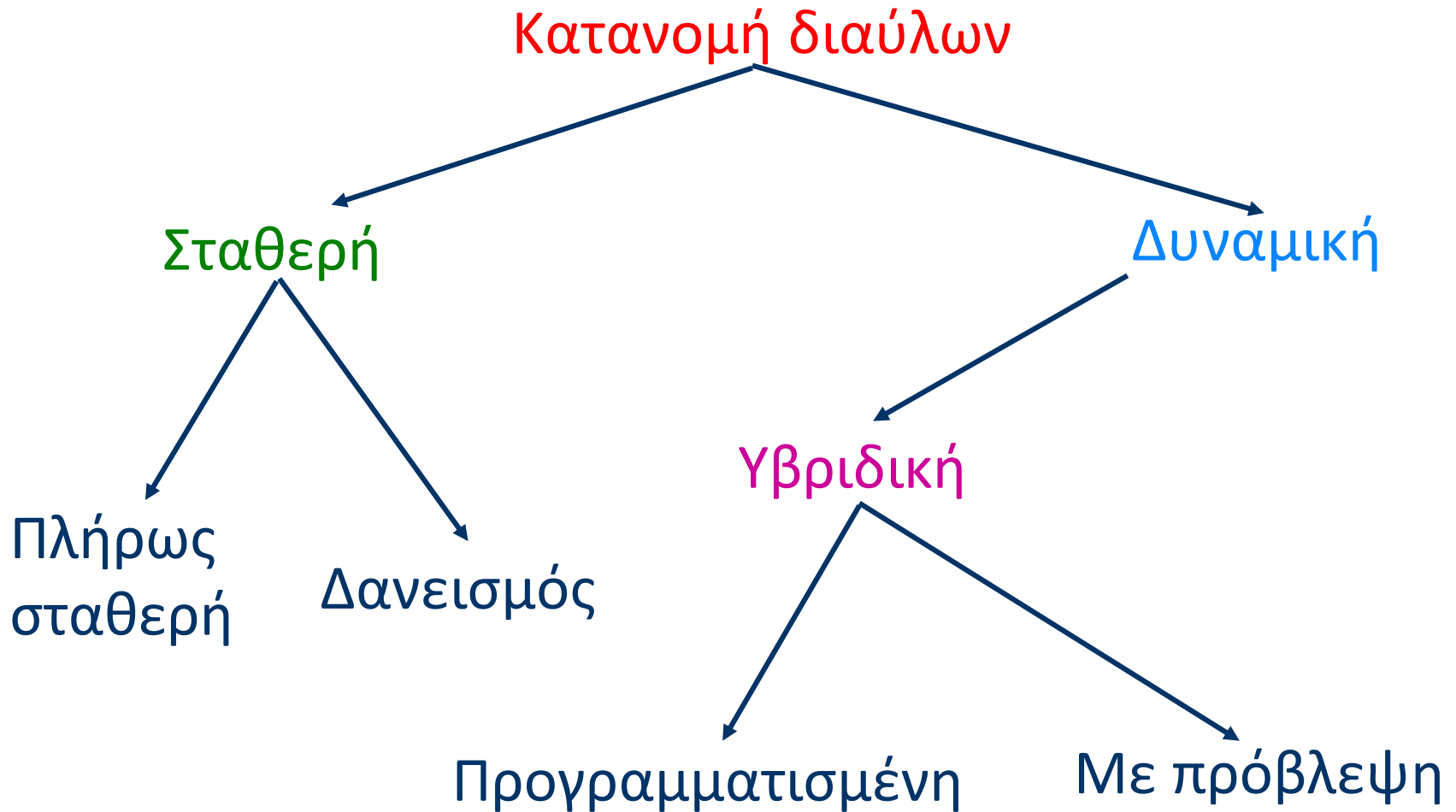


Αλγόριθμος δανεισμού χωρίς κλείδωμα



Εικόνα 5.

Ανακεφαλαίωση κατανομής διαύλων



Πολλαπλή πρόσβαση

- Παρέχει τα μέσα για την αποτελεσματική χρήση των πόρων που αντιστοιχούν σε κάθε κυψέλη.
- Μια καλή τεχνική πολλαπλής πρόσβασης μπορεί:
 - να βελτιώσει τη χωρητικότητα του συστήματος,
 - να ελαττώσει το κόστος του συστήματος,
 - να κάνει τις υπηρεσίες περισσότερο ελκυστικές προς τους χρήστες.
- Η εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας (QoS) βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στο πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης

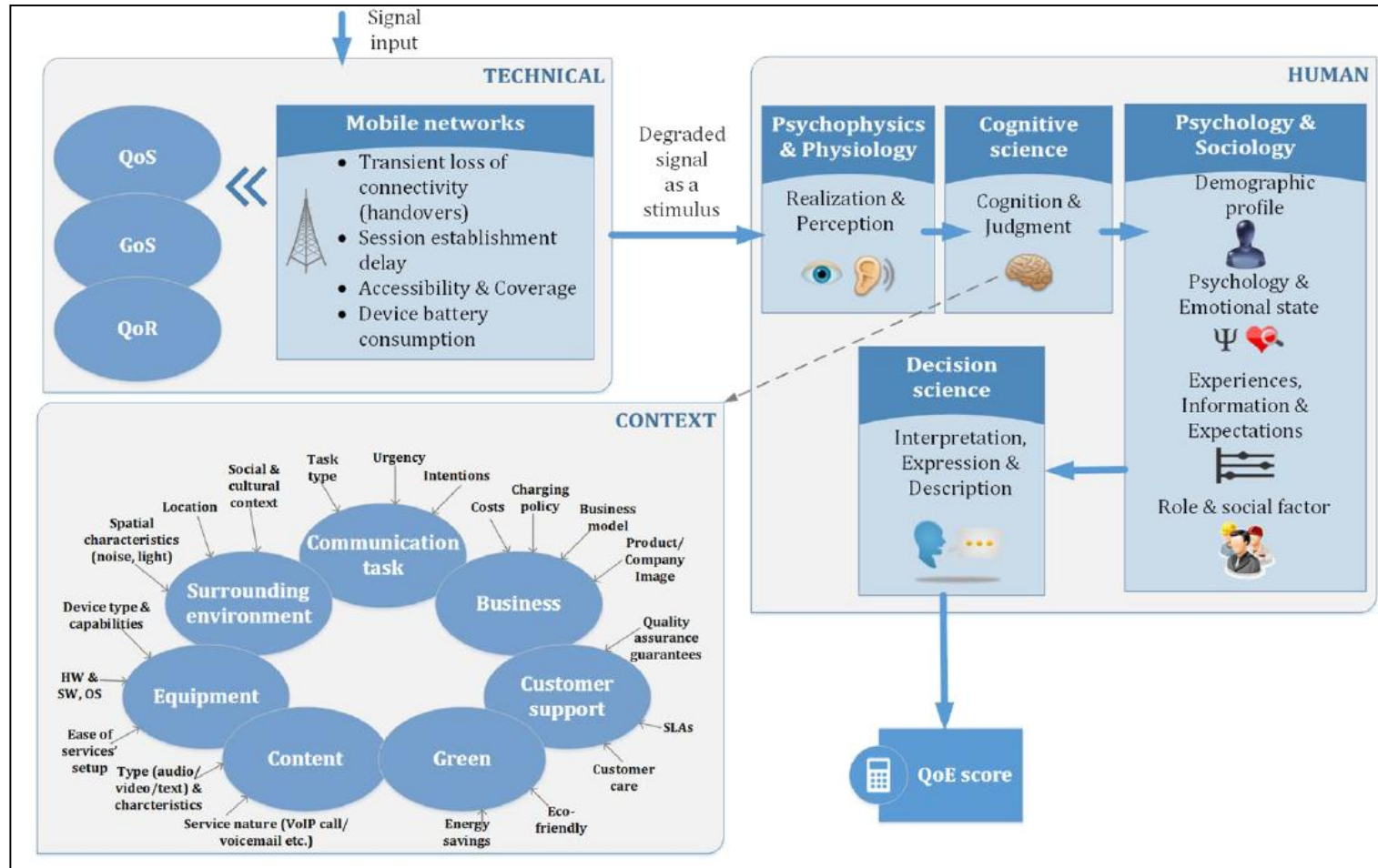


Εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας (1)

- Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality of Service – QoS): Η «**αποδοτική**» μετάδοση πληροφορίας που έχει σαν αποτέλεσμα την «**ικανοποιητική**» λειτουργία μιας δικτυακής εφαρμογής έτσι όπως την αντιλαμβάνεται ο χρήστης
- Τι σημαίνει «**ικανοποιητική**» λειτουργία; Είναι συχνά υποκειμενική και εξαρτάται από τις **προτιμήσεις** του χρήστη, αλλά και τις συγκεκριμένες **ανάγκες** του
- Συχνά αναφέρεται ως Ποιότητα εμπειρίας - **QoE: Quality of Experience**



Ποιότητα εμπειρίας – QoE (1)



Εικόνα 6.

Ποιότητα εμπειρίας – QoE (2)

Aspect	Quality Influence Factors	
Mobile networks	Vertical and horizontal handovers Battery consumption Session establishment delay	Accessibility Coverage
Service	Call setup success ratio Blocking probability Call setup time	Call cut-off ratio Availability & Reliability
Transport / Network	Round trip / one-way delay Jitter Packet loss ratio Delay burstiness distribution	Loss burstiness distribution Bottleneck bandwidth Congestion period
Physical	SNR / SIR / SINR Bit rate BLER Outage probability Packet / Symbol / Bit Error Probability Outage capacity	Ergodic capacity / rate Throughput Diversity order / coding gain Area spectral efficiency Energy efficiency

Εικόνα 7.



Εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας (2)

- Τι σημαίνει «**αποδοτική**» μετάδοση; Είναι η μετάδοση της κίνησης που ικανοποιεί συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (**παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας**), τα οποία εξάγονται με βάση την «**ικανοποιητική**» λειτουργία της δικτυακής εφαρμογής
- Τυπικές παράμετροι ποιότητας υπηρεσίας:
- μέση καθυστέρηση από άκρο σε άκρο (mean delay),
- μέγιστη καθυστέρηση από άκρο σε άκρο (maximum delay)
- μέγιστη επιτρεπτή διαφορά στην καθυστέρηση (delay jitter)
- μέσος ρυθμός απώλειας πακέτων (mean packet error rate)



Εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας (3)

- Ανάλογα με το είδος της κίνησης και τις ανάγκες ή προτιμήσεις του χρήστη προκύπτουν οι συγκεκριμένες παράμετροι ποιότητας υπηρεσίας (QoS parameters)
- Οι εφαρμογές **πραγματικού χρόνου** (φωνή, βίντεο) έχουν απαίτηση για **μικρή μέση και μέγιστη καθυστέρηση** (100-200msec end-to-end), αλλά έχουν κάποια ανοχή σε απώλειες πακέτων (π.χ., 10^{-2})
- Οι εφαρμογές **μη πραγματικού χρόνου** (email, file transfer) έχουν απαίτηση για **απολύτως σωστά δεδομένα** (ρυθμός απώλειας πακέτων ουσιαστικά μηδέν), αλλά έχουν μεγάλη ανοχή στην καθυστέρηση (π.χ., αρκετά δευτερόλεπτα).



Εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας (4)

- Οι τιμές των παραμέτρων «διαμοιράζονται» από τα ανώτερα επίπεδα σε τιμές ανά ζεύξη (link)
- Στόχος κάθε πρωτοκόλλου στο επίπεδο-2 (Data-Link) είναι να εξασφαλίζει τις τιμές των παραμέτρων αυτών για τη ζεύξη που αυτό ελέγχει.



Πολλαπλή πρόσβαση - Επίλυση του προβλήματος

- Αρχικά, επιλέγουμε μια **βασική τεχνολογία** για να διαχωρίσουμε την κίνηση που προέρχεται από διαφορετικούς χρήστες (τερματικά).
 - Μπορεί να είναι στο πεδίο του χρόνου ή στο πεδίο της συχνότητας.
- Στη συνέχεια, επιλέγουμε πώς να κατανέμουμε έναν περιορισμένο αριθμό πόρων μετάδοσης σε μεγαλύτερο σύνολο ανταγωνιζόμενων χρηστών.
- Η ύπαρξη σταθμού βάσης διευκολύνει την πολλαπλή πρόσβαση.



Πολλαπλή πρόσβαση - Βασικοί στόχοι στη σχεδίαση

- **Ευελιξία:** δυνατότητα εξυπηρέτησης ολοκληρωμένης κίνησης φωνής, δεδομένων και video και δυνατότητα αντιμετώπισης της μετακίνησης του τερματικού.
- **Ποιότητα:** ικανοποίηση των απαιτήσεων υπηρεσίας, όπως π.χ. είναι οι περιορισμοί καθυστέρησης και απώλειας πακέτων.
- **Χωρητικότητα:** μεγιστοποίηση του αριθμού των χρηστών που εξυπηρετούνται για το διατιθέμενο εύρος ζώνης συχνότητων.



Πολλαπλή πρόσβαση – Περιορισμοί (1)

- Έλλειψη φάσματος:
 - Δύσκολα βρίσκεται διαθέσιμο φάσμα,
 - Λίγες συχνότητες διατίθενται για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων,
 - Τα σχήματα πολλαπλής πρόσβασης πρέπει να μην σπαταλούν εύρος ζώνης.



Πολλαπλή πρόσβαση – Περιορισμοί (2)

- Χαρακτηριστικά των ραδιοζεύξεων:
 - Δεκτικές σε σφάλματα
 - Διαλείψεις
 - Παρεμβολές
 - Φαινόμενο σύλληψης
 - Το τερματικό με τη μεγαλύτερη ισχύ καλύπτει το άλλο.
 - Το τερματικό χαμηλής ισχύος μπορεί να μην έχει ποτέ τη δυνατότητα να ακουστεί.



Πολλαπλή πρόσβαση – Αμφιδρόμηση



Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης (1)

- Διαχωρισμός των δεδομένων των διαφόρων πηγών.
- Τέσσερις βασικές επιλογές:
 - Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (Frequency division multiple access, FDMA)
 - Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου (Time division multiple access, TDMA)
 - Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (Code division multiple access, CDMA)
 - Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χώρου (Space Division Multiple Access, SDMA)



Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης (2)

Κυψελωτό σύστημα	Τεχνική πολλαπλής πρόσβασης
Advanced Mobile Phone System (AMPS)	FDMA/FDD
Global System for Mobile (GSM)	TDMA/FDD
U.S. Digital Cellular (USDC)	TDMA/FDD
Japanese Digital Cellular (JDC)	TDMA/FDD
Cordless Telephone 2 (CT2)	FDMA/TDD
Digital European Cordless Telephone (DECT)	TDMA/TDD
U.S. Narrowband Spread Spectrum (IS-95)	CDMA/FDD
cdma2000	CDMA/FDD
UMTS (UTRA-FDD)	WCDMA/FDD
UMTS (UTRA-TDD)	WCDMA/TDD

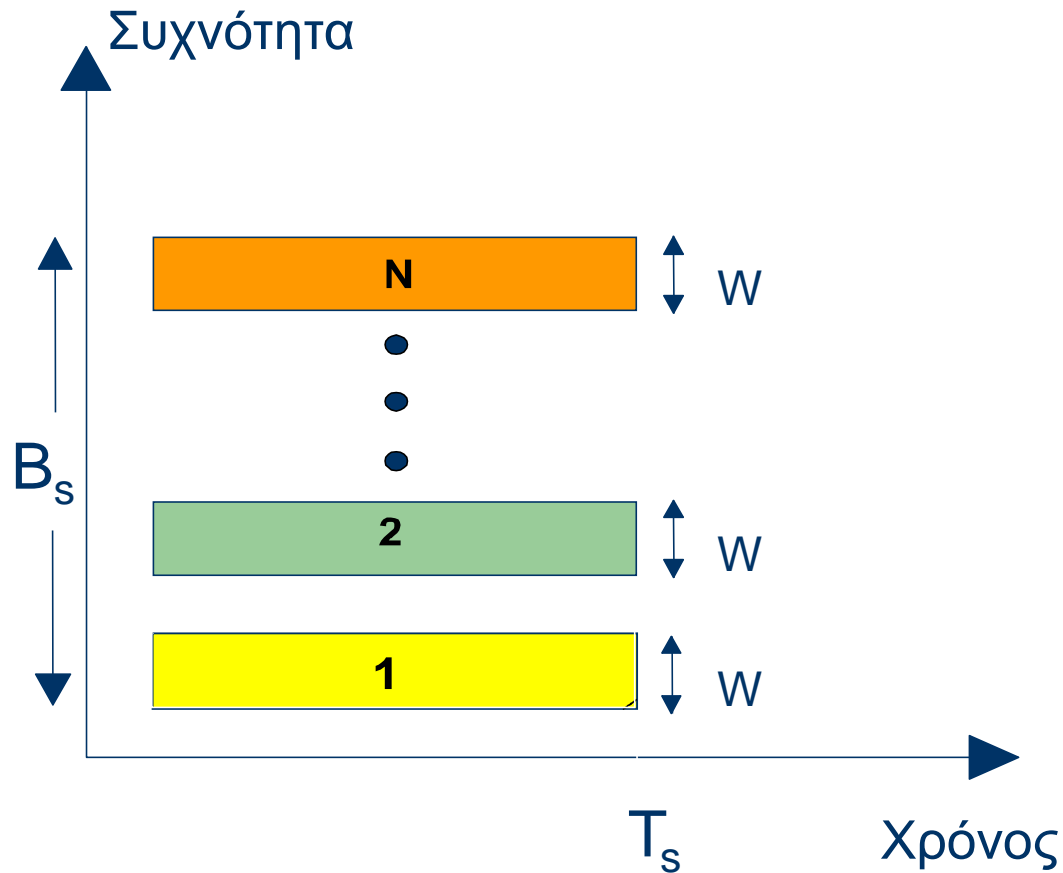


Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης – FDMA (1)

- Όλοι οι σταθμοί μεταδίδουν ταυτόχρονα, αλλά σε διαφορετικές συχνότητες.
- Ο αριθμός συχνοτήτων είναι περιορισμένος.
 - Κυψελωτή δομή, επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων
- Είναι πολύ απλή.
- Μειονεκτήματα:
 - Χαμηλή απόδοση φάσματος,
 - Ακατάλληλη για υπηρεσίες πολυμέσων,
 - Ακριβότεροι σταθμοί βάσης σε σχέση με την TDMA



Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης – FDMA (2)

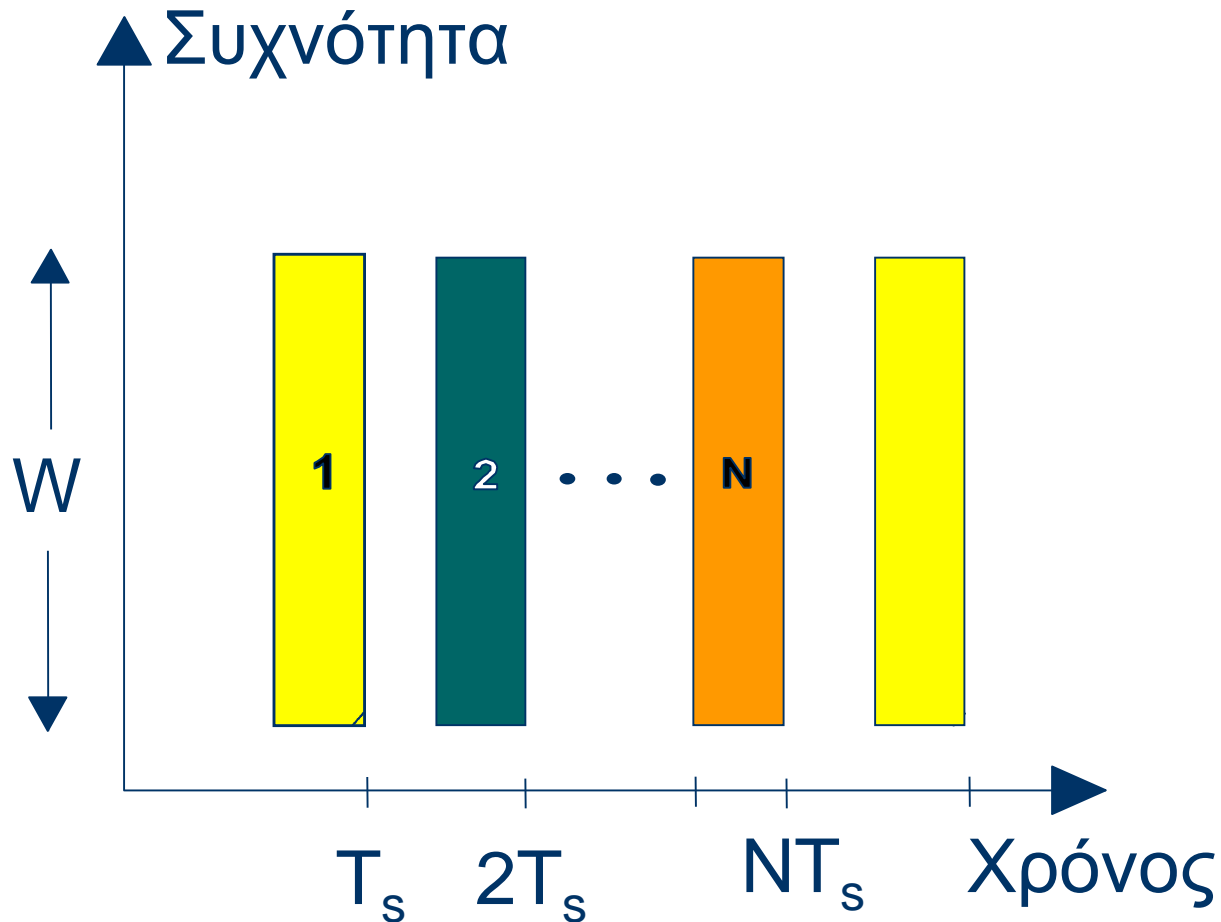


Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης – TDMA (1)

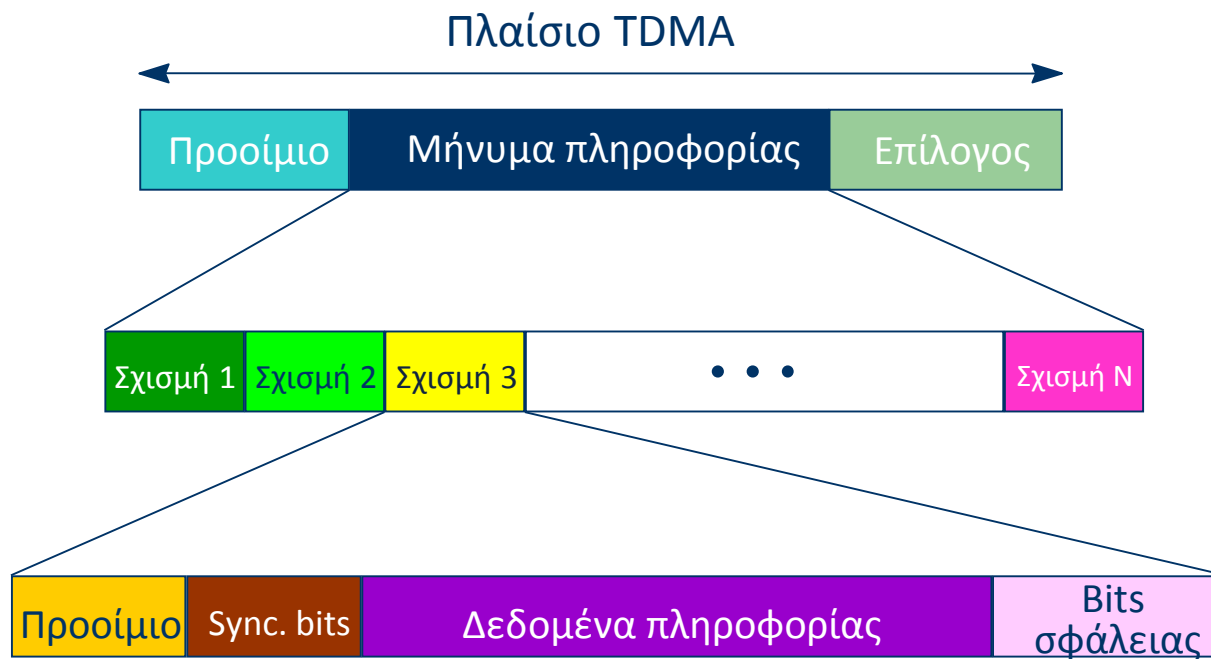
- λοι οι σταθμοί μεταδίδουν δεδομένα στην ίδια συχνότητα, αλλά σε διαφορετικούς χρόνους.
- Ανάγκη συγχρονισμού.
- Πλεονεκτήματα:
 - Μπορεί να δοθεί διαφορετικό εύρος ζώνης σε διαφορετικούς χρήστες,
 - Τα κινητά μπορεί να χρησιμοποιούν τους νεκρούς χρόνους για να καθορίσουν τον καλύτερο σταθμό βάσης,
 - Μπορεί να παραμείνουν κλειστά όταν δεν εκπέμπουν.
- Μειονεκτήματα:
 - Πλεονάζουσα πληροφορία για συγχρονισμό,
 - Κενά διαστήματα μεταξύ μεταδόσεων



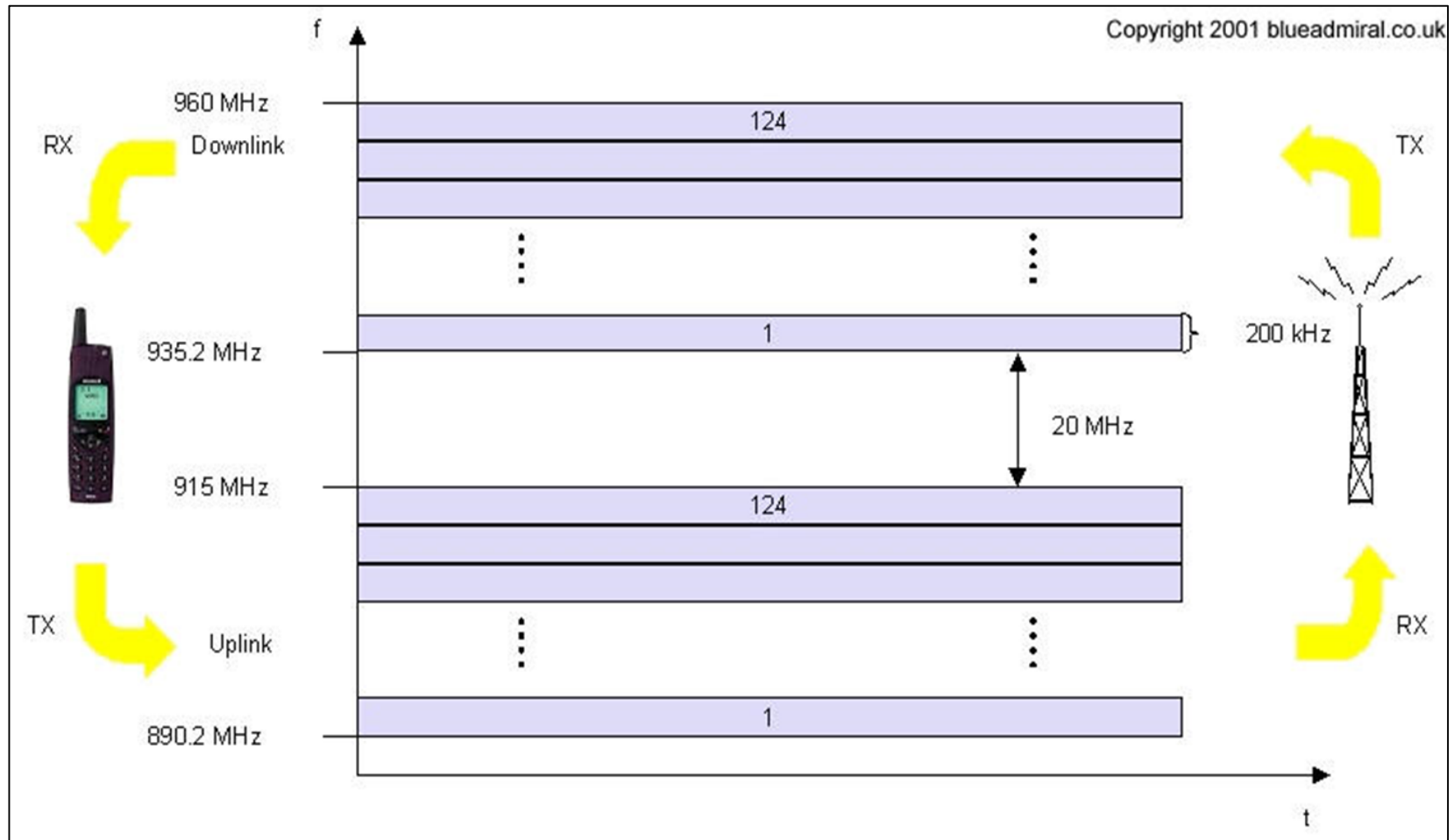
Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης – TDMA (2)



Δομή πλαισίου TDMA

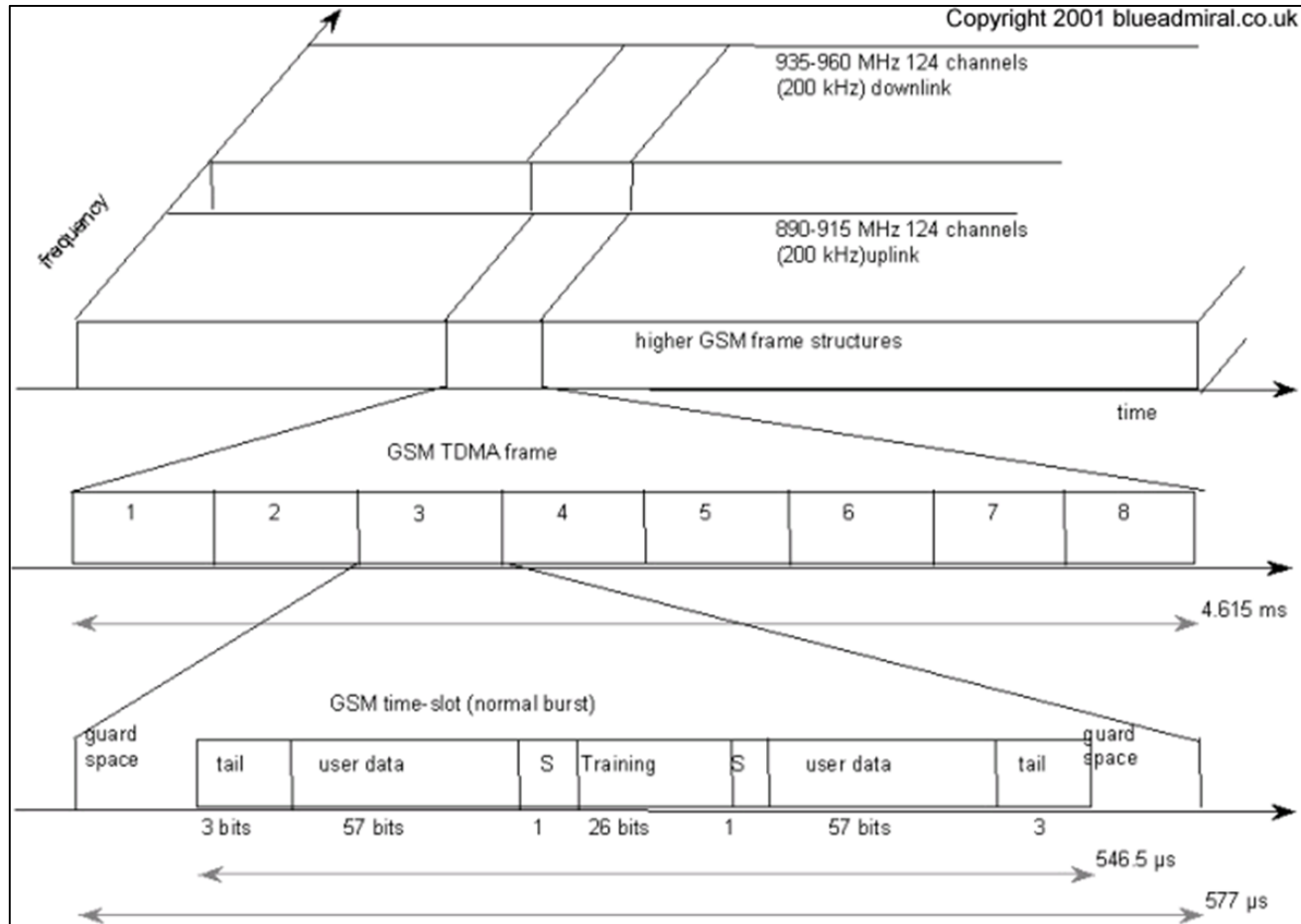


Πολλαπλή πρόσβαση στο GSM



Εικόνα 8.

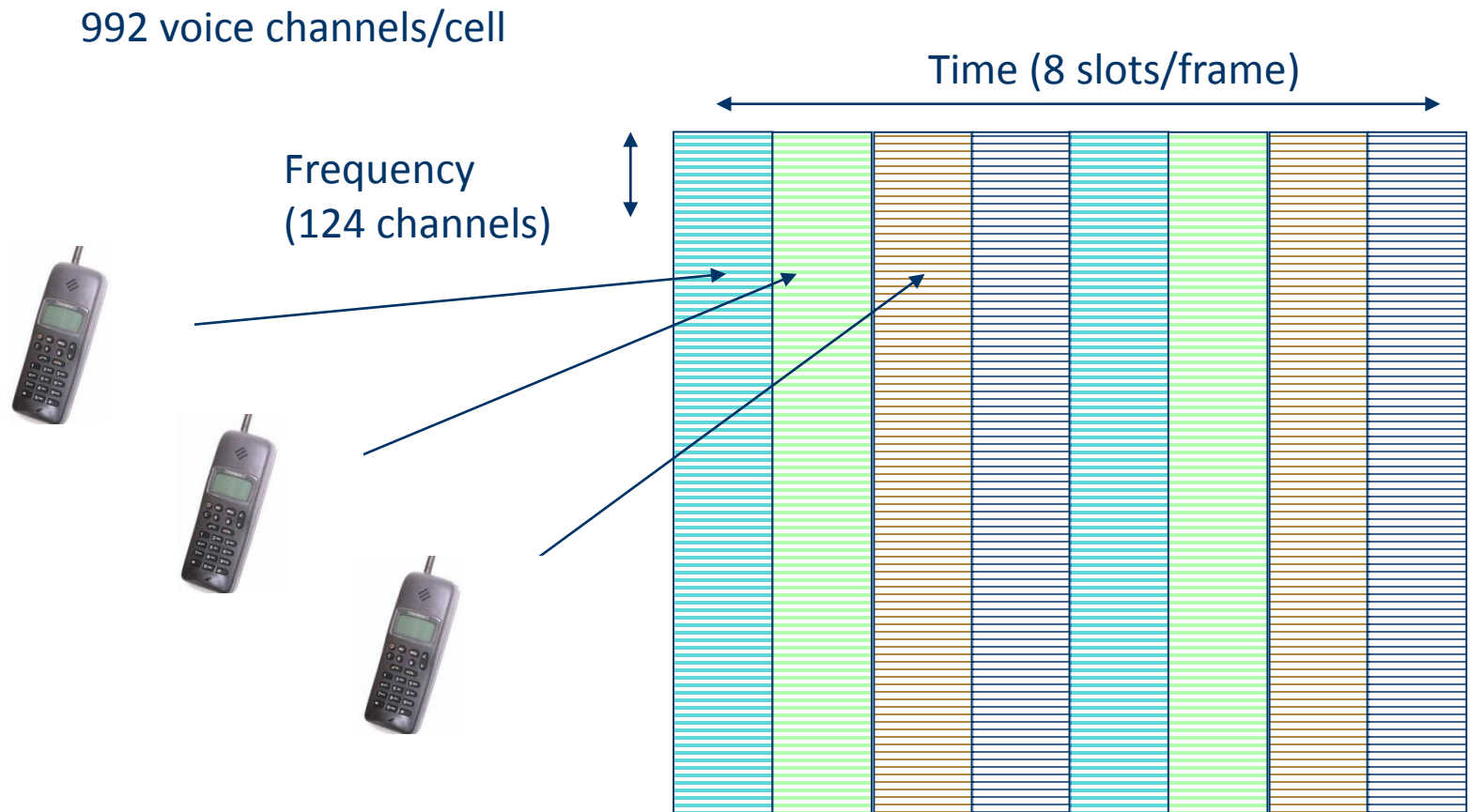
GSM resource allocation



Εικόνα 9.

GSM System – Multiple Access

- Time Division Multiple Access (TDMA)

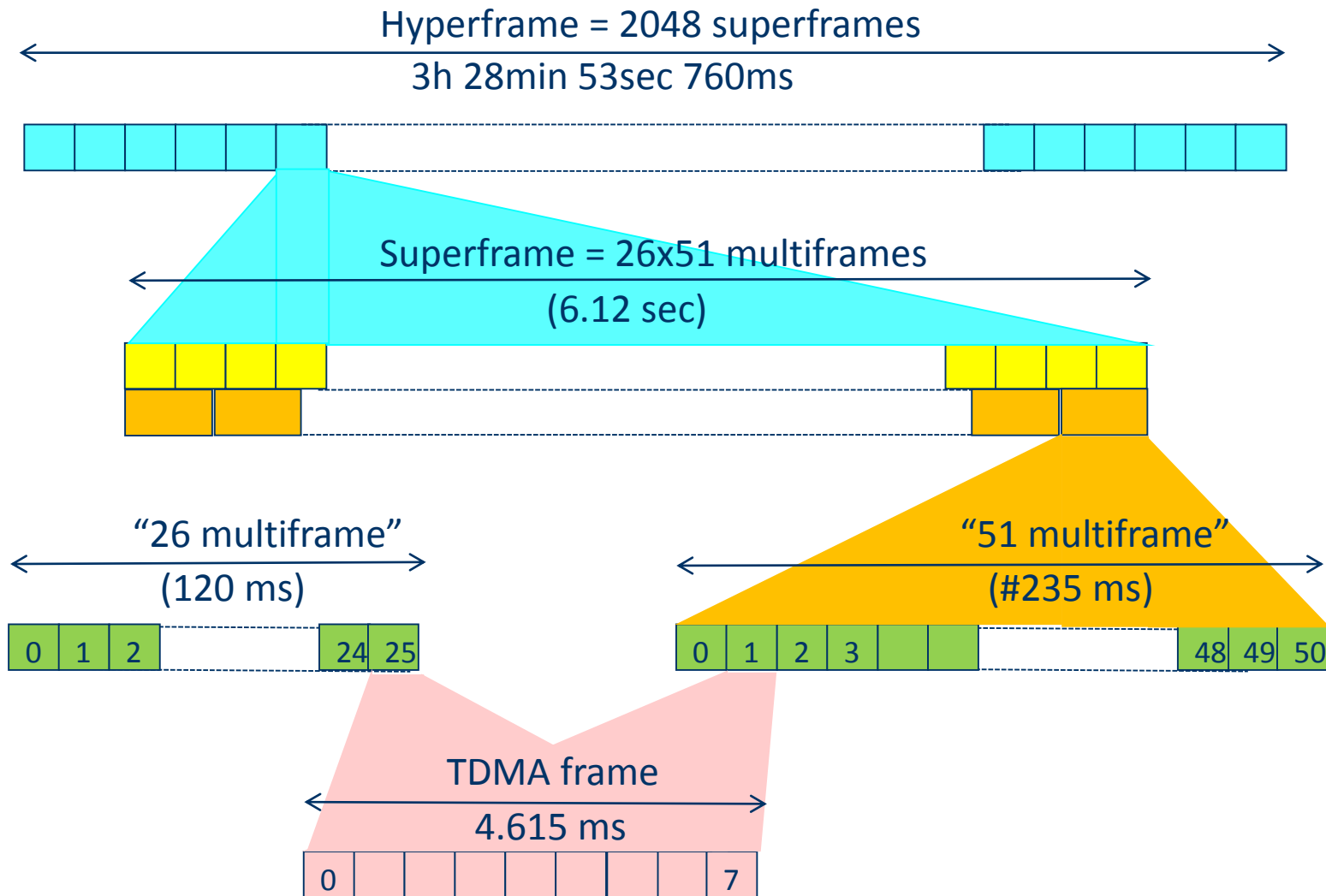


TDMA - Παράδειγμα 5.4

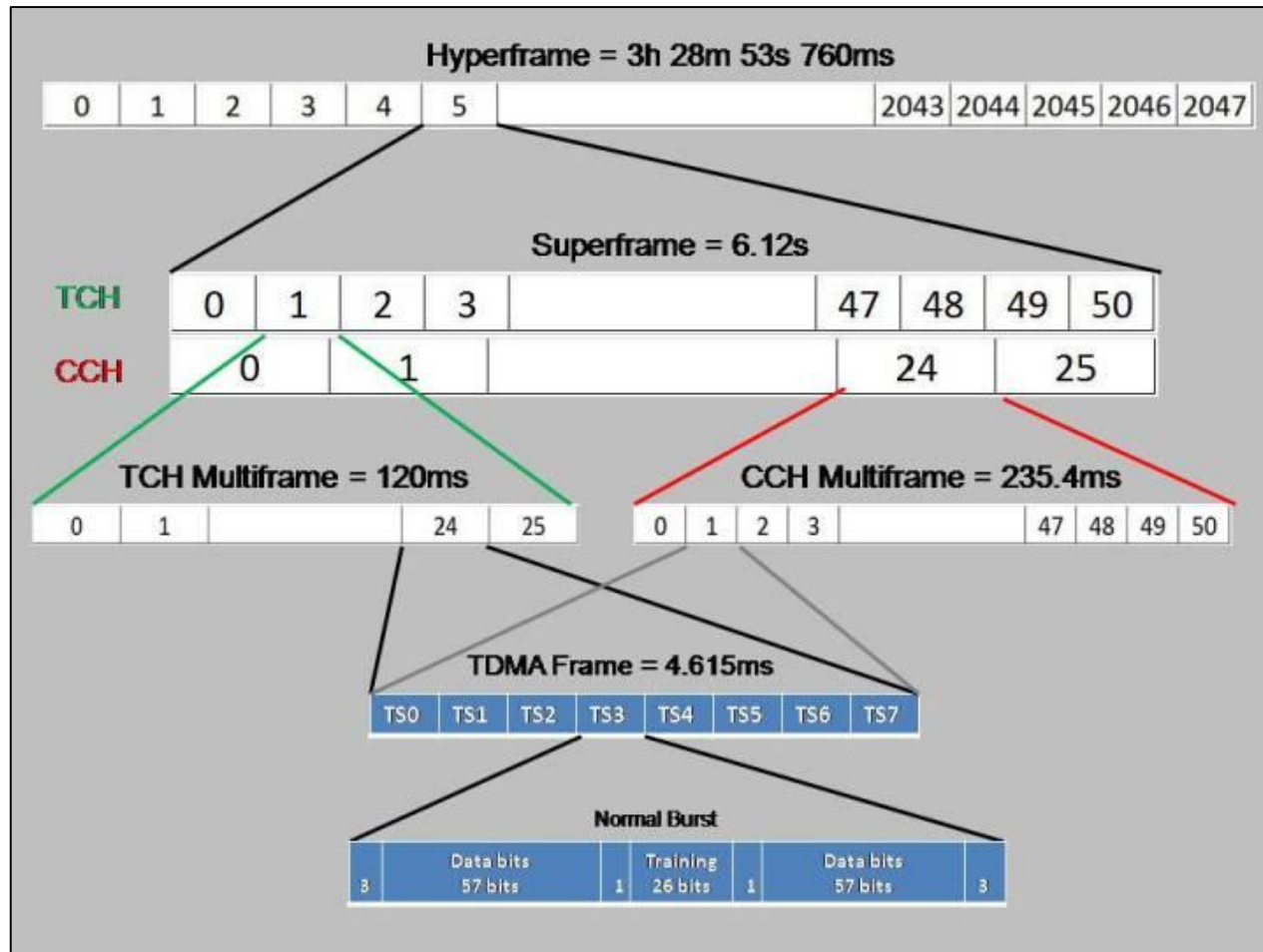
- GSM, TDMA με 8 slots και κάθε slot περιέχει 156.25 bit. Κάθε slot αποτελείται από 6 bit προοιμίου, 26 bit συγχρονισμού, 8.25 bit χάριτος και δύο ριπές δεδομένων κίνησης των 58 bit. Τα δεδομένα στον δίαυλο μεταδίδονται με ρυθμό 270.833 kbps. Να βρεθούν:
- **α)** T_{bit} , **β)** T_{slot} , **γ)** T_{frame} , **δ)** πόσο χρόνο πρέπει να περιμένει ένας χρήστης, μεταξύ δύο διαδοχικών μεταδόσεων; **ε)** η απόδοση πλαισίου, **στ)** ο αριθμός των χρηστών που εξυπηρετούνται ταυτόχρονα στο GSM. Αγνοείστε την ύπαρξη εύρους ζώνης ασφαλείας.



Ιεραρχία πλαισίων στο GSM (1)

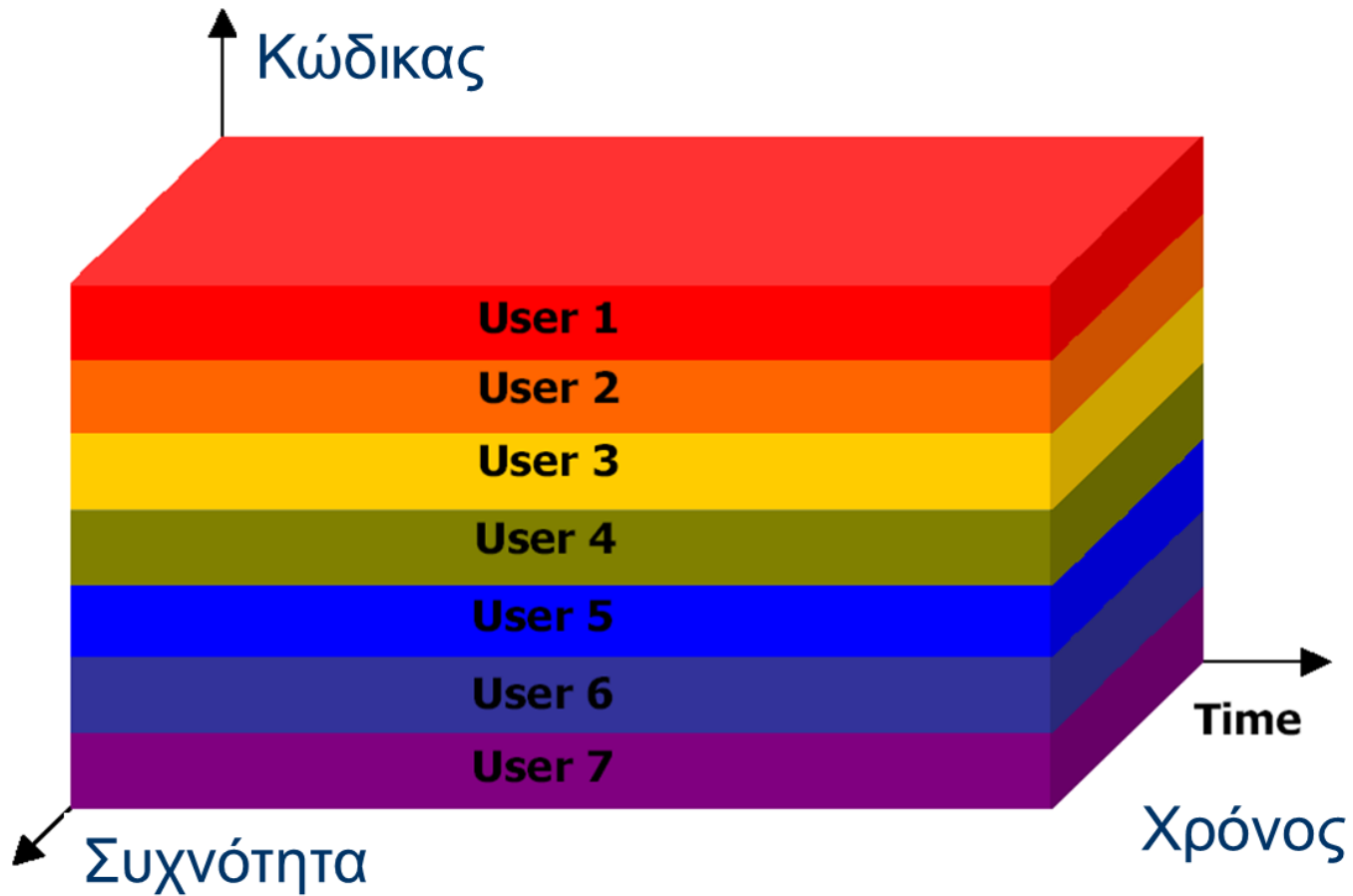


Ιεραρχία πλαισίων στο GSM (2)



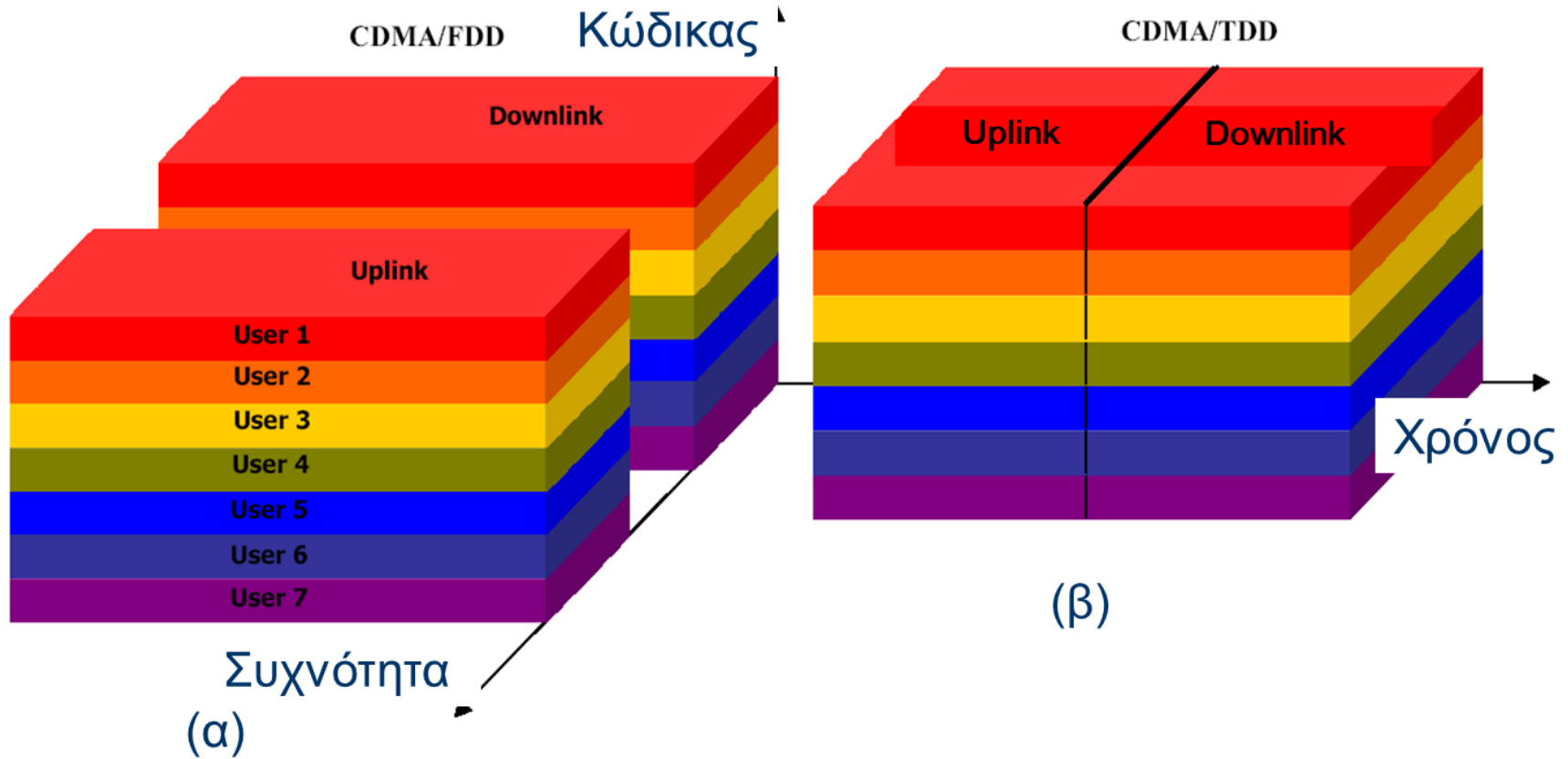
Εικόνα 10.

Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης – CDMA (1)



Εικόνα 11.

Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης – CDMA (2)



Εικόνα 12.

Μεταφορική Παρουσίαση του CDMA

- Έστω ότι σ' ένα μεγάλο δωμάτιο, πολλά ζευγάρια ανθρώπων συνομιλούν:
 - με το TDMA όλα τα άτομα βρίσκονται οπουδήποτε στο δωμάτιο, αλλά ο καθένας **περιμένει τη σειρά του** για να μιλήσει (πρώτα μιλάει ο ένας, μετά ο άλλος κ.ο.κ.)
 - με το FDMA οι άνθρωποι στο δωμάτιο χωρίζονται σε ομάδες, όπου κάθε ομάδα βρίσκεται σε **αρκετή απόσταση** από την άλλη ώστε οι ομάδες να συνομιλούν ταυτόχρονα αλλά ανεπηρέαστα η μία από την άλλη
 - με το CDMA όλα τα άτομα βρίσκονται οπουδήποτε στο δωμάτιο και μιλάνε ταυτόχρονα, αλλά σε **διαφορετική γλώσσα** ώστε αυτοί που μιλάνε την ίδια γλώσσα επικοινωνούν, ενώ απορρίπτουν τις άλλες συνομιλίες σαν θόρυβο



Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης – CDMA (3)

- CDMA ευθείας ακολουθίας (Direct Sequence CDMA, DS/CDMA)
- CDMA με μεταπήδηση συχνότητας (Frequency Hopping CDMA, FH/CDMA)
- CDMA με μεταπήδηση χρόνου (Time Hopping CDMA, TH/CDMA)
- Υβριδικά συστήματα CDMA



Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης – DS/CDMA

- Επιτρέπει σε πολλούς χρήστες να μοιραστούν το ίδιο εύρος ζώνης.
- Τα σήματα των χρηστών διαχωρίζονται στον δέκτη χρησιμοποιώντας τις ιδιότητες του κώδικα.
- Η παρεμβολή μεταξύ των χρηστών περιορίζεται από την ετεροσυσχέτιση των κωδικών.
- Στην κάθοδο, το σήμα και η παρεμβολή έχουν την ίδια ισχύ.
- Στην άνοδο, “κοντινοί” χρήστες εξαφανίζουν “μακρινούς” χρήστες (near-far πρόβλημα)
- Ομαλή υποβάθμιση (Graceful degradation) – το σύστημα υποβαθμίζεται ομαλά καθώς αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών



DS/CDMA

- Κάθε σταθμός μετάδοσης παίρνει ένα κωδικό (chip sequence) που αντιπροσωπεύει τη μετάδοση του 1 (το συμπληρωματικό αντιπροσωπεύει το 0)
- Π.χ. 1=00011011 0=11100100 (8-chip code)
- Το μετάδοση του 0 σηματοδοτείται με -1 και το 1 με $+1$ (π.χ. τάση σε volts)

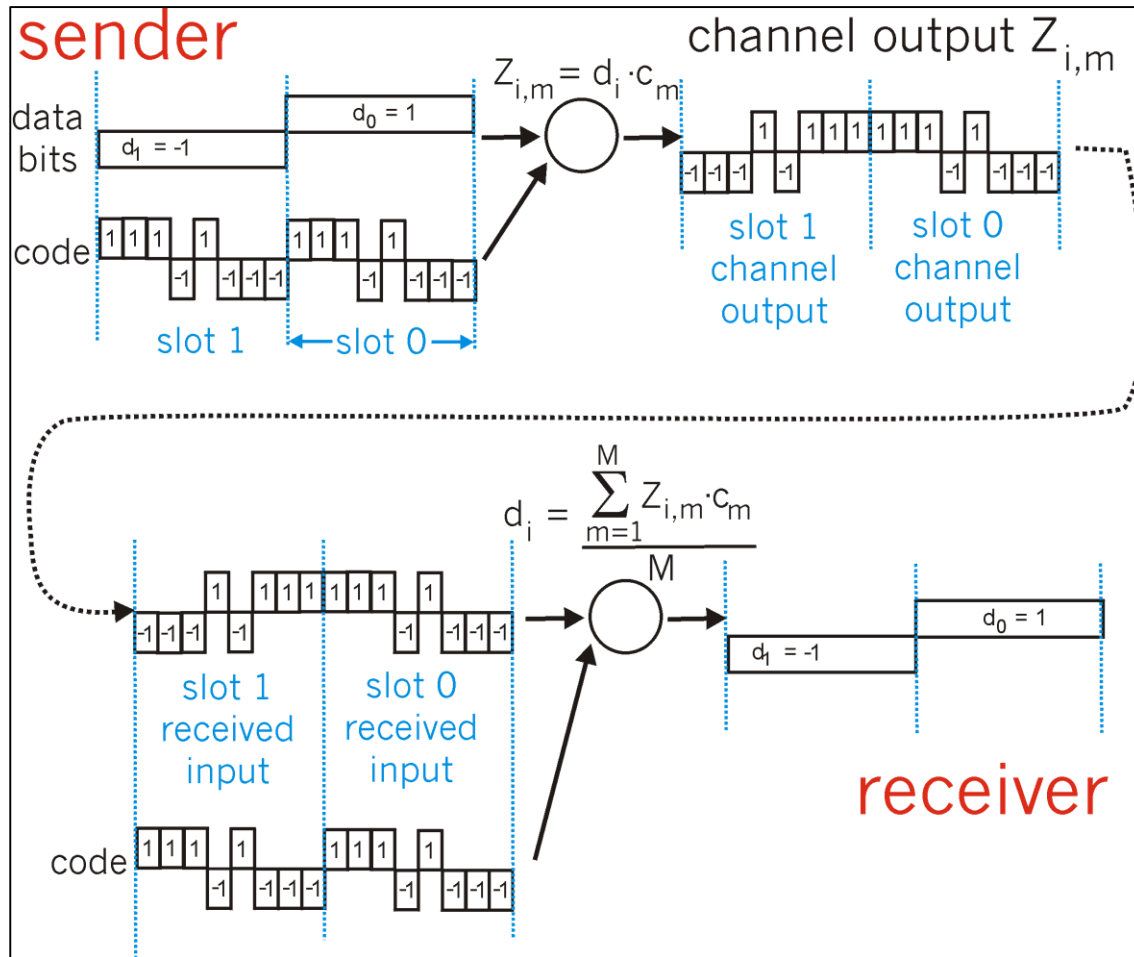
A: 00011011
B: 00101110
C: 01011100
D: 01000010

A: (-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)
B: (-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)
C: (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)
D: (-1 +1 -1 -1 -1 -1 +1 -1)

Chip Sequence:	1 0 1 1 0 0
Spreading Sequence:	1 -1 1 1 -1 -1
Transmitted bits, data = 1:	1 -1 1 1 -1 -1
Transmitted bits, data = 0:	-1 1 -1 -1 1 1
No transmission:	0 0 0 0 0 0

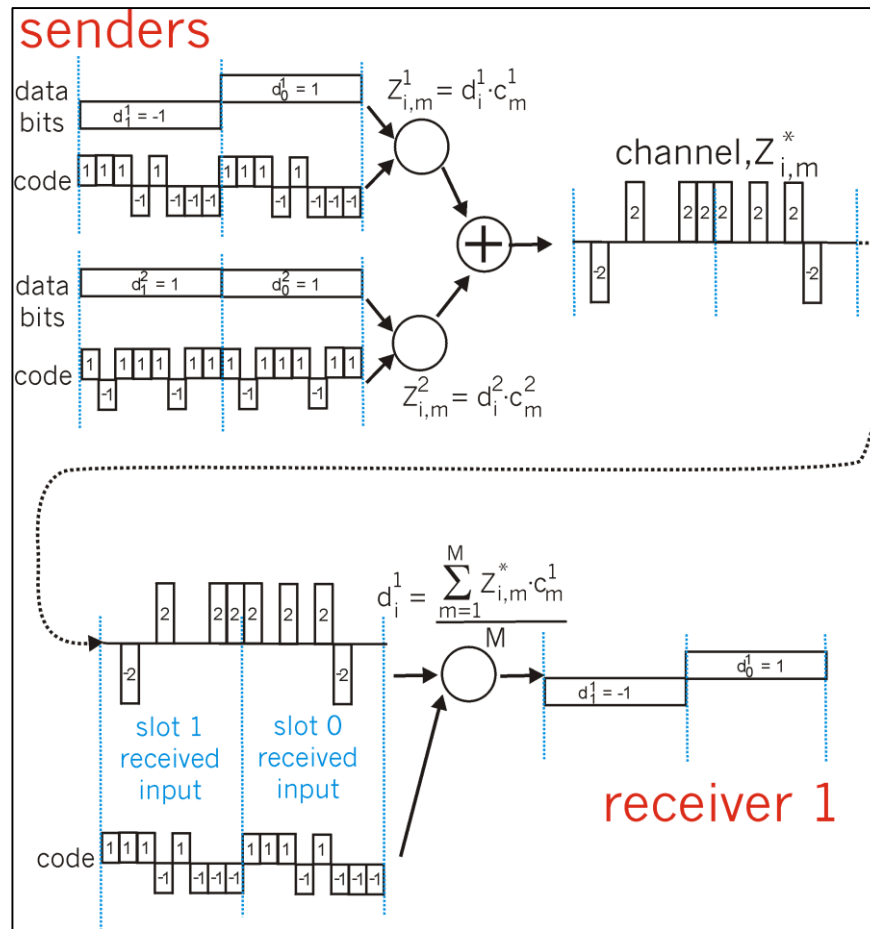


DS/CDMA Encode/Decode



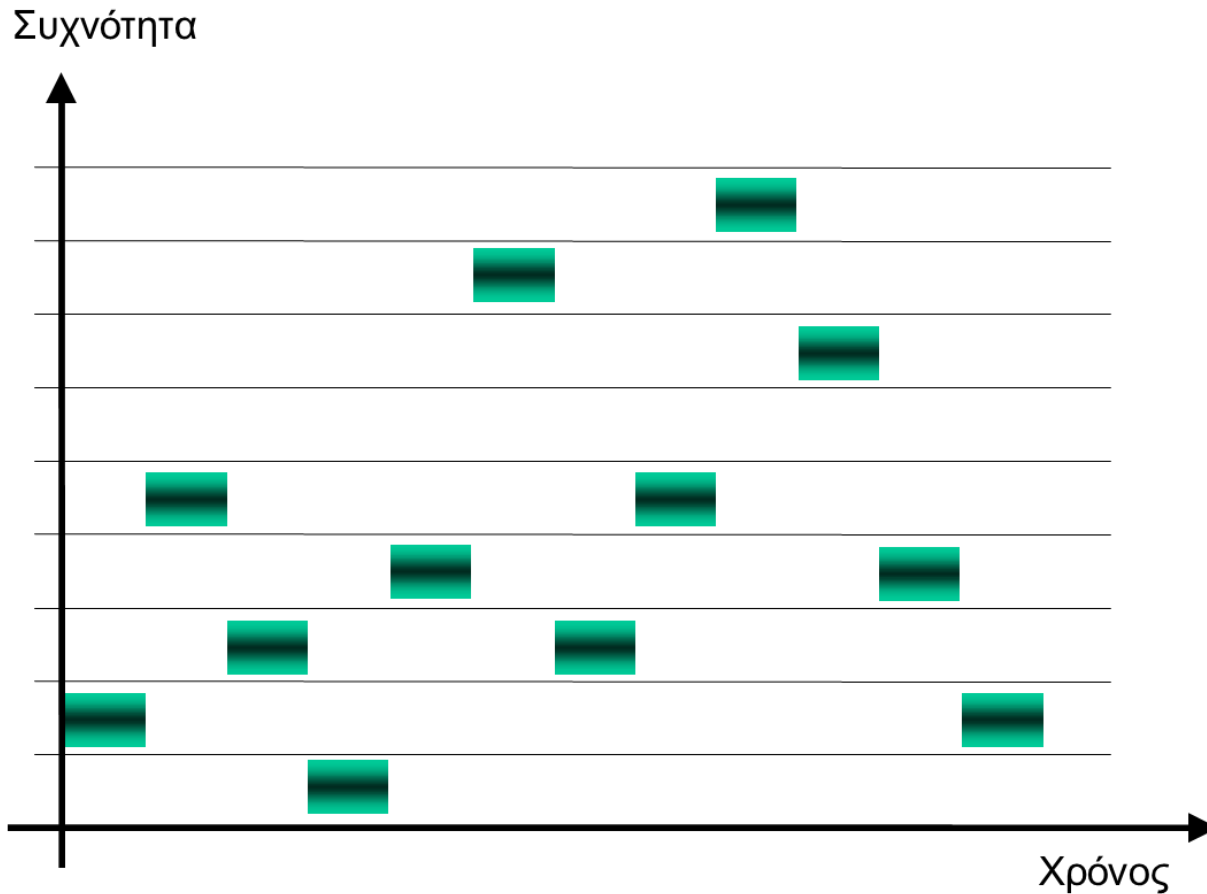
Εικόνα 13.

DS/CDMA: two-sender interference



Εικόνα 14.

Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης – FH/CDMA (1)

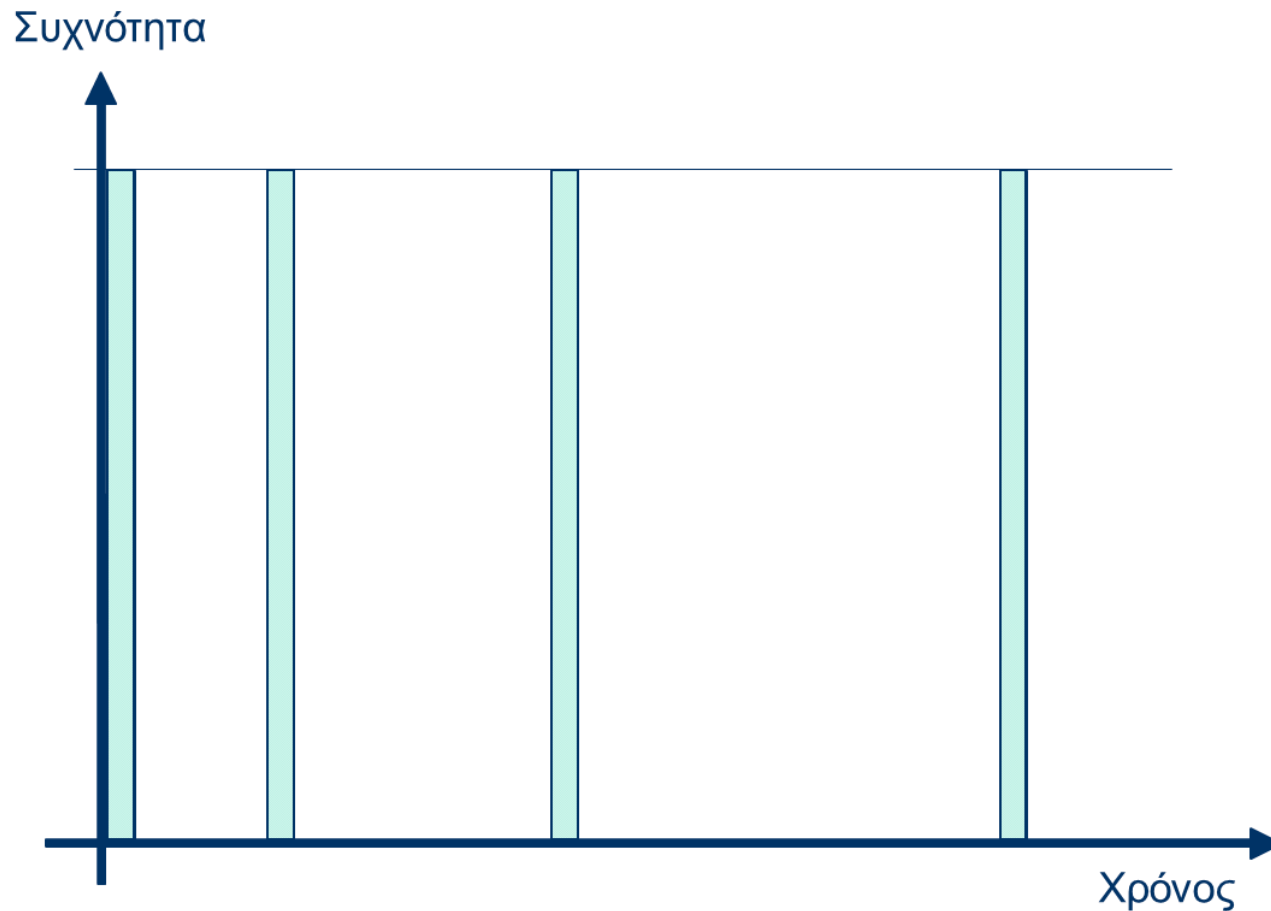


Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης – FH/CDMA (2)

- Χρησιμοποιεί μέρος του εύρους ζώνης αλλά η θέση του μέρους αυτού μεταβάλλεται χρονικά.
- Πλεονεκτήματα:
 - Οι διάφορες ζώνες συχνοτήτων δεν χρειάζεται να είναι γειτονικές στο φάσμα,
 - Η πιθανότητα να μεταδίδουν πολλοί χρήστες ταυτόχρονα στην ίδια περιοχή συχνοτήτων είναι μικρή.
- Μειονεκτήματα:
 - Απαιτείται πολύπλοκος συνθέτης συχνοτήτων
 - Απότομη μεταβολή του σήματος κατά τη μεταπήδηση
 - Δύσκολη η αποδιαμόρφωση.



Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης – ΤΗ/CDMA (1)

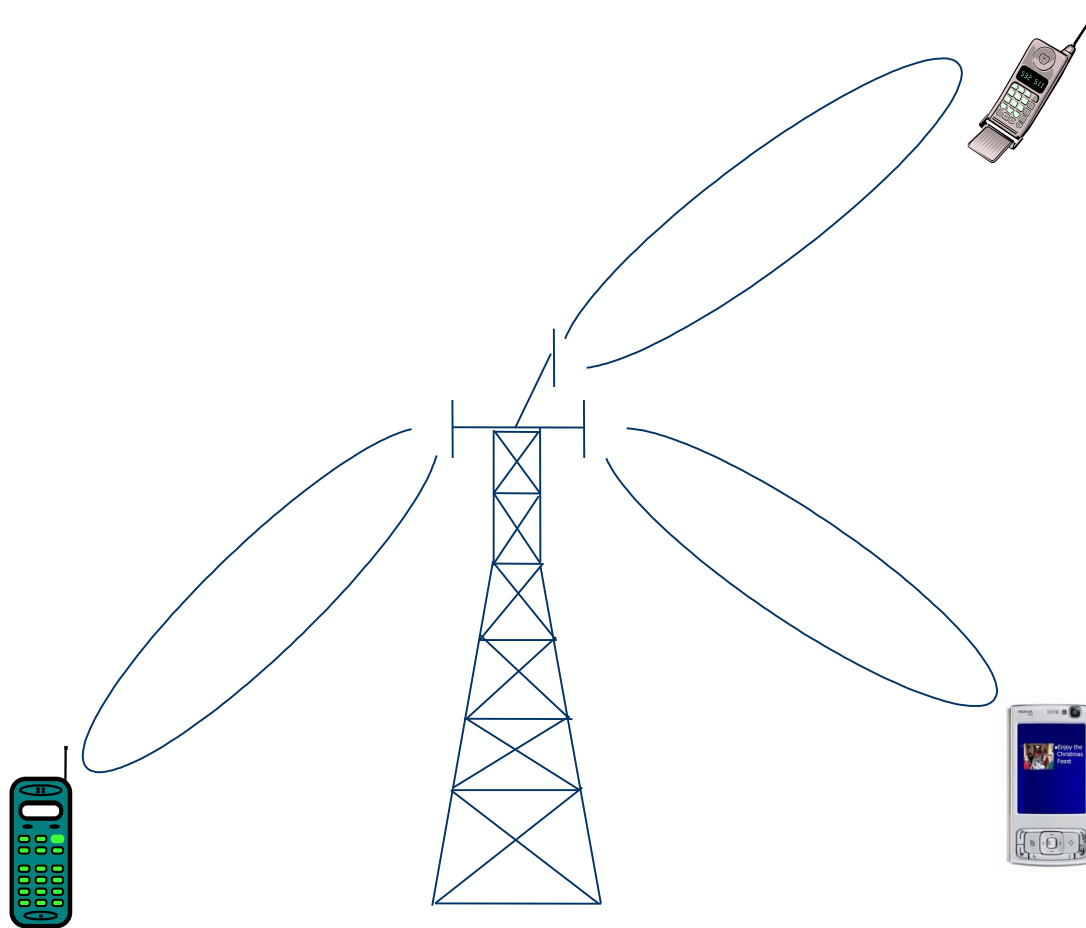


Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης – ΤΗ/CDMA (2)

- Ο χρόνος διαιρείται σε πλαίσια και κάθε πλαίσιο σε M χρονοσχισμές.
- Κατά τη διάρκεια ενός πλαισίου ο χρήστης μεταδίδει σε μία από τις χρονοσχισμές σύμφωνα με κάποιον κώδικα.
- Πλεονεκτήματα:
 - Ευκολότερη υλοποίηση από την FH/CDMA,
 - Χρήσιμη όταν υπάρχει περιορισμός ως προς το μέσο ρυθμό και όχι ως προς τη μέγιστη (μετάδοση με ριπές),
 - Το φαινόμενο near-far είναι λιγότερο σημαντικό, γιατί κάθε τερματικό μεταδίδει μόνο του.
- Μειονεκτήματα:
 - Απαιτείται πολύς χρόνος για τον συγχρονισμό.



Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χώρου

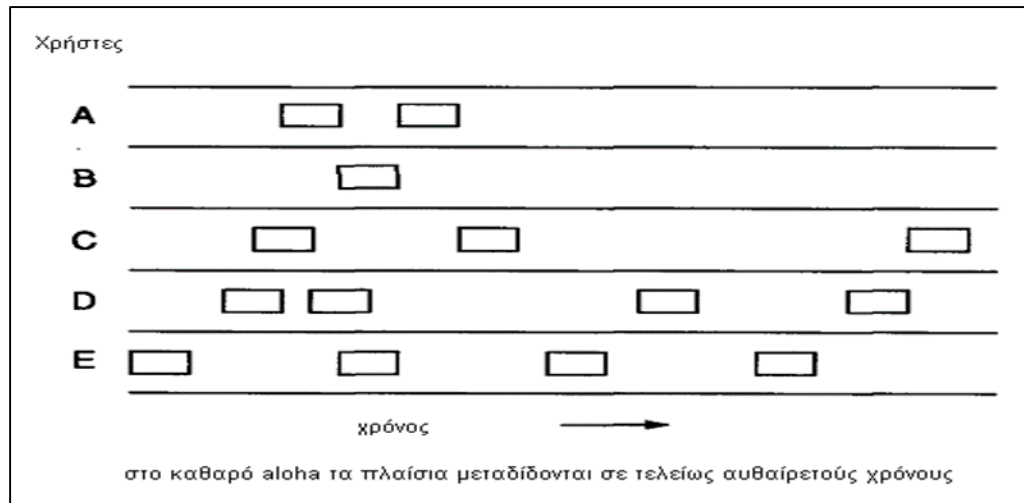


Εικόνα 15.



ALOHA (Καθαρό)

- Συνεχής χρόνος, μετάδοση οποιαδήποτε χρονική στιγμή.
- Δεν υπάρχει συγχρονισμός και ο κάθε κόμβος ξεκινά τη μετάδοση αμέσως μόλις δεχτεί το πακέτο στην ουρά του (άφιξη πακέτου).
- Εάν υπάρξει σύγκρουση το πακέτο επαναμεταδίδεται μετά από τυχαίο χρονικό διάστημα.



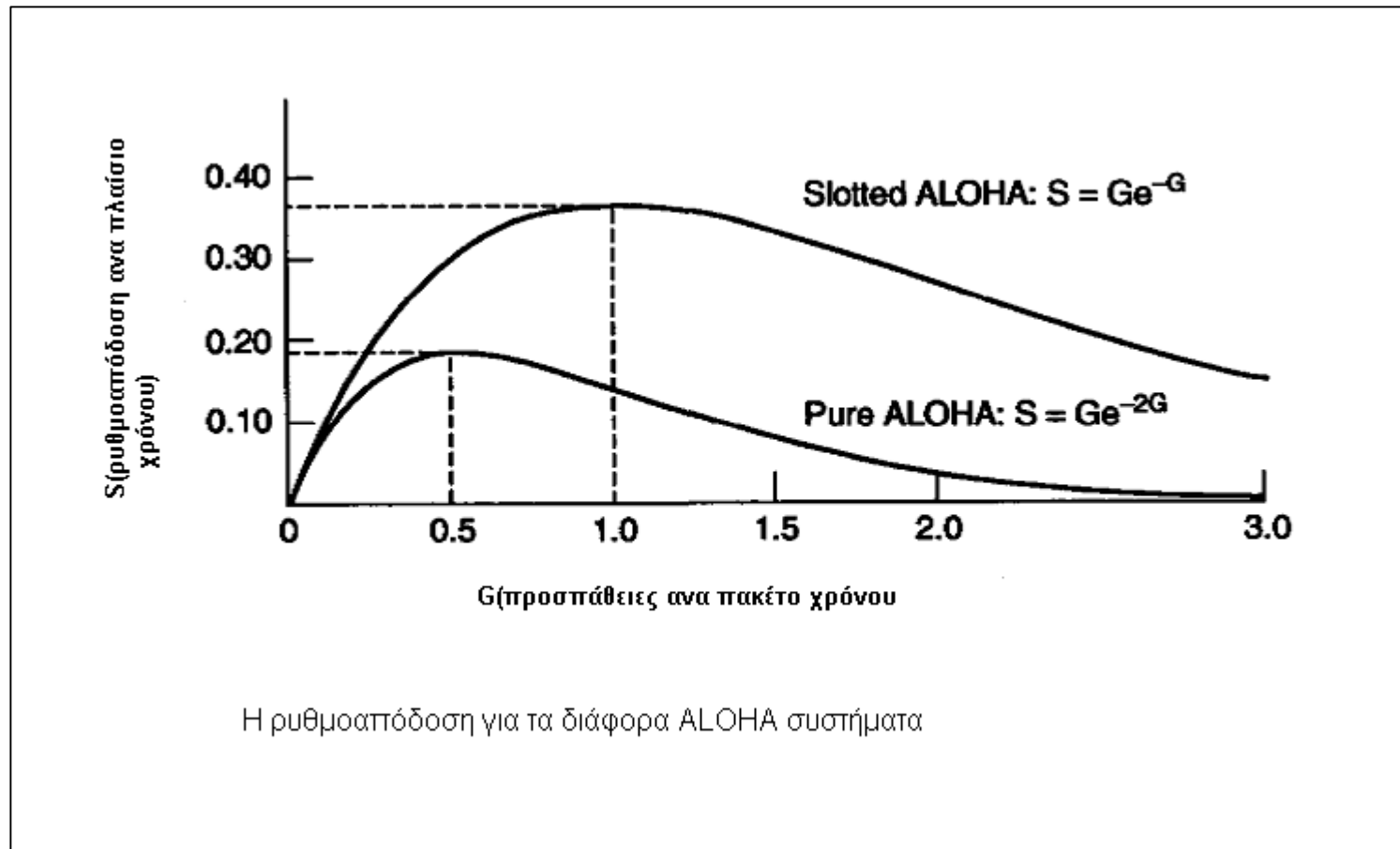
Εικόνα 16.

Τεμαχισμένο ALOHA (Slotted Aloha)

- Σταθερό μέγεθος πακέτων
- χρόνος μετάδοσης πακέτου = 1 μονάδα χρόνου = μέγεθος χρονοθυρίδας (slot)
- Κάθε πακέτο μεταδίδεται στην πρώτη χρονοθυρίδα μετά την άφιξη του
- Απαιτείται συγχρονισμός της μετάδοσης με την αρχή κάθε χρονοθυρίδας
- Σε περίπτωση σύγκρουσης η μετάδοση επαναλαμβάνεται μετά από τυχαίο αριθμό χρονοθυρίδων



Ρυθμοαπόδοση



Εικόνα 17.

Πολλαπλή Προσπέλαση Ανίχνευσης Φέροντος (CSMA)

- Ένας κόμβος μπορεί να ακούσει αν άλλοι κόμβοι μεταδίδουν ύστερα από ένα χρονικό διάστημα
- Εφόσον οι κόμβοι μπορούν να ακούσουν μεταδόσεις άλλων, μπορούν να αναβάλουν τη μετάδοσή τους, ώστε να αποφύγουν μια βέβαιη σύγκρουση
- Δεν αποφεύγονται όλες οι συγκρούσεις εξαιτίας της αργοπορημένης ανίχνευσης μετάδοσης (καθυστέρηση διάδοσης σήματος)



CSMA πρωτόκολλα (1)

Μη-επίμονο (Non-persistent) CSMA

- Πακέτα που φθάνουν σε μια ανεκμετάλλευτη χρονοθυρίδα, μεταδίδονται στην επόμενη χρονοθυρίδα
- Εάν η χρονοθυρίδα άφιξης του πακέτου είναι απασχολημένη, ξανασχεδιάζουμε τη μετάδοση μετά από τυχαίο χρόνο (προσποιούμαστε ότι υπήρξε σύγκρουση)
- Καλή ρυθμαπόδοση
- Καλό μοίρασμα της κίνησης στο χρόνο
- Η καθυστέρηση αυξάνεται εξαιτίας του μη-επίμονου



CSMA πρωτόκολλα (2)

1-επίμονο (1-persistent) CSMA

- Εάν υπάρχει ανεκμετάλλευτη χρονοθυρίδα μεταδίδονται τα πακέτα στην επόμενη
- Εάν η χρονοθυρίδα είναι απασχολημένη περίμενε μέχρι να γίνει αδρανής και μετάδωσε στην επόμενη
- Καλή καθυστέρηση σε χαμηλή κίνηση
- Όχι και τόσο καλή μέγιστη Ρυθμαπόδοση
- Στο τέλος της τρέχουσας μετάδοσης μπορεί να συγκεντρωθεί μεγάλη κίνηση



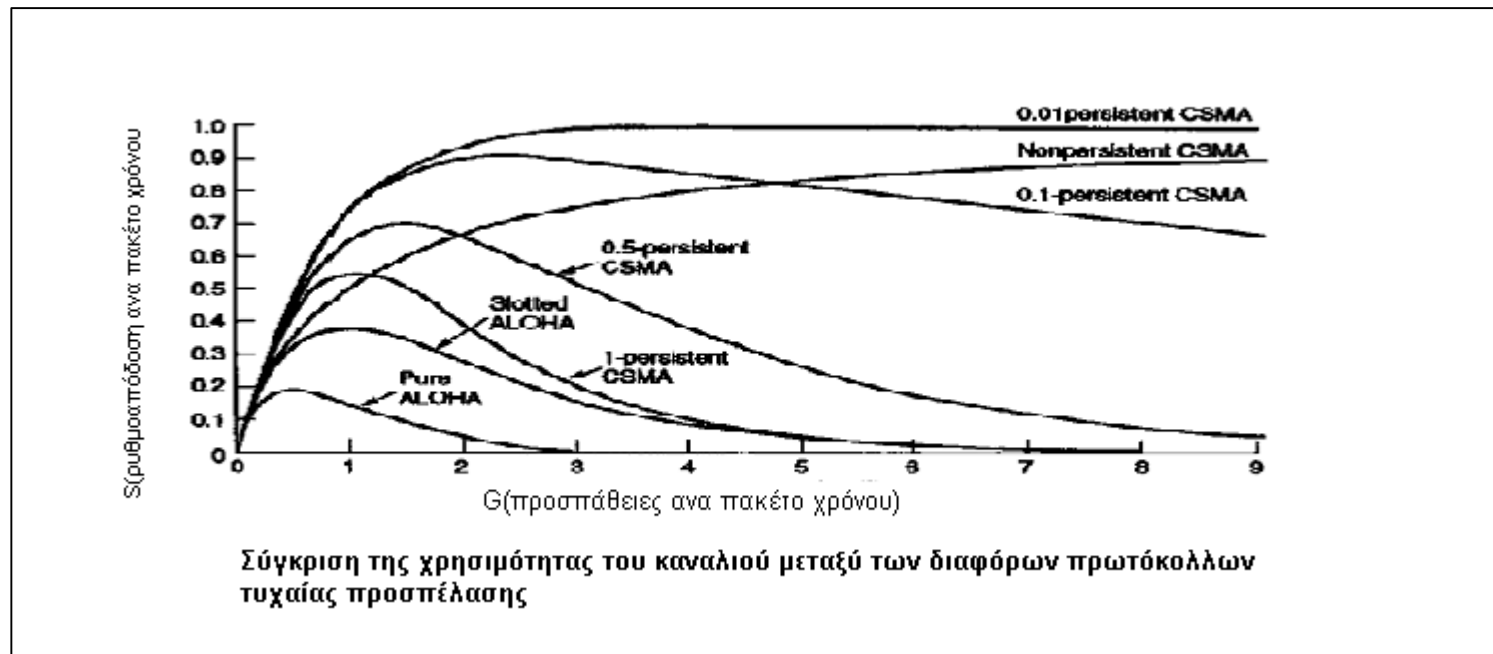
CSMA πρωτόκολλα (3)

P-επίμονο (p-persistent) CSMA

- Εφαρμόζεται σε κανάλια χρονοθυρίδων.
- Όταν ένας κόμβος επιθυμεί να εκπέμψει ένα πακέτο, ελέγχει αν η τρέχουσα θυρίδα είναι διαθέσιμη.
- Αν είναι, εκπέμπει στην επόμενη με πιθανότητα p , ενώ με πιθανότητα $1-p$ επαναλαμβάνει τη διαδικασία στην επόμενη χρονοθυρίδα
- Αν εν τω μεταξύ κάποιος άλλος μεταδώσει, λειτουργεί σα να συνέβει σύγκρουση (περιμένει τυχαίο αριθμό χρονοθυρίδων και ξαναπροσπαθεί)



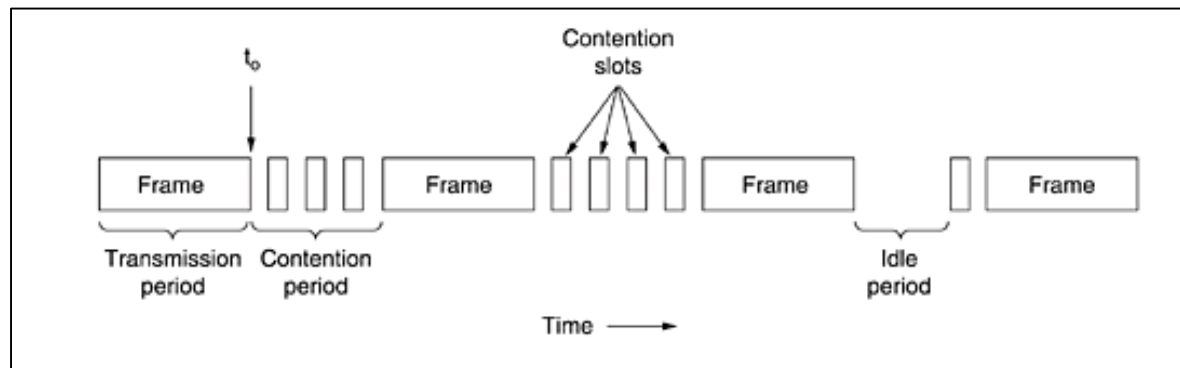
CSMA πρωτόκολλα (4)



Εικόνα 18.

Πολλαπλή Προσπέλαση Ανίχνευσης Φέροντος Με Ανίχνευση Σύγκρουσης (CSMA/CD)

- Κάθε κόμβος μπορεί να ακούσει πριν μεταδώσει και οι φυσικές ιδιότητες του καναλιού επιτρέπουν σε ένα κόμβο να ακούει το κανάλι ενώ μεταδίδει
- Δύσκολο να εφαρμοστεί σε ασύρματες μεταδόσεις
- Αμέσως μόλις ο κόμβος ανιχνεύσει την σύγκρουση:
- Εγκαταλείπει τη μετάδοση
- Περιμένει τυχαίο χρονικό διάστημα πριν ξαναπροσπαθήσει
- Χρησιμοποιείται στο Ethernet



Εικόνα 19.

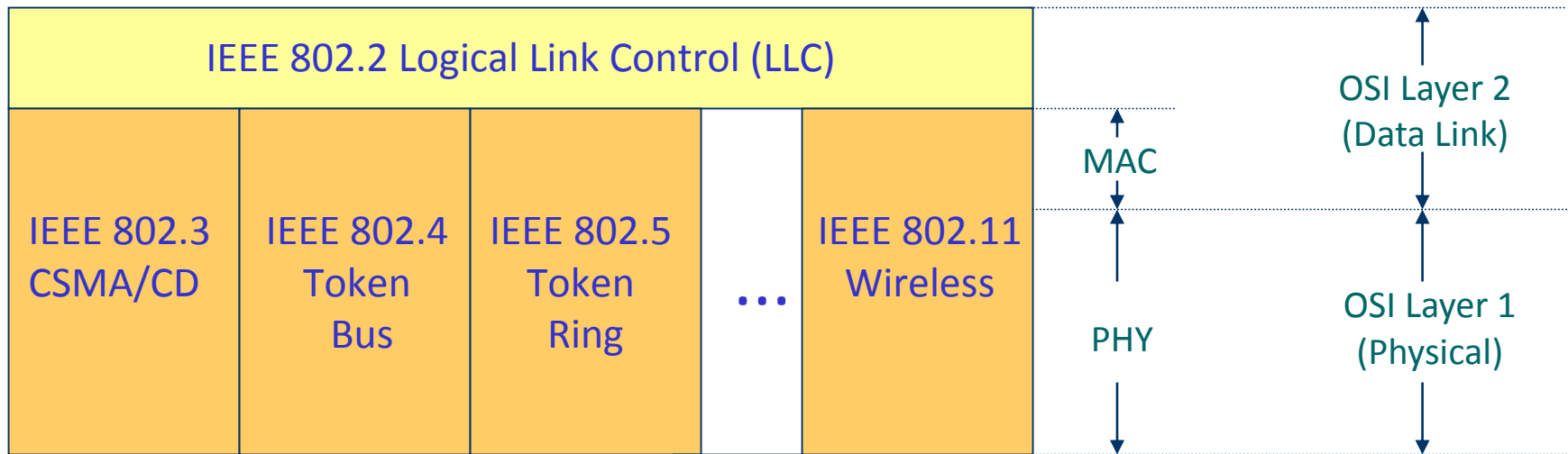
Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα Τύπου IEEE 802.11

Εισαγωγή

- Το 1997 η ΙΕΕΕ υιοθέτησε το πρότυπο IEEE Std. 802.11-1997.
- Το πρότυπο ορίζει τα επίπεδα MAC και PHY για ασύρματα τοπικά περιβάλλοντα.
- Το βασικό **802.11** λειτουργεί στα 2Mbps στην ISM μπάντα των 2,4GHz ('97).
- Η επέκταση **802.11b** λειτουργεί στα 11Mbps στην ISM μπάντα των 2,4GHz ('99).
- Η επέκταση **802.11a** λειτουργεί στα 54Mbps στην ISM μπάντα των 5GHz ('99) μέσω χρήσης OFDM.
- Η επέκταση **802.11g** λειτουργεί στα 54Mbps στην ISM μπάντα των 2,4GHz ('02) μέσω χρήσης OFDM.

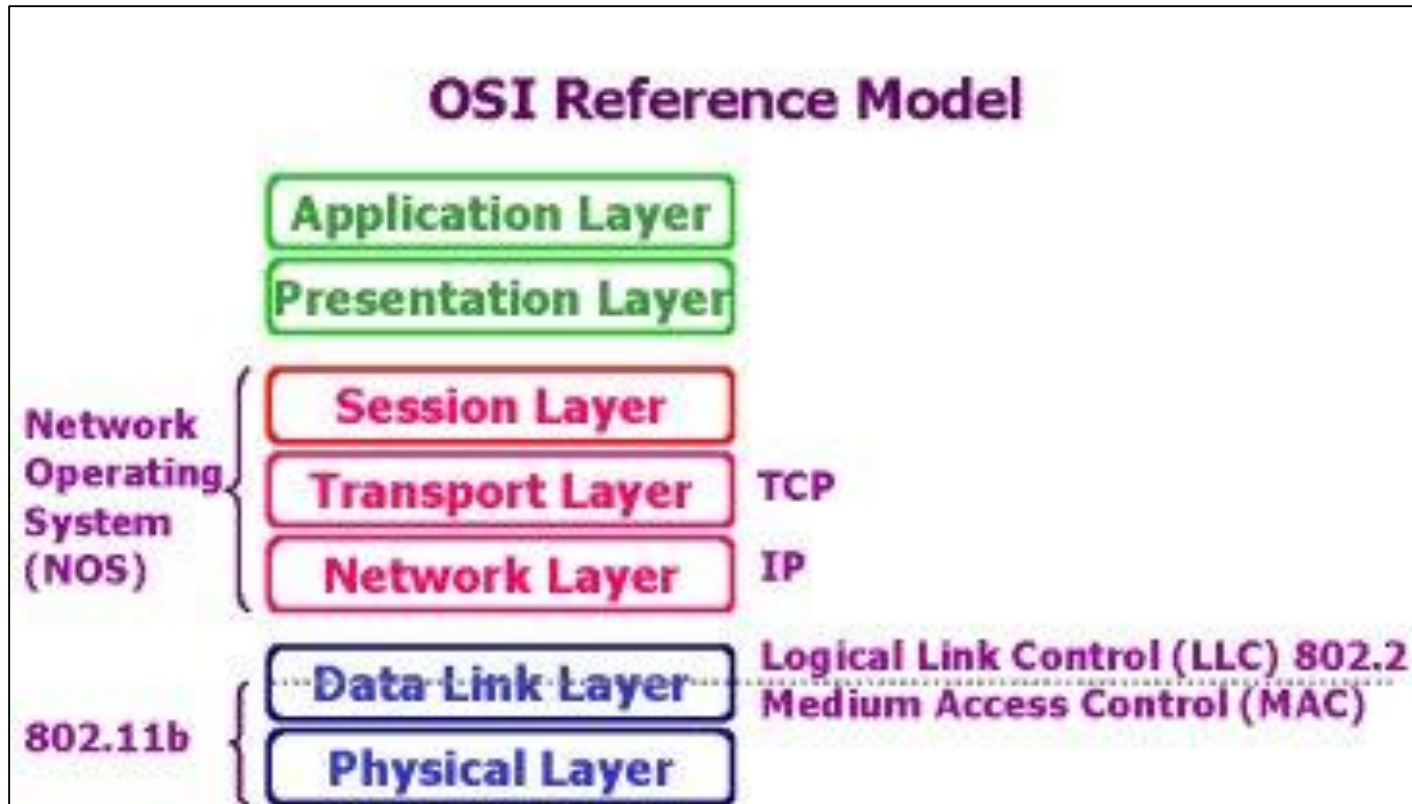


Η οικογένεια προτύπων 802.x



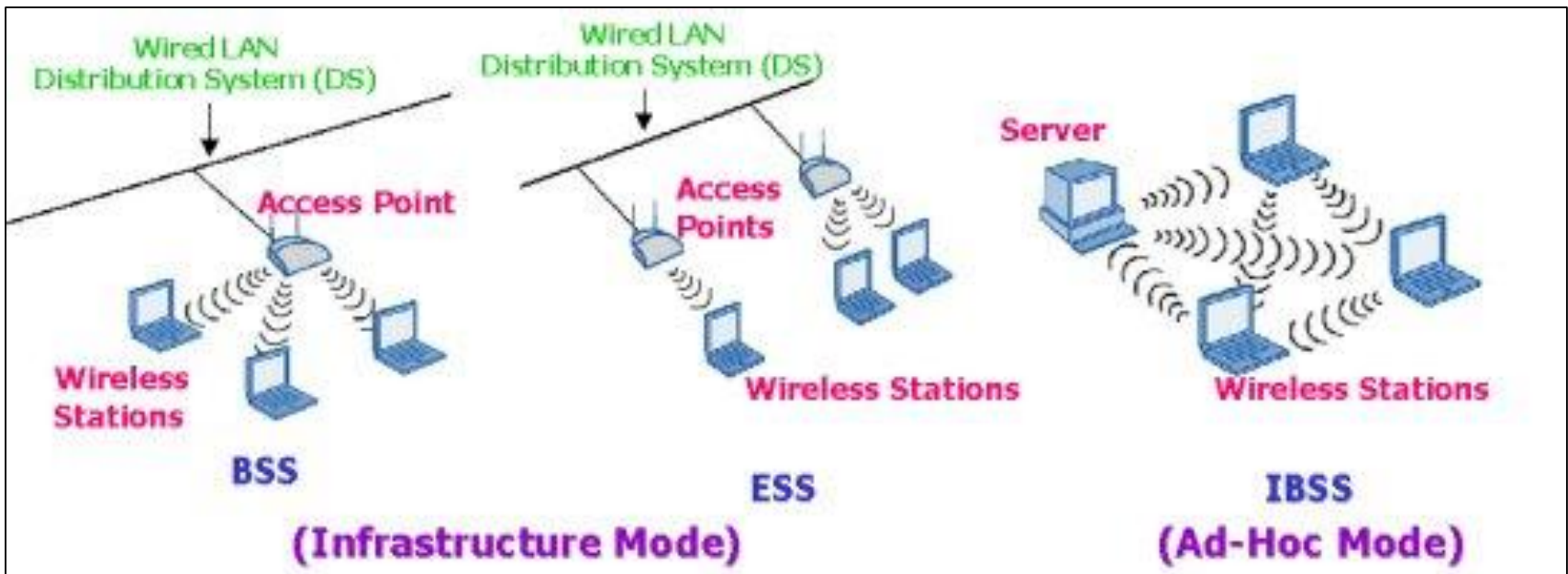
Εικόνα 20.

Το 802.11 στη στοίβα OSI



Εικόνα 21.

Δύο Τρόποι Λειτουργίας



Εικόνα 22.

802.11 Με Υποδομή

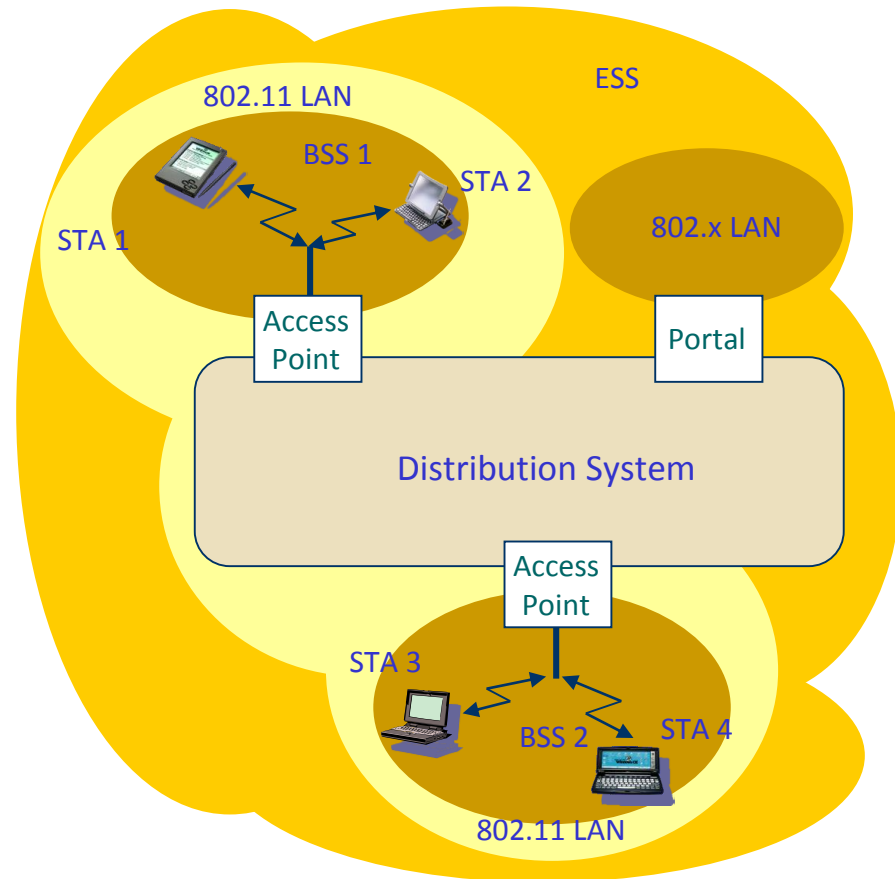
Station (STA) – Σταθμός: τερματικό με μηχανισμούς πρόσβασης στο ασύρματο μέσο και δυνατότητα επικοινωνίας με το Access Point

Basic Service Set (BSS): ομάδα σταθμών που χρησιμοποιούν την ίδια ραδιοσυχνότητα

Access Point – Σημείο Πρόσβασης : σταθμός ο οποίος επικοινωνεί τόσο με το ασύρματο τοπικό δίκτυο, όσο και με το σύστημα διανομής (distribution system)

Portal: γέφυρα μεταξύ του συστήματος διανομής και εξωτερικών δικτύων

Distribution System – Σύστημα Διανομής: δίκτυο διασύνδεσης πολλών BSS σε ένα ESS (Extended Service Set)



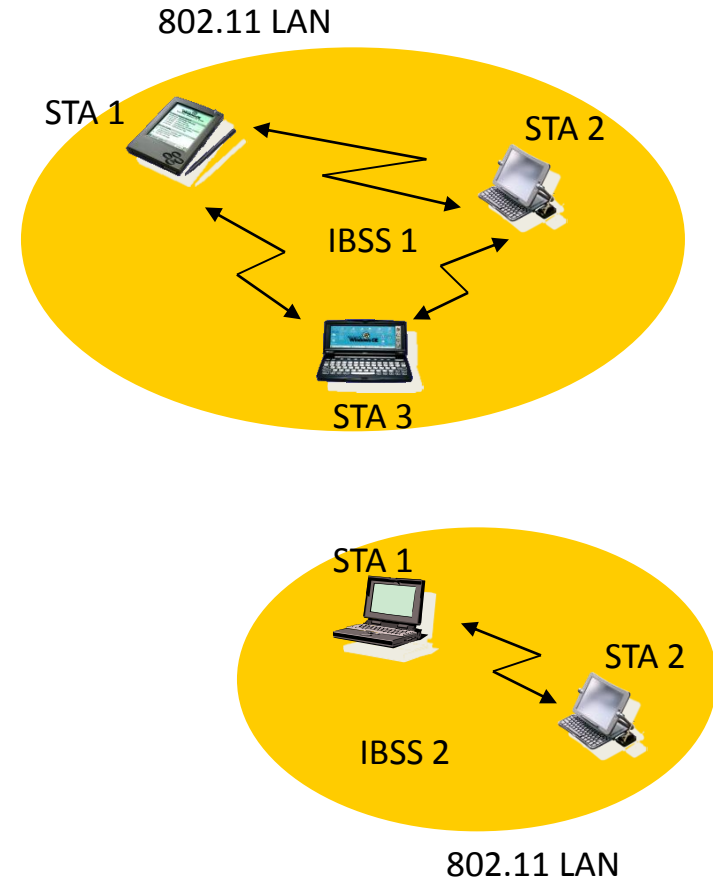
Εικόνα 23.



802.11 Χωρίς Υποδομή (Ad-Hoc)

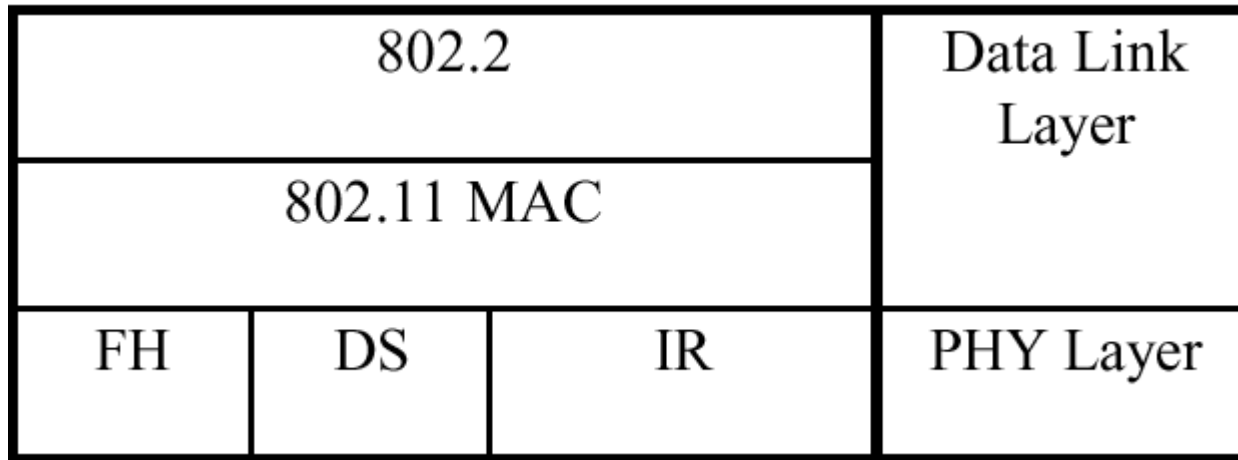
Station (STA): τερματικό με μηχανισμούς πρόσβασης στο ασύρματο μέσο

Independent Basic Service Set (IBSS): ομάδα σταθμών που χρησιμοποιούν την ίδια ραδιο-συχνότητα, χωρίς την παρεμβολή σημείου πρόσβασης



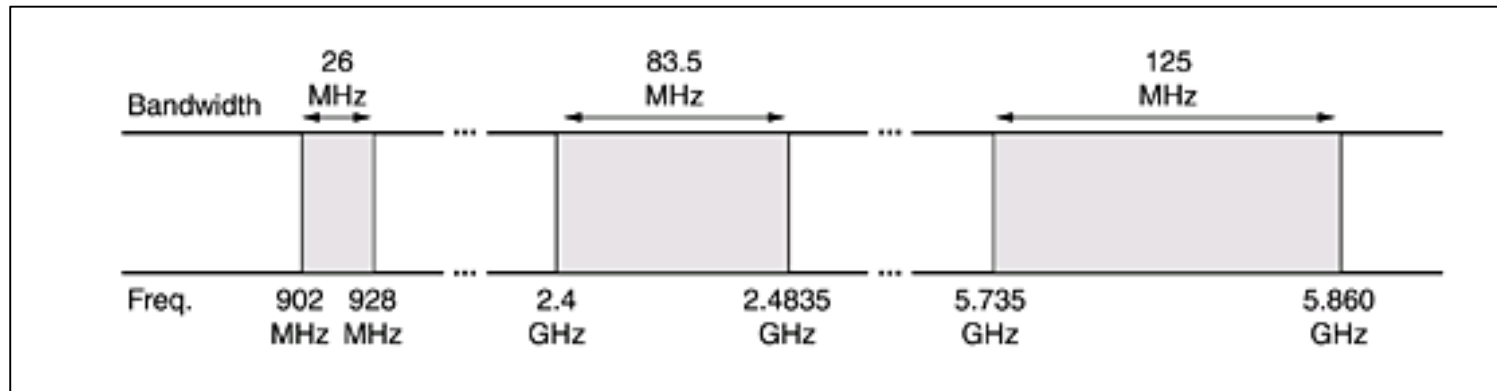
Εικόνα 24.

Στοιίβα Πρωτοκόλλων 802.11



Εικόνα 25.

ISM Band (Industrial Scientific Medical)

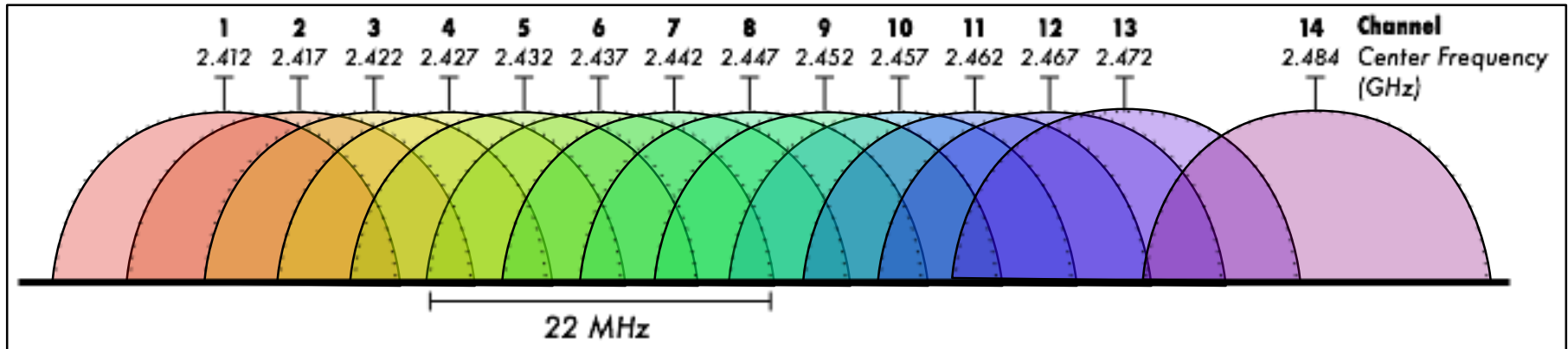


Εικόνα 26.

- Ελεύθερη προς χρήση χωρίς άδεια
- Χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο από τα WLANs



802.11 WiFi Channels

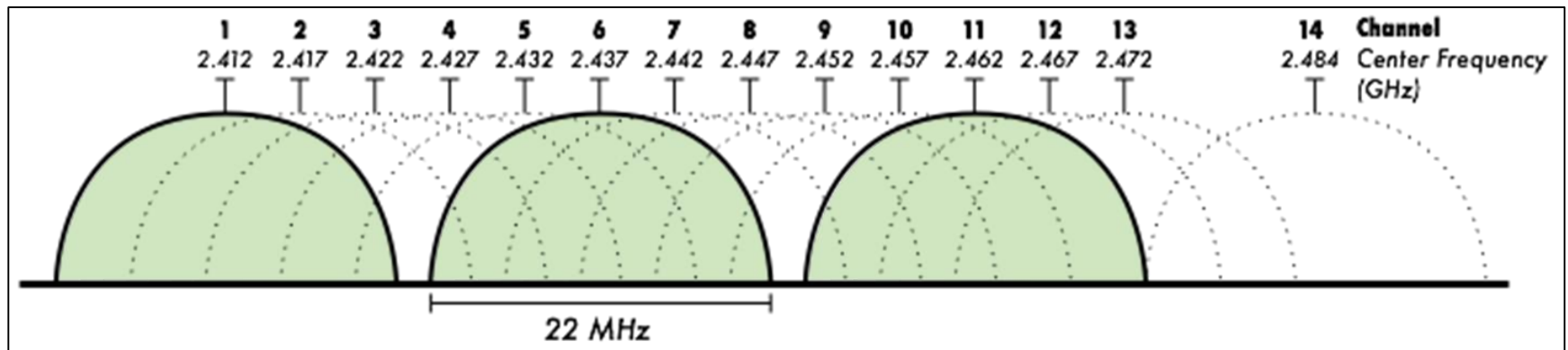


Εικόνα 27.

- Συσκευές WiFi πρέπει να χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι για να επικοινωνούν μεταξύ τους. Μόνο μία συσκευή μπορεί να μεταδίδει σε κάθε κανάλι κάθε χρονική στιγμή (half duplex).

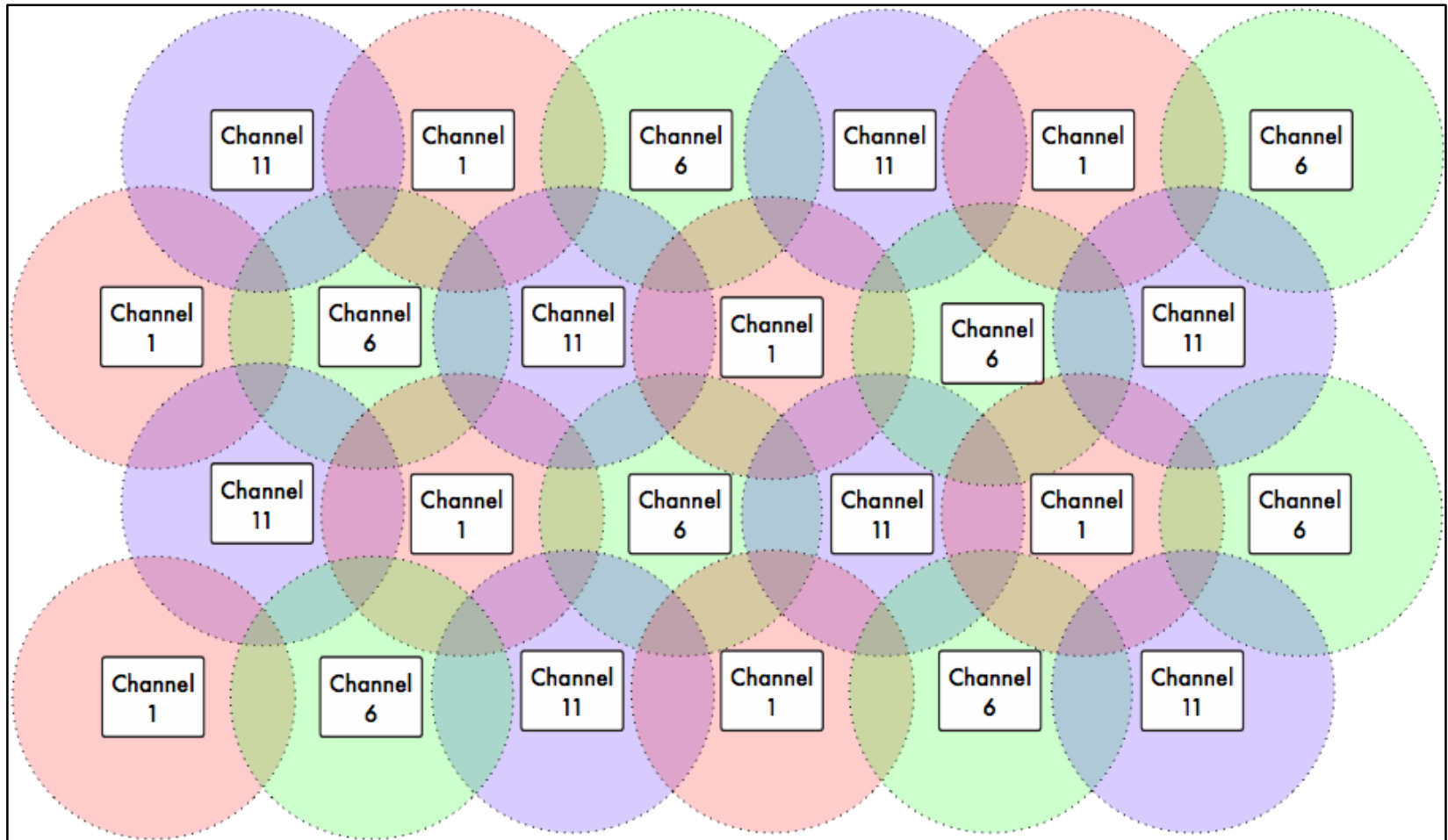


Μη επικαλυπτόμενα κανάλια: 1, 6, 11



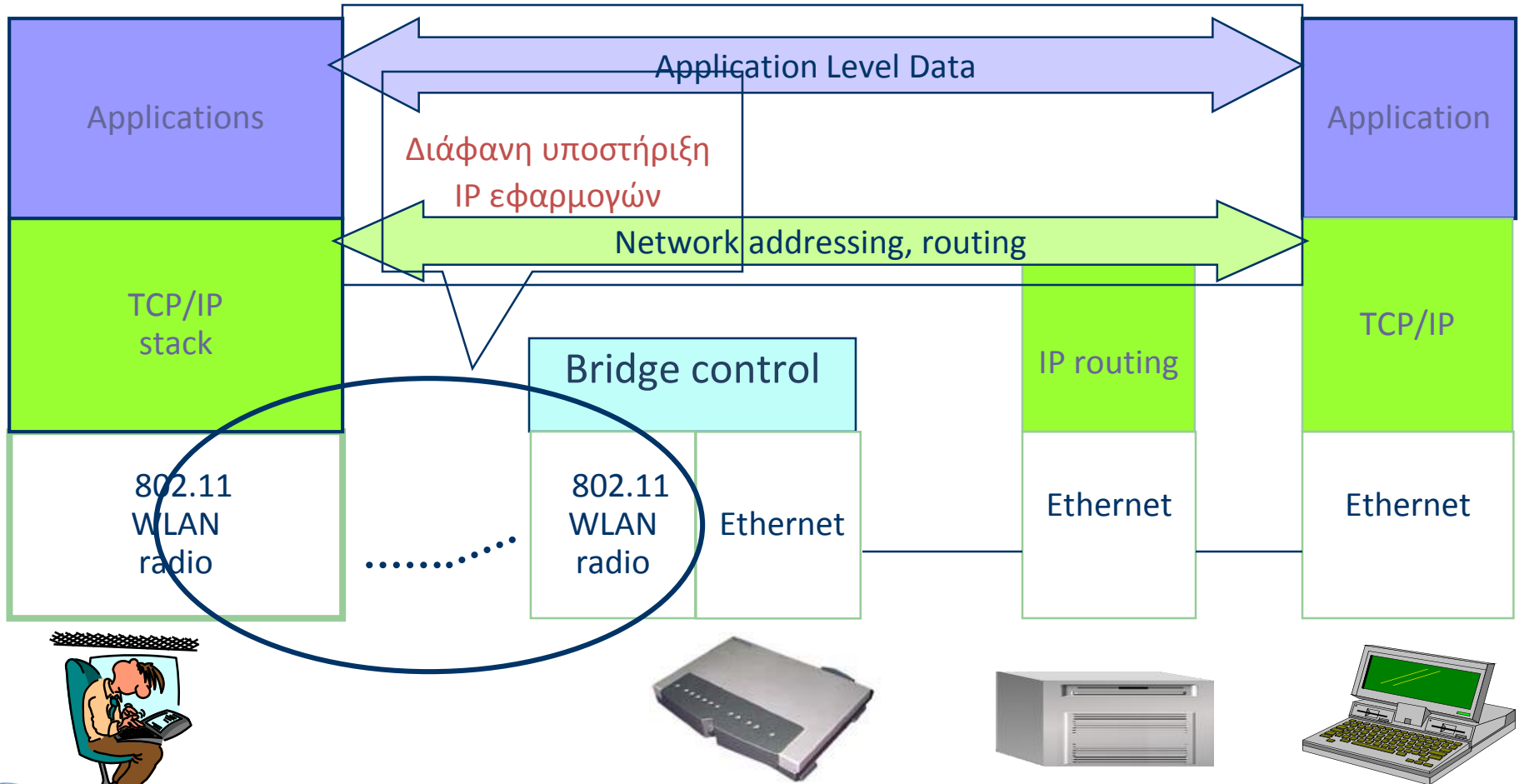
Εικόνα 28.

Επαναχρησιμοποίηση καναλιών



Εικόνα 29.

802.11 – Ασύρματη Επέκταση του Ethernet



Το MAC είναι υπεύθυνο για

- δέσμευση του καναλιού
- διευθυνσιοδότηση (addressing)
- δομή των πλαισίων μετάδοσης
- έλεγχο λαθών (επαναμεταδόσεις)
- fragmentation/reassembly
- Τρία είδη πλαισίων:
 - management (association, synchronization, authentication)
 - control (acks, end of contention-free period)
 - data



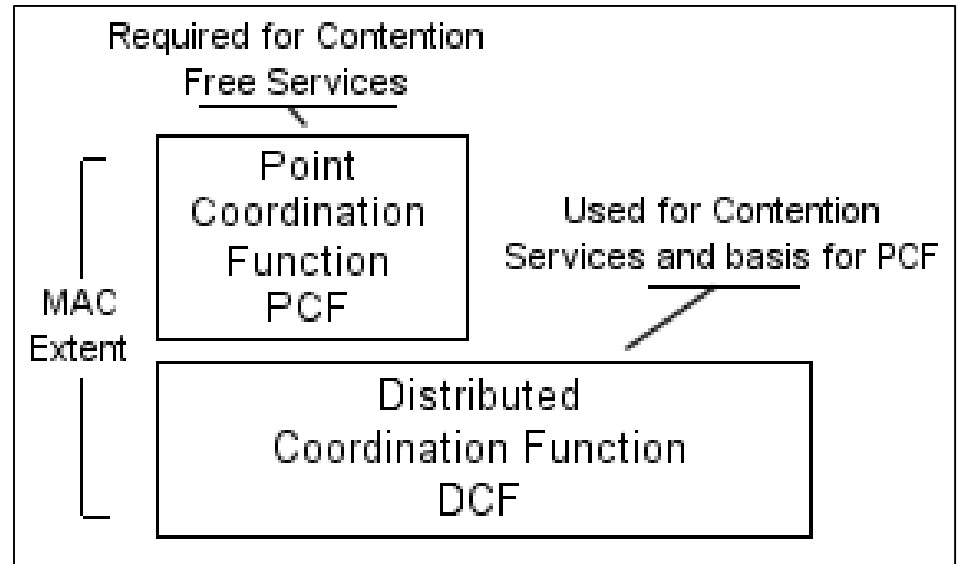
Μέθοδοι Πρόσβασης (1)

Distributed Coordination Function (DCF)

- υποχρεωτική
- η βασική μέθοδος πρόσβασης
- βασίζεται στον ανταγωνισμό
- για το μέσο (contention)

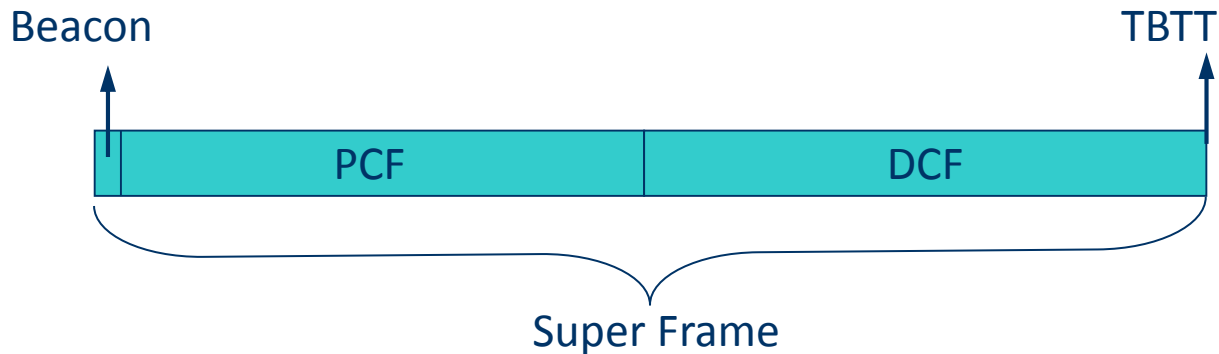
Point Coordination Function (PCF)

- προαιρετική
- χωρίς ανταγωνισμό
- μειώνει τις μεταβολές στις καθυστερήσεις μετάδοσης
- μόνο στη δομημένη διάρθρωση (infrastructure mode)



Εικόνα 30.

Μέθοδοι Πρόσβασης (2)



- DCF - Distributed Coordinated Function
(Contention Period - *Ad-hoc Mode*)
- PCF - Point Coordinated Function (Contention Free Period – *Infrastructure BSS*)
- Beacon - Management Frame
 - Synchronization of Local timers
 - Delivers protocol related parameters (e.g., version)
 - TBTT (Target Beacon Transition Time)

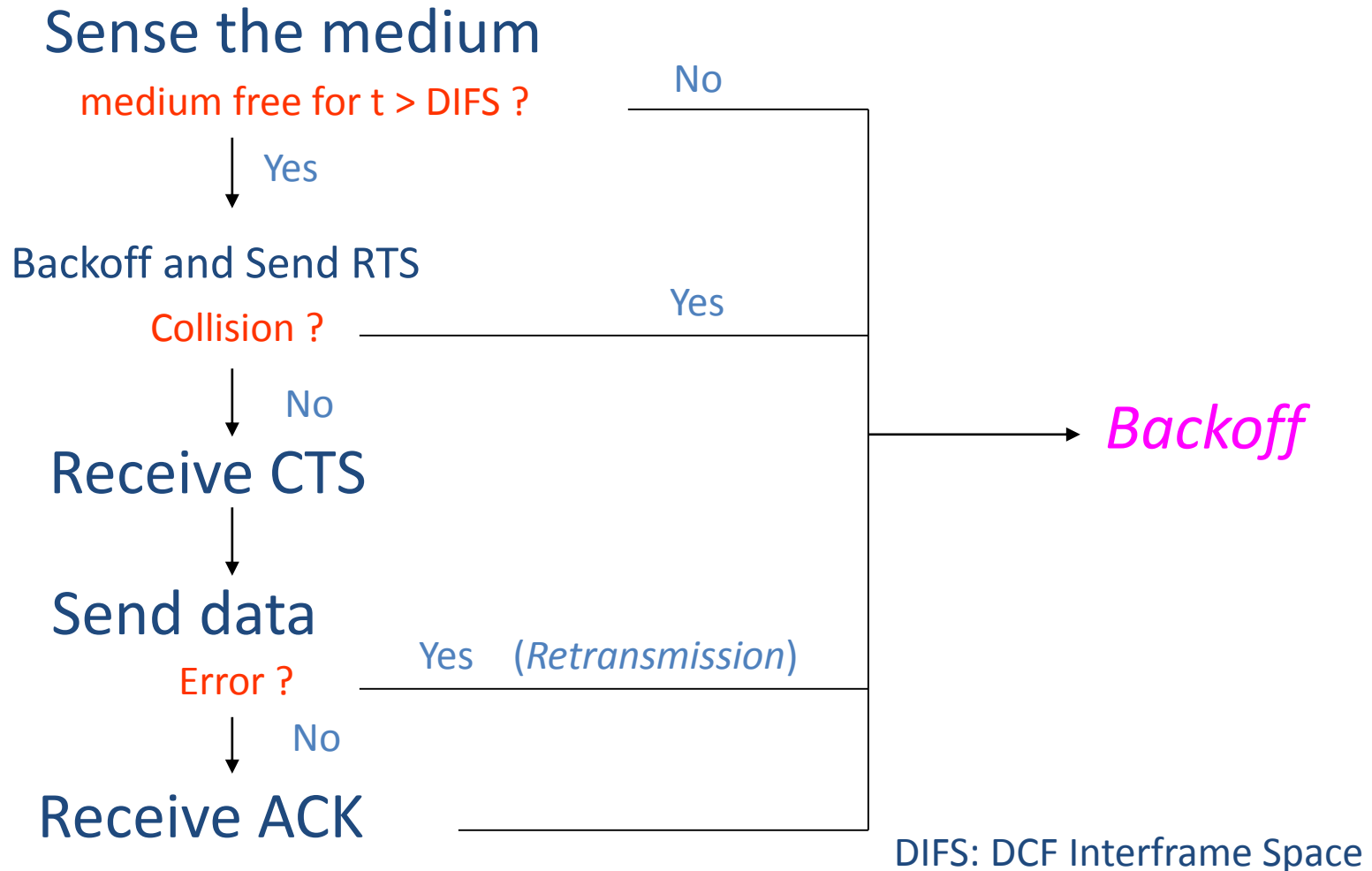


Distributed Coordination Function (1)

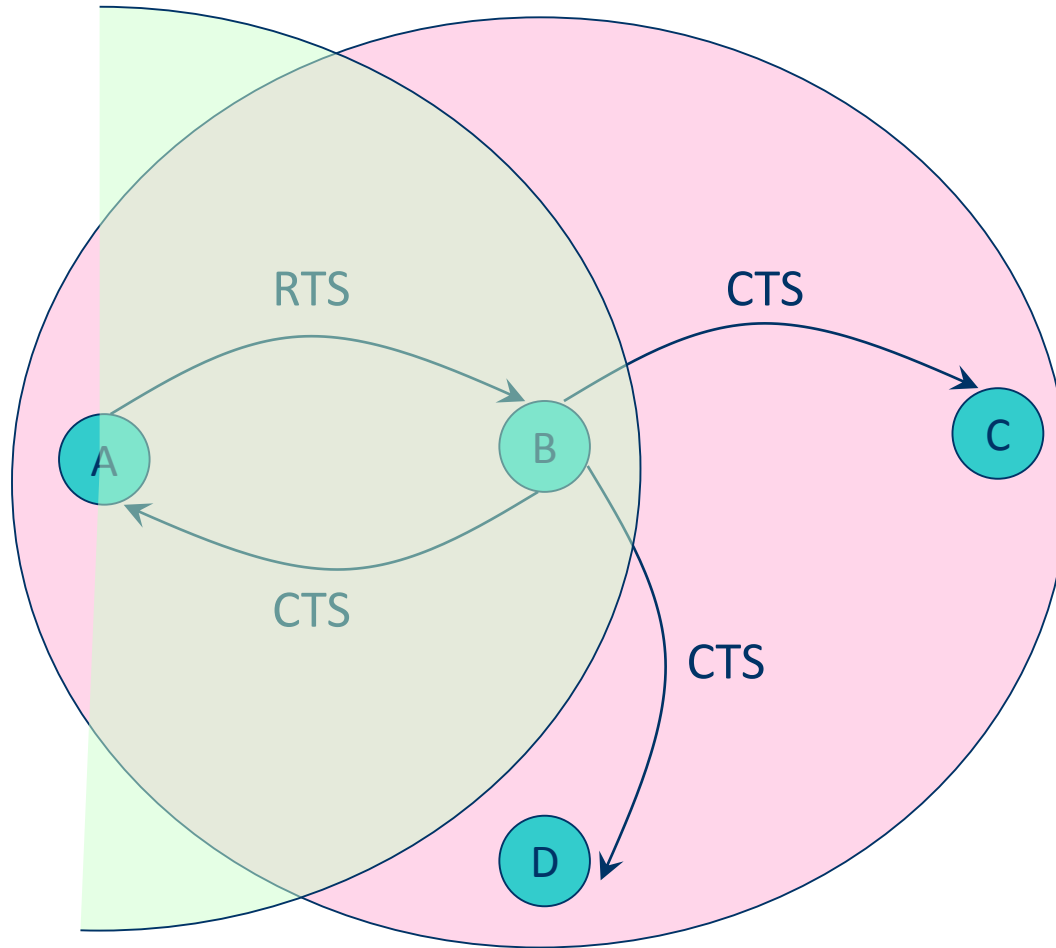
- CSMA/CA based protocol
 - Listen before talk
 - Collision Avoidance αντί για Collision Detection
 - Διαφορετικό από τα CSMA/CD που χρησιμοποιούνται σε ενσύρματα
- Χρησιμοποιεί Acknowledgment για κάθε μετάδοση
- Διόρθωση λαθών μέσω επαναμεταδόσεων
- Χρησιμοποιεί 4-way handshake (μέσω μηνυμάτων RTS/CTS) για «Virtual Carrier Sensing»
- Αντιμετωπίζει το πρόβλημα του κρυμμένου τερματικού



Distributed Coordination Function (2)

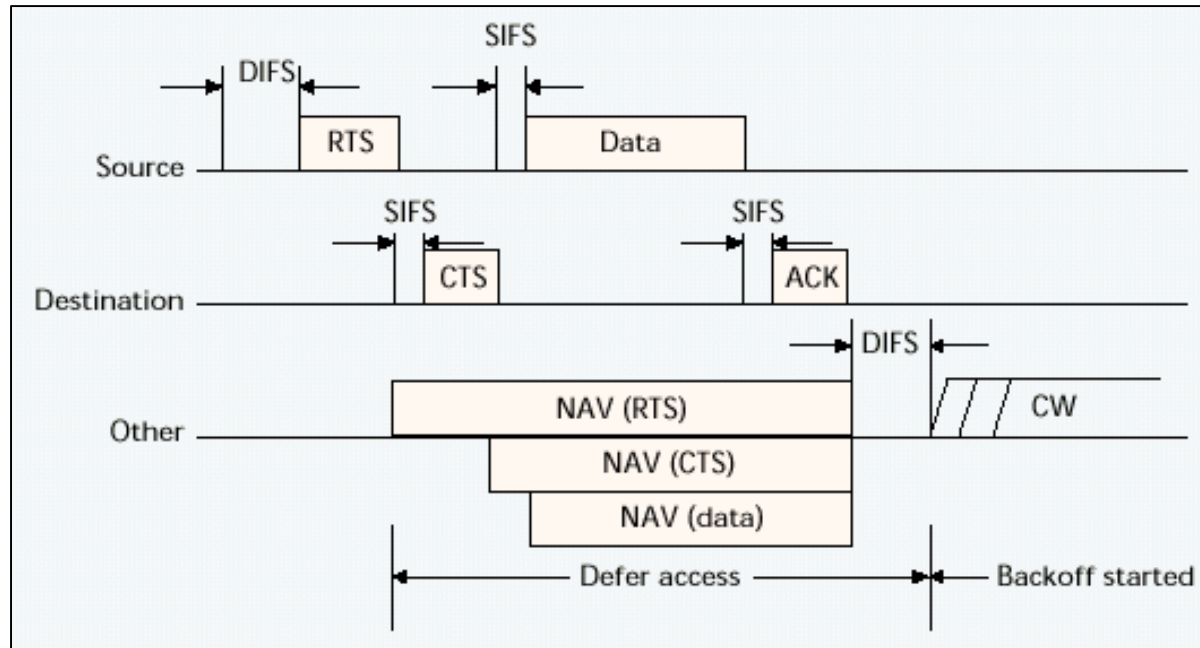


Αποφυγή σύγκρουσης στον κόμβο B (1)



Εικόνα 31.

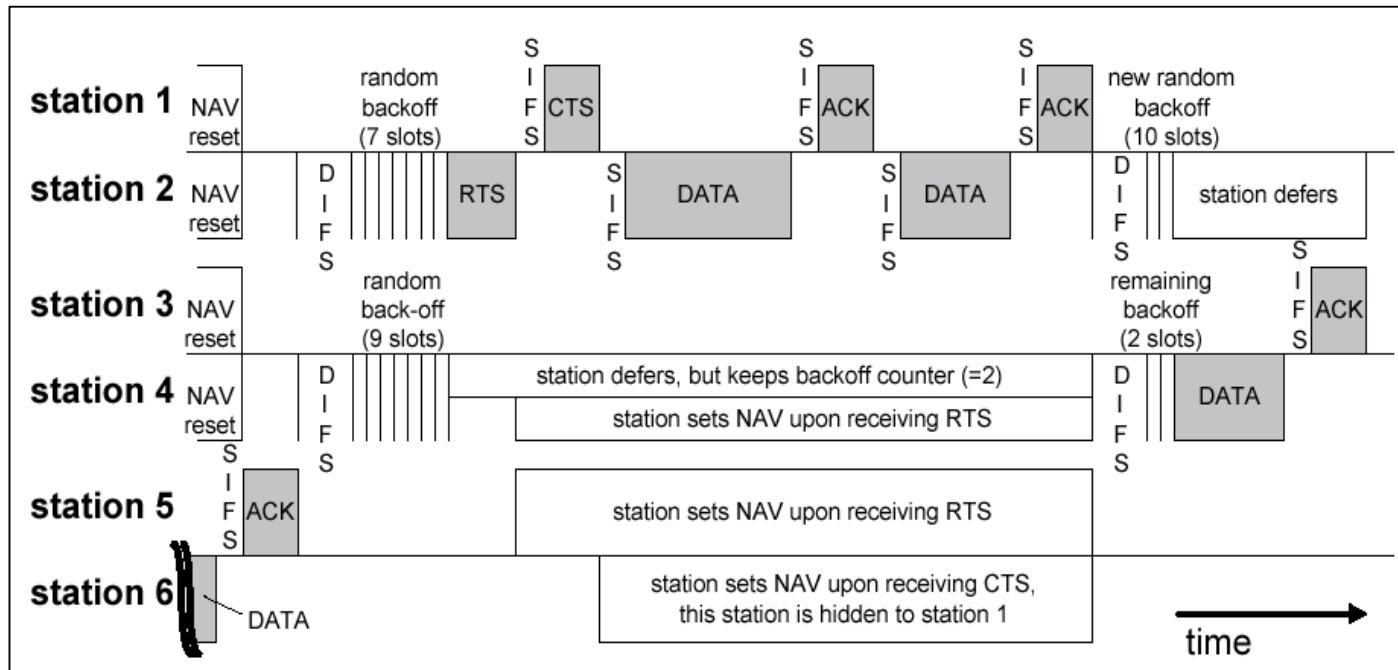
Αποφυγή σύγκρουσης στον κόμβο B (2)



Εικόνα 32.

- Ισχύει πάντα $SIFS < DIFS$
- Πολύ σημαντική η ενημέρωση των NAVs (Network Allocation Vectors) με τη χρήση των RTS/CTS/data MPDUs για την εφαρμογή power saving μηχανισμών και την αποφυγή συγκρούσεων

Παράδειγμα Μετάδοσης με DCF



Εικόνα 33.

- Το CW διπλασιάζεται μετά από κάθε σύγκρουση
- Initial CW \rightarrow 3 (τιμές backoff 0-3)
- CW after Collision 1 \rightarrow 7 (τιμές backoff 0-7)
- CW after Collision 2 \rightarrow 15 (τιμές backoff 0-15)
- CW after Collision 3 \rightarrow 31 (τιμές backoff 0-31)
- CW after Collision 4 \rightarrow 63 (τιμές backoff 0-63)

Βασικά Μειονεκτήματα DCF

- Απρόβλεπτος αριθμός συγκρούσεων
- Απρόβλεπτες καθυστερήσεις επιτυχούς μετάδοσης
- Απρόβλεπτη ρυθμαπόδοση (throughput)
- Μη ελεγχόμενη επιλογή σταθμού προς μετάδοση

Και ένα πλεονέκτημα:

- Χαμηλή καθυστέρηση μετάδοσης και καλή απόδοση σε χαμηλό φόρτο

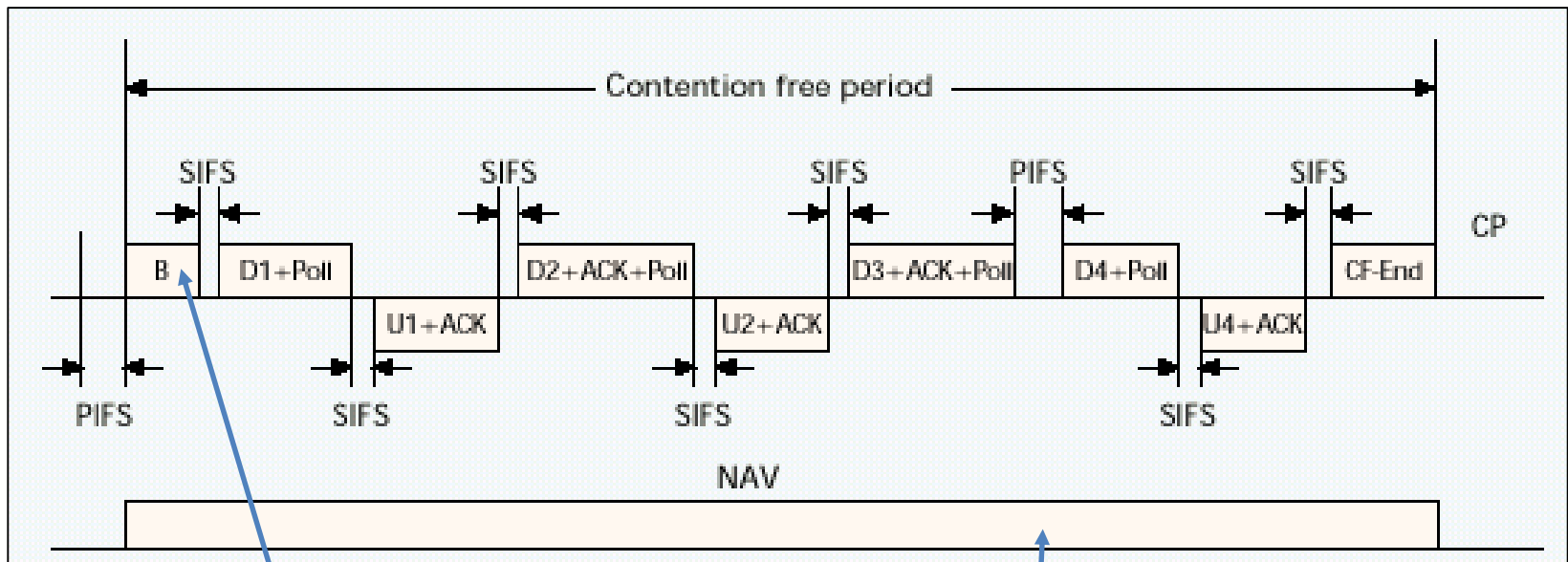


Point Coordination Function (I)

- Ενεργοποιείται από το AP όποτε αυτό κρίνει ότι πρέπει να περάσει σε contention-free period (π.χ. όταν διακρίνει μεγάλο αριθμό συγκρούσεων)
- Γενικά, όταν η κίνηση είναι χαμηλή συμφέρει το DCF, ενώ όταν είναι υψηλή συμφέρει το PCF
- Σε αυτή τη λειτουργία το AP ονομάζεται και Point Coordinator
- Έχει προτεραιότητα σε σχέση με την DCF γιατί ενεργοποιείται μετά από ανενεργό χρόνο $PIFS < DIFS$



Point Coordination Function (II)



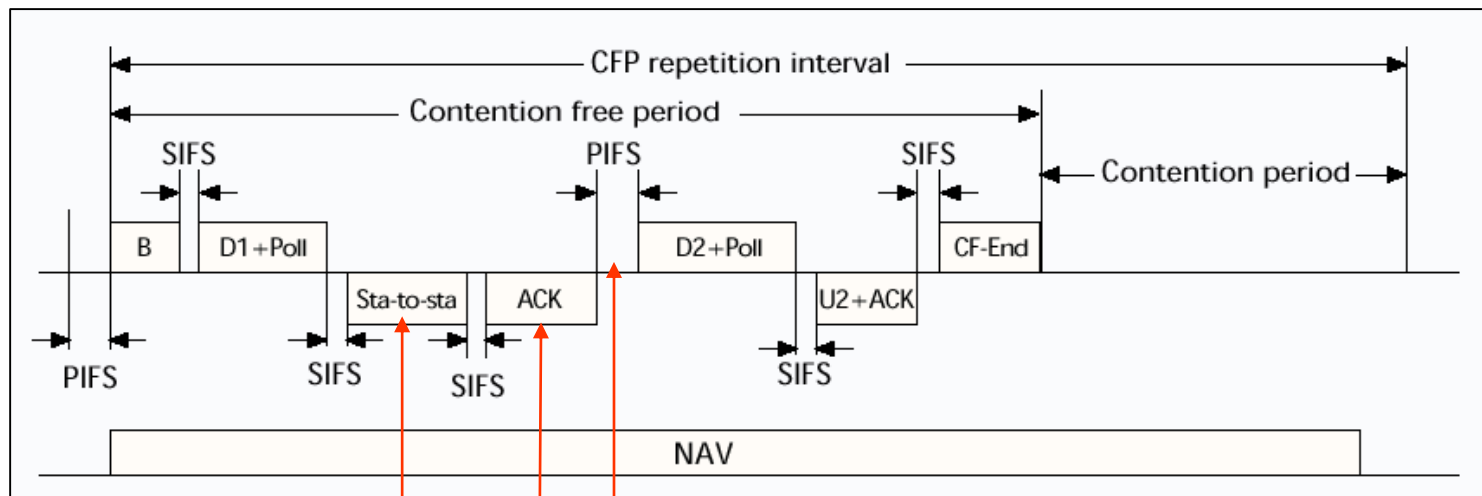
Εικόνα 34.

Synchronization beacon

Variable duration of
Contention Free Period

Point Coordination Function (III)

- Στην περίπτωση που ένα STA θέλει να μιλήσει σε ένα άλλο STA κατά τη διάρκεια της CFP



Εικόνα 35.

- Μόλις έρθει η σειρά του, ένα STA επιλέγει να μεταδώσει σε ένα άλλο STA στο ίδιο BSS
- Μόλις το άλλο STA λάβει τα δεδομένα, απαντά με ένα DCF Ack στο πρώτο STA
- Το AP περιμένει χρόνο ίσο με PIFS πριν συνεχίσει με το επόμενο STA



Βασικά μειονεκτήματα του PCF

- Τα τερματικά δεν έχουν τρόπο να μεταδώσουν τις απαιτήσεις τους στο AP
- Το AP δεν έχει τρόπο να διακόψει μια μετάδοση σε εξέλιξη για να στείλει το synchronization beacon *
- Το Poll δεν καθορίζει χρόνο για τον οποίο δίνεται το κανάλι με αποτέλεσμα ένας σταθμός να μπορεί να το κρατήσει όσο έχει δεδομένα προς μετάδοση *

* Maximum packet (MPDU) allowed 4095 bytes = 32760 bits = 32,76 msec (για κανάλι 1Mbps)



Επεκτάσεις του Προτύπου IEEE 802.11

Εξέλιξη του φυσικού επιπέδου του 802.11 (1)

IEEE 802.11b

- συμβατό MAC με το 802.11
- μεγαλύτερες ταχύτητες στα 2.4 GHz (11Mbps)
- Direct Sequence Spread Spectrum (Complementary Code Keying)

IEEE 802.11a

- συμβατό MAC με το 802.11
- 5 GHz band
- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
- ταχύτητες μετάδοσης μέχρι 54 Mbps
- συνεργασία με BRAN (ETSI Broadband Radio Access Network) για συνύπαρξη με το HIPERLAN/2



Εξέλιξη του φυσικού επιπέδου του 802.11 (2)

IEEE 802.11g

- συμβατό MAC με το 802.11
- ακόμη μεγαλύτερες ταχύτητες στα 2.4 GHz (μέχρι 54Mbps)
- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
- λύσεις από συγκεκριμένες εταιρίες προσφέρουν ταχύτητες μέχρι και 100Mbps



Εξέλιξη του φυσικού επιπέδου του 802.11 (3)

Characteristics	802.11	802.11b	802.11a	802.11g
Modulation	FH/DSSS	DSSS	OFDM	OFDM
Carrier Frequency	2.4 GHz	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz
Max Physical Rate	2 Mb/s	11 Mb/s	54 Mb/s	54 Mb/s
Max Data Rate, Layer 3	1.2 Mb/s	5 Mb/s	32 Mb/s	32 Mb/s
Medium Access Control / Media Sharing	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA
Connectivity	Conn.-less	Conn.-less	Conn.-less	Conn.-less
Multicast	Yes	Yes	Yes	Yes



Άλλες επεκτάσεις του προτύπου 802.11

- **802.11f**

Δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ γειτονικών APs για τη μείωση της καθυστέρησης μεταπομπής

- **802.11e**

Υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας στα πρότυπα 802.11

- **802.11h**

Υποστήριξη συνύπαρξης με άλλα πρότυπα στα 5GHz (π.χ., HiperLAN/2) (Dynamic Frequency Selection – DFS)

- **802.11i**

Επεκτάσεις ασφάλειας μετάδοσης στα δίκτυα 802.11

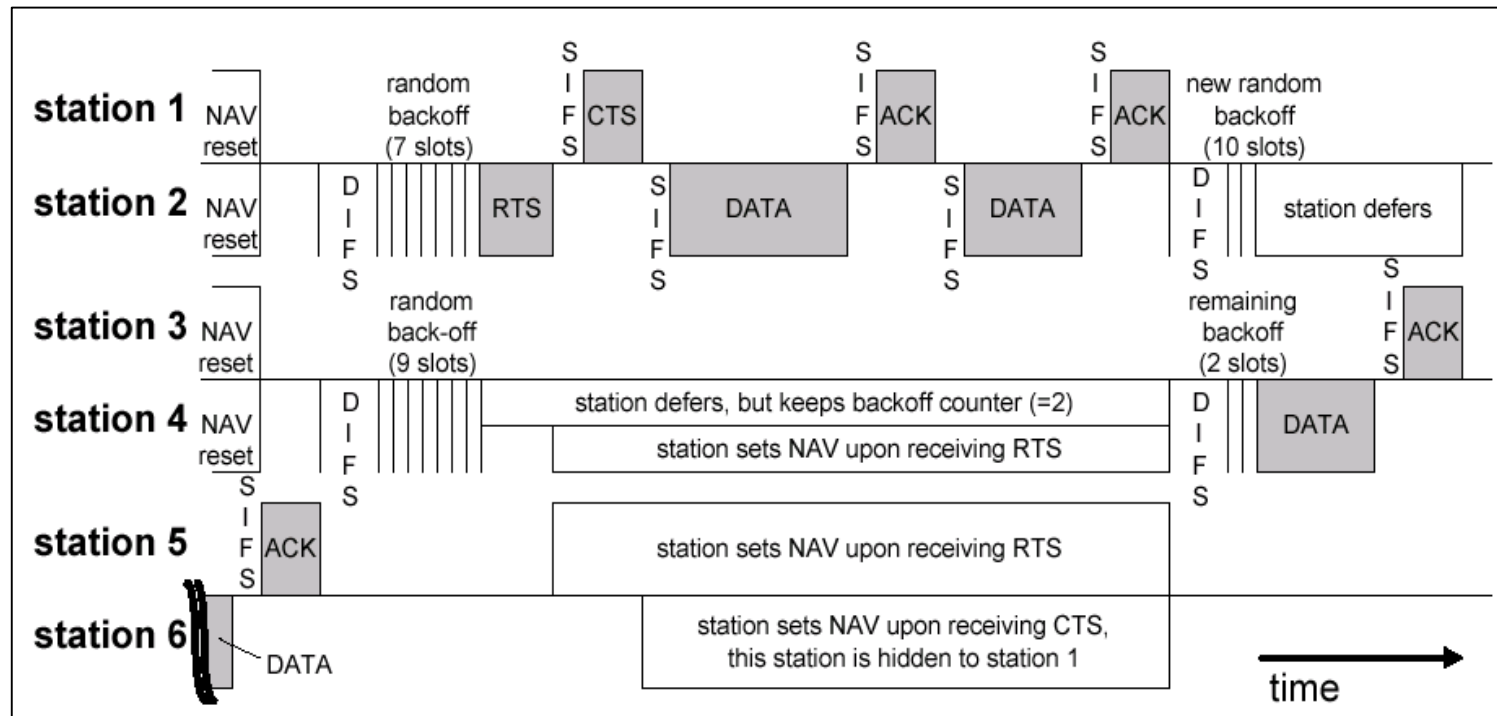


IEEE 802.11e

Εξασφάλιση Ποιότητας Υπηρεσίας
στα Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα

Περιορισμοί του 802.11 σε QoS (1)

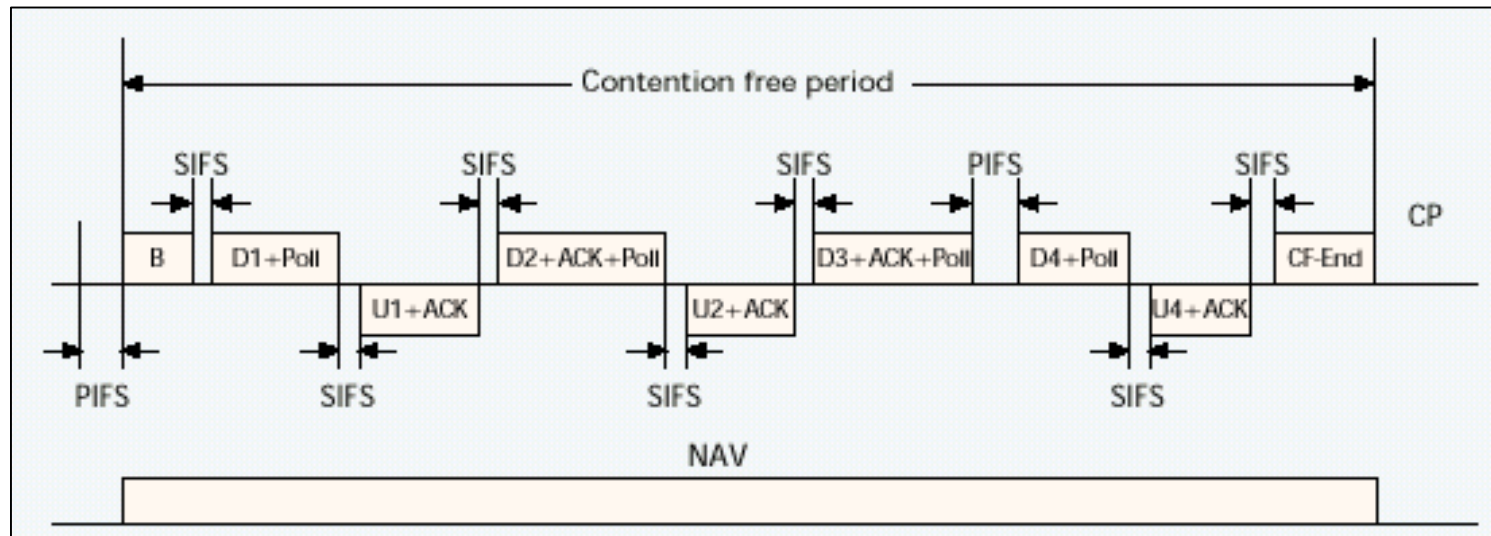
- Το DCF βασίζεται στον ανταγωνισμό και γι' αυτό το λόγο δεν παρέχει διαφοροποίηση της κίνησης και εγγυημένες καθυστερήσεις ή απώλειες πακέτων.



Εικόνα 36.

Περιορισμοί του 802.11 σε QoS (2)

- Στο PCF το Beacon μπορεί να καθυστερήσει αν το κανάλι χρησιμοποιείται για μετάδοση, καθυστερώντας τη μετάβαση σε contention-free περίοδο.
- Στο PCF είναι άγνωστη η περίοδος μετάδοσης ενός τερματικού στο οποίο δίνεται η άδεια μετάδοσης (polling).



Εικόνα 37.

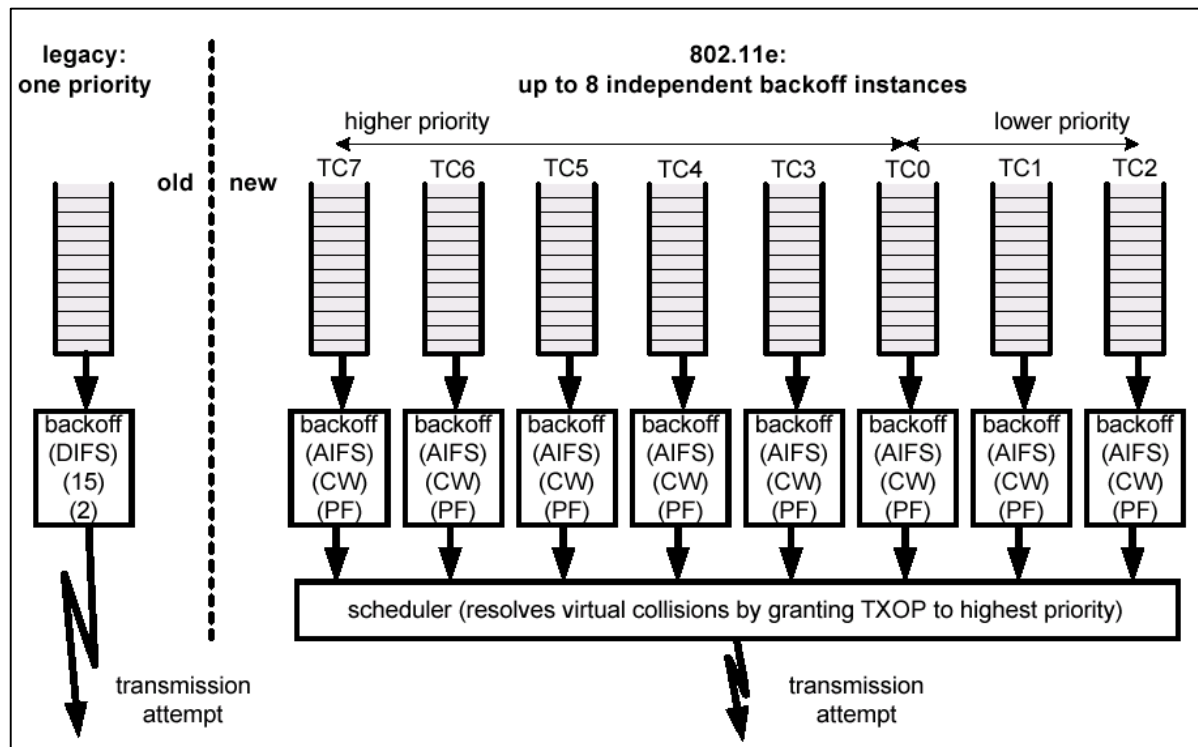
Επεκτάσεις που εισάγει το 802.11e

- EDCF (Enhanced Distributed Coordination Function): Εισαγωγή διαφορετικών κλάσεων κίνησης στο DCF με διαφορετική συμπεριφορά και πιθανότητες πρόσβασης στο μέσο
- HCF (Hybrid Coordination Function): Βελτίωση των αδυναμιών του PCF (άμεση μετάδοση του beacon, ανεξέλεγκτος χρόνος δέσμευσης του καναλιού από τους σταθμούς)



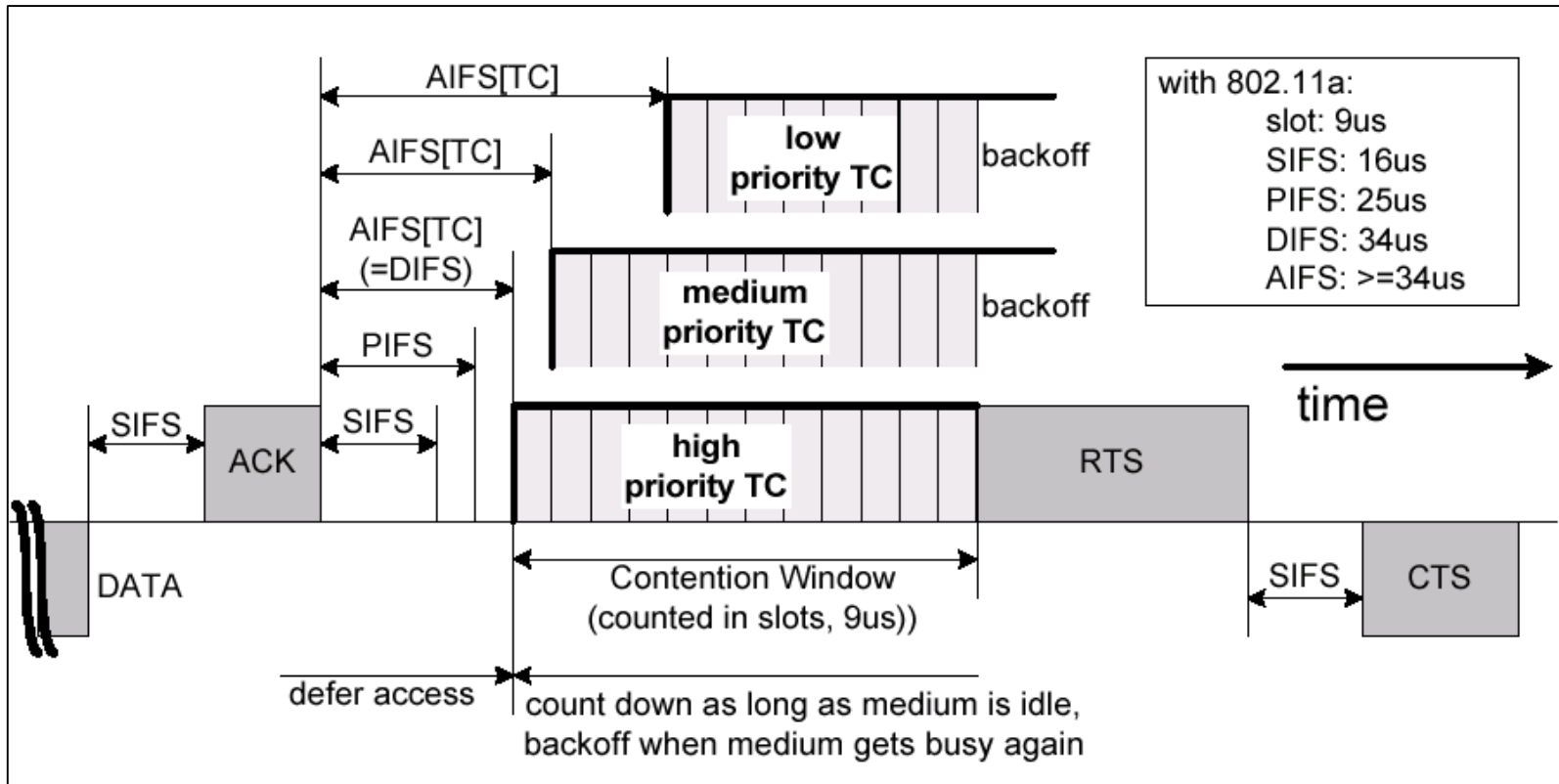
EDCF (Enhanced Distributed Coordination Function)

- CSMA/CA and Exponential Backoff
- Eight Traffic Categories (TCs) within one station



Εικόνα 38.

Inter Frame Space and Contention Window

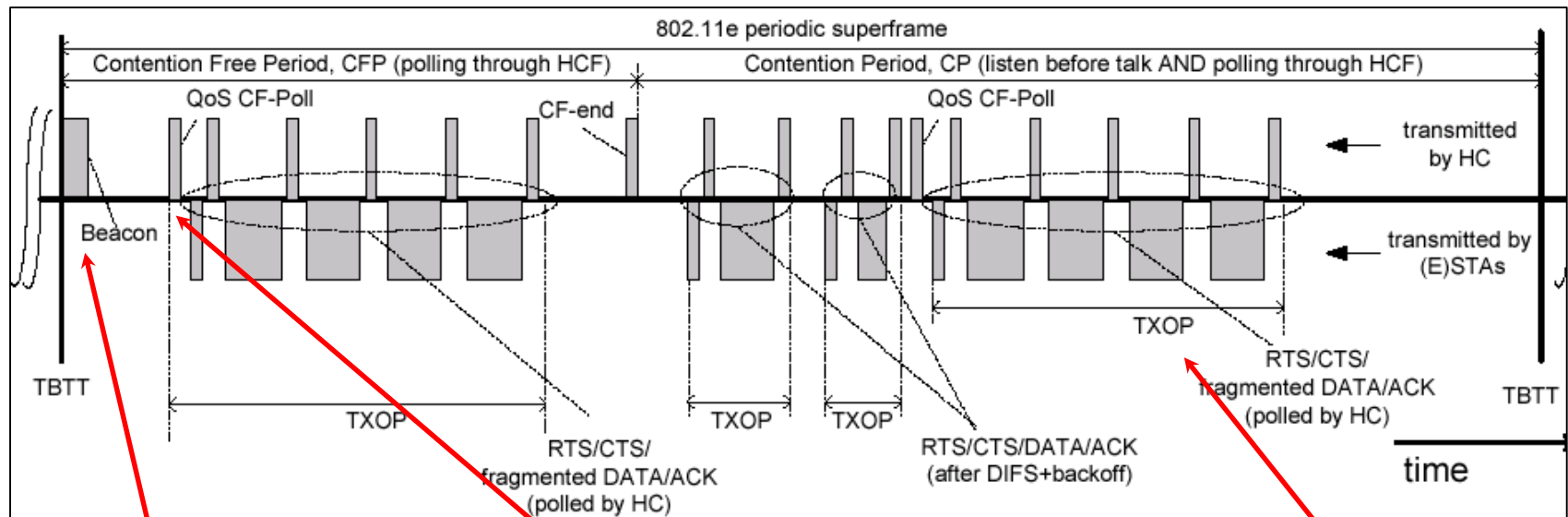


Εικόνα 39.

$$\text{newCW [TC]} \geq ((\text{oldCW [TC]} + 1) * \text{PF}) - 1$$

HCF

(Hybrid Coordination Function)



Εικόνα 40.

Περιέχει και το χρόνο για το επόμενο Beacon

Περιέχει και το χρόνο για τον οποίο δίνεται το κανάλι

Transmission Opportunity

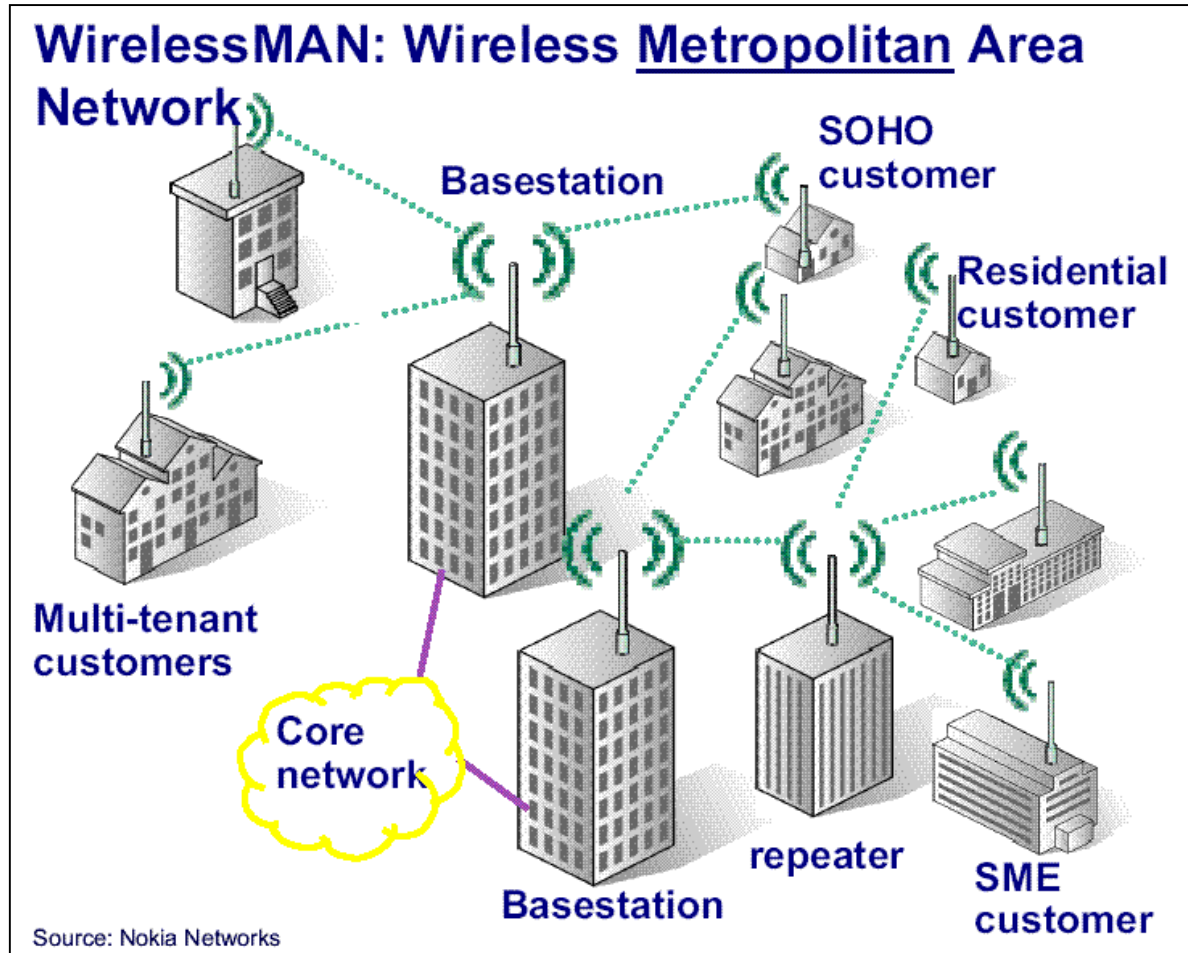


"Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems"

IEEE 802.16

Wireless MAN

Wireless MAN



Εικόνα 41.

Εισαγωγή

- Στόχος: Να παρέχει υψηλής ταχύτητας πρόσβαση στο Internet σε σπίτια και επιχειρήσεις, χωρίς ανάγκη καλωδίωσης.
- Οι σταθμοί βάσης μπορούν να χειρισθούν χιλιάδες συνδρομητές ταυτόχρονα.
- Η μέθοδος πρόσβασης αποτρέπει τις συγκρούσεις.
- Υποστηρίζει
 - Κλασσικά συστήματα φωνής
 - Voice over IP
 - TCP/IP
 - Εφαρμογές με διαφορετικές απαιτήσεις QoS.

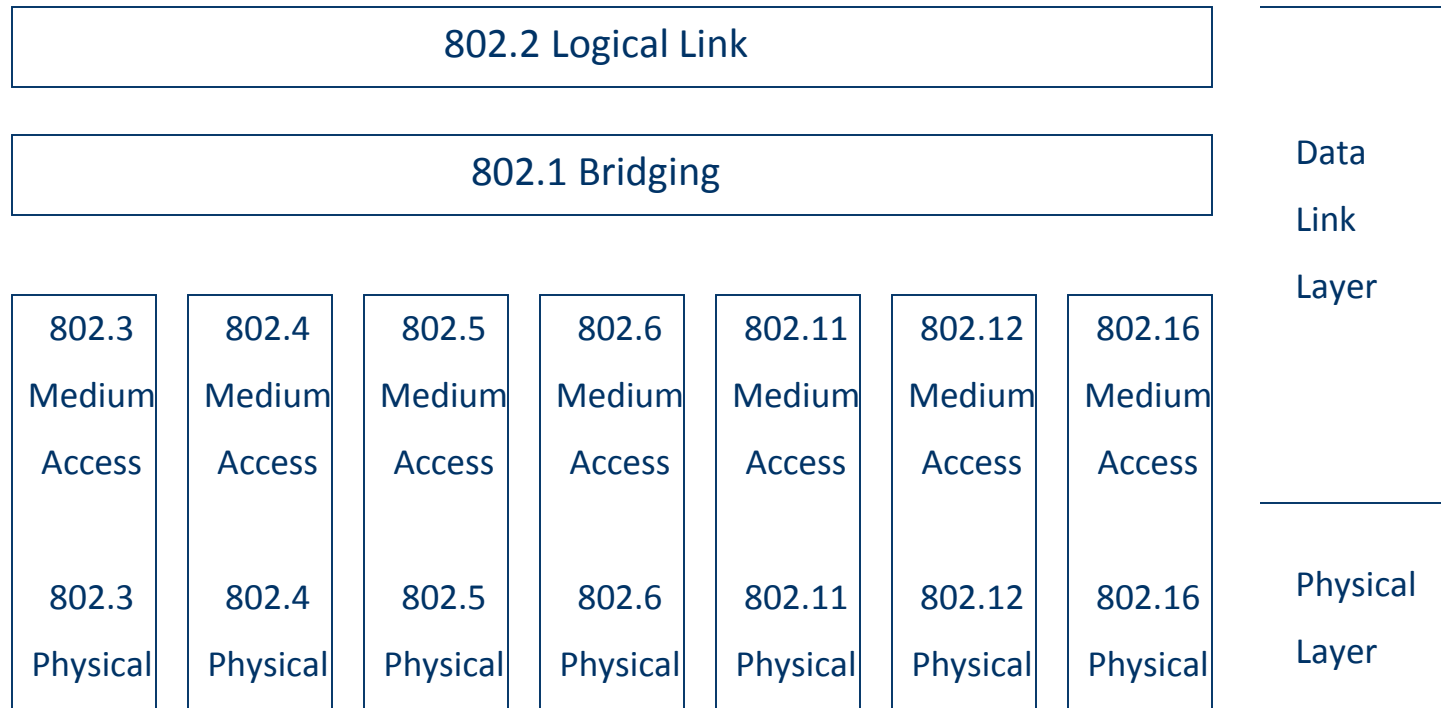


Εισαγωγή, συνέχεια

- Καλύπτει αυτό που λέμε «τελευταίο μίλι» (last mile)
- Ανταγωνιστική τεχνολογία του ADSL
- Στόχος να είναι οικονομικότερη λύση, καθώς δεν απαιτεί καλωδίωση
- Ορολογία:
 - Base Station (BS): Σταθμός Βάσης (ΣΒ)
 - Subscriber Station (SS): Σταθμός Συνδρομητή (ΣΣ) (σπίτι, επιχείρηση)
- Χρησιμοποιεί τις ελεύθερες περιοχές συχνοτήτων (2.4, 5, 11, 60GHz)
- Επικεντρώνεται στις υψηλότερες συχνότητες, γι' αυτό συνήθως απαιτεί line-of-site



Η οικογένεια 802



Σύγκριση με το 802.11 (1)

- Το 802.11 σχεδιάστηκε για να λύσει διαφορετικά προβλήματα σε διαφορετικά περιβάλλοντα
- Το 802.11 σχεδιάστηκε για κινητούς χρήστες και το 802.16 για (στατικά) κτήρια
- Βασικός στόχος του 802.11 ήταν να είναι φτηνό και προσιτό στον καθένα, με αποτέλεσμα να γίνουν πολλές απλουστεύσεις στο σχεδιασμό (π.χ., half-duplex, ανταγωνισμό)
- Τα κτήρια έχουν περισσότερους του ενός υπολογιστές με αποτέλεσμα να απαιτείται υψηλότερη ταχύτητα μετάδοσης
- Αναγκαστικά, το 802.16 θα πρέπει να λειτουργήσει σε υψηλότερες συχνότητες για να καλύψει τις αυξημένες απαιτήσεις σε ταχύτητα μετάδοσης



Σύγκριση με το 802.11 (2)

- Οι μόνες διαθέσιμες στην ISM band είναι στα 11 και 60GHz τα οποία δεν καλύπτονται από το 802.11.
- Το σήμα σε αυτές τις συχνότητες έχει εντελώς διαφορετική συμπεριφορά, με αποτέλεσμα να απαιτείται εντελώς διαφορετικό PHY
- Η αποστάσεις που πρέπει να καλυφθούν έχουν μεγάλη διακύμανση, από μερικά μέτρα έως αρκετά χιλιόμετρα. Το γεγονός αυτό
 - Απαιτεί διακύμανση στην ισχύ μετάδοσης.
 - Εισάγει πιθανά θόρυβο στο σήμα (βροχή, ομίχλη, κτλ.)
 - Απαιτεί λοιπόν ειδικούς μηχανισμούς στο PHY, όπως προσαρμογή διαμόρφωσης και ισχύος ανάλογα με απόσταση και SNR
- Έλεγχος λαθών πολύ σημαντικός στο 802.16, λόγω μεγάλης πιθανότητας λάθους



Σύγκριση με το 802.11 (3)

- Πολύ σημαντική η διαφορά στις απαιτήσεις σε ποιότητα υπηρεσίας.
- Το 802.11 φτιάχτηκε για να παρέχει ουσιαστικά ασύρματη επέκταση στο Ethernet, χωρίς QoS.
- Ακόμα και το PCF στο 802.11 έχει αρκετά προβλήματα, όπως είδαμε.
- Το 802.16 καλείται να καλύψει απαιτήσεις σταθερών χρηστών, που μπορεί να περιλαμβάνουν τηλεφωνία, βίντεο-κλήσεις, και άλλες απαιτητικές εφαρμογές.
- Οι απαιτήσεις αυτές θα πρέπει να καλυφθούν από ένα πολύ πιο εξελιγμένο πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης, ικανό να διαφοροποιεί την εξυπηρέτηση, ανάλογα με τις διαφορετικές απαιτήσεις.



Σύγκριση με το 802.11 (4)

- Το 802.16 λειτουργεί σε εξωτερικούς χώρους, άρα απαιτεί εξελιγμένους μηχανισμούς για: ασφάλεια (encryption, authentication), αντιμετώπιση παρεμβολών.



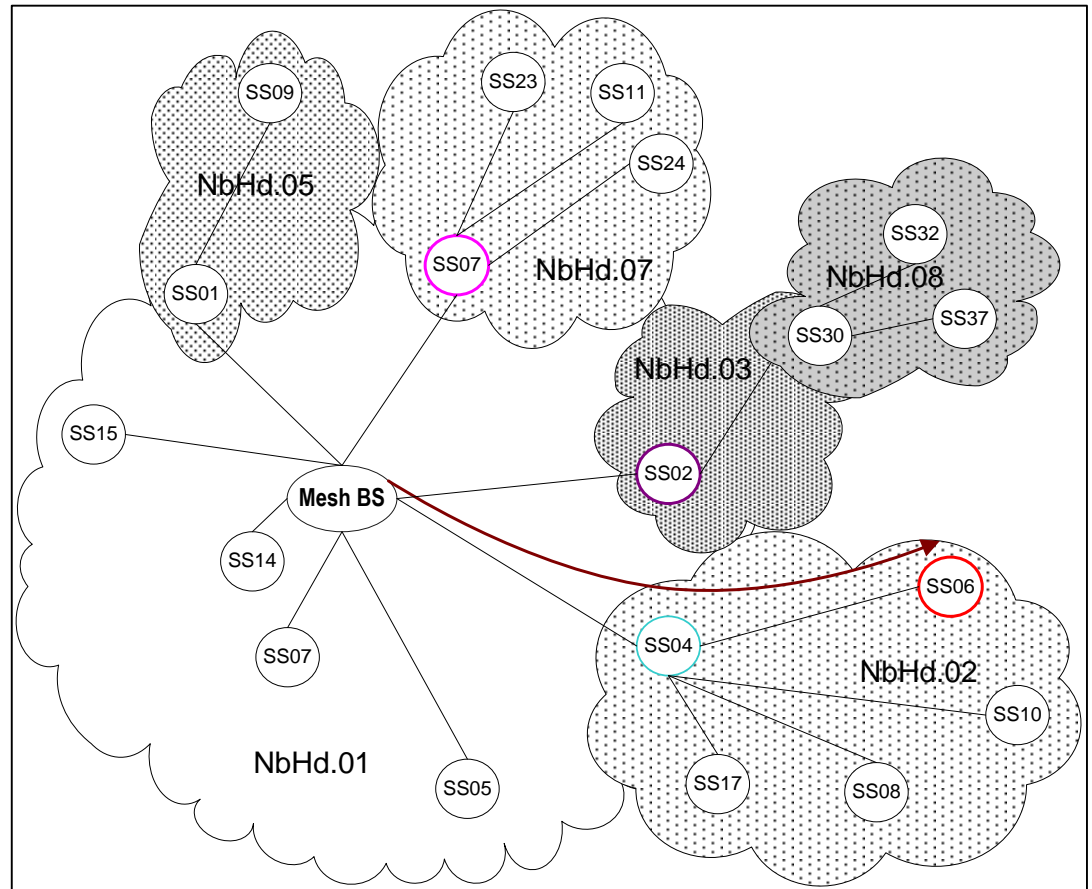
Σύγκριση με τα κινητά

- Το 802.16 δεν είναι WLAN, αλλά δεν είναι και σύστημα κινητής επικοινωνίας
- Τα συστήματα αυτά επικεντρώνονται σε **κινητούς** χρήστες που ο καθένας δημιουργεί περιορισμένη κίνηση
- Η υποστήριξη κινητικότητας στο 802.16 δεν υπάρχει στη βασική έκδοση και καλύπτεται από τις επεκτάσεις του
- Ουσιαστικά το 802.16 ξεπεράστηκε από την ταχεία εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών, αν και έδωσε πολλές σχεδιαστικές ιδέες σε αυτά.



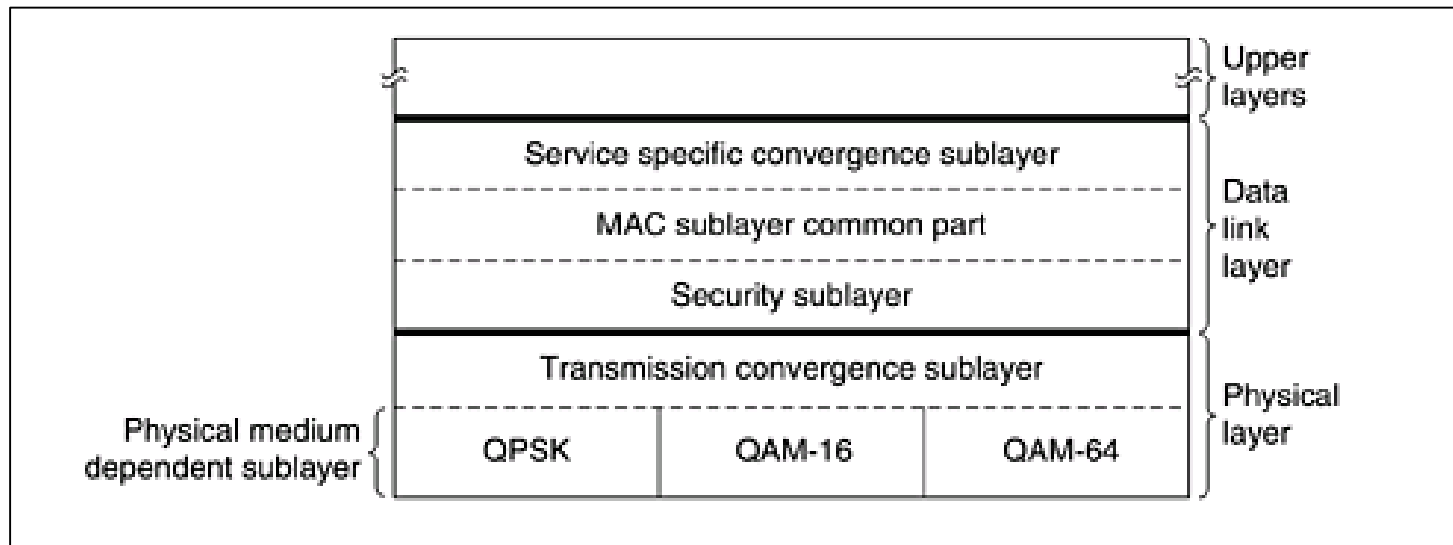
802.16 Τρεις Μέθοδοι Λειτουργίας

- Point-to-Multipoint (PMP)
- Centralized Mesh
- Distributed Mesh



Εικόνα 42.

Υποστηριζόμενα επίπεδα

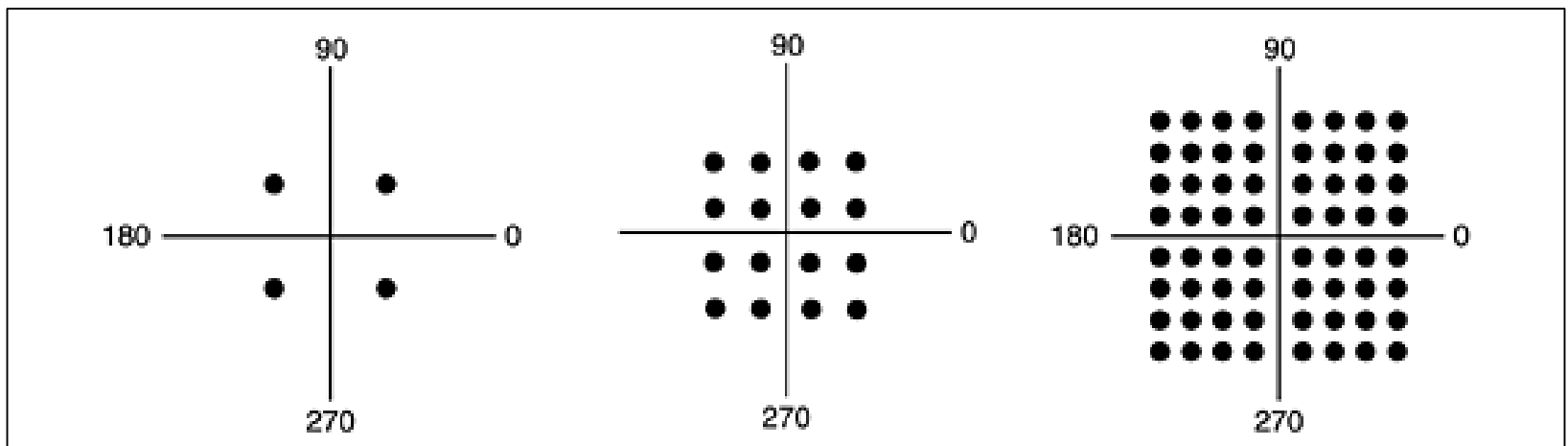


Εικόνα 43.



Δυνατές διαμορφώσεις

- QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) = 4 phase shifts, 1 amplitude level, 2 bits/symbol
- QAM-16 = 4 phase shifts, 4 amplitude levels, 4 bits/symbol
- QAM-64 = 4 phase shifts, 16 amplitude levels, 6 bits/symbol



Εικόνα 44.

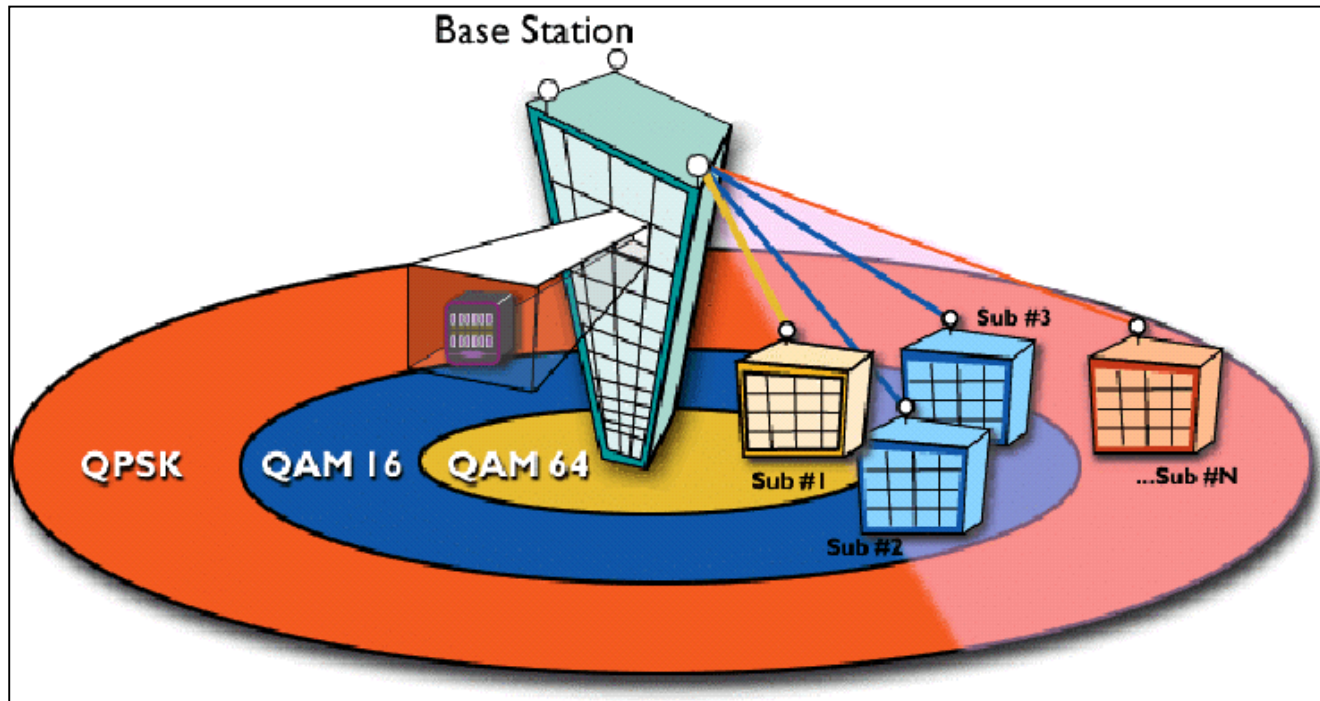
QPSK

QAM-16

QAM-64



Adaptive Modulation



Εικόνα 45.

Μετάδοση σε υψηλές συχνότητες

- Σε τόσο υψηλές συχνότητες (11-60GHz), το σήμα διαδίδεται σε σχεδόν ευθείες γραμμές (όπως το φως).
- Αποτέλεσμα να απαιτούνται περισσότερες τις μιας κεραιές για να καλύψουν μια κυψέλη (π.χ., 4 για 4 διαφορετικούς τομείς).
- Αυτό δεν είναι απαραίτητα αρνητικό, γιατί έτσι μπορούν να υποστηριχθούν περισσότεροι χρήστες.
- Κάθε τομέας έχει τους δικούς του χρήστες που είναι ανεξάρτητοι από τους άλλους και έτσι αποτρέπονται οι παρεμβολές.



WiMAX – PHY Layer (1)

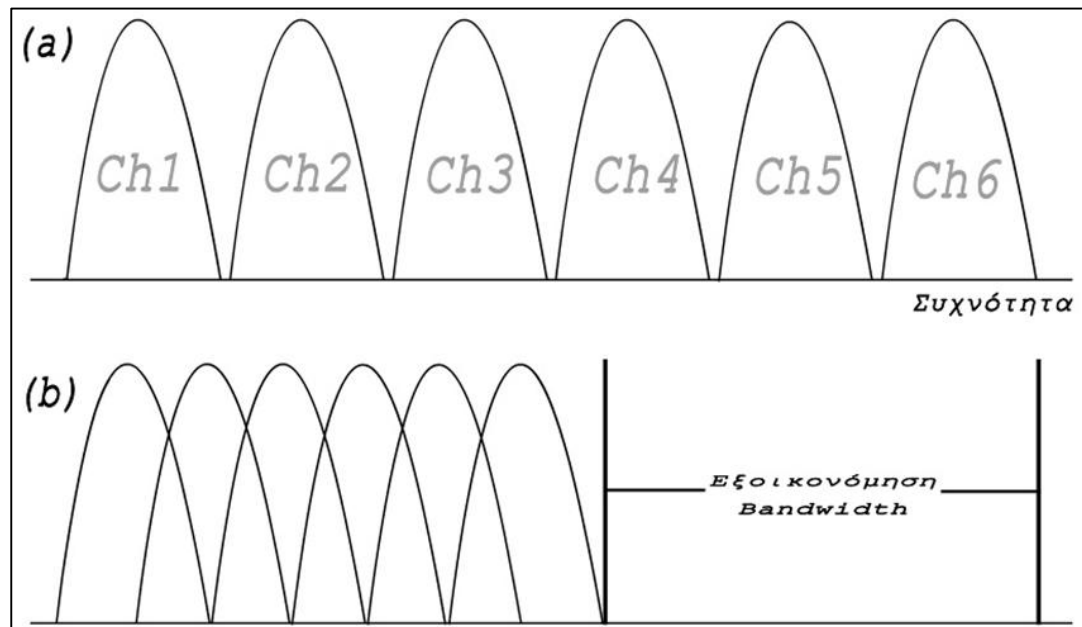
- Χρήση OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).
- Χρήση Προσαρμοστικής Διαμόρφωσης (Adaptive Modulation).
- Χρήση FEC (Forward Error Correction) ή αλλιώς Coding.
- Χρήση CRC (Cyclic Redundancy Check).



WiMAX – PHY Layer (2)

OFDM:

- Σε ένα κλασικό σύστημα παράλληλης μετάδοσης δεδομένων η συνολικά διαθέσιμη μπάντα συχνοτήτων διαιρείται σε N μη επικαλυπτόμενα υποκανάλια.
- Στο OFDM τα κανάλια είναι επικαλυπτόμενα.



Εικόνα 46.

WiMAX – PHY Layer (3)

Adaptive Modulation and Coding:

- Προσαρμόζει τη διαμόρφωση και την κωδικοποίηση (FEC) της ζεύξης ανάλογα με την ποιότητα του σήματος με στόχο να προσφέρει το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης.
- Χρησιμοποιούνται 8 διαφορετικοί τύποι συνδυασμού διαμόρφωσης και κωδικοποίησης.



WiMAX – PHY Layer (4)

Adaptive Modulation and Coding:

Modulation	FEC Coding Rate	<u>Uncoded Burst Rate (Mbps)</u>	End to End Ethernet Throughput (Mbps)
BPSK	$\frac{1}{2}$	6	5.7
BPSK	$\frac{3}{4}$	9	8.6
QPSK	$\frac{1}{2}$	12	11.4
QPSK	$\frac{3}{4}$	18	17
16QAM	$\frac{1}{2}$	24	22.4
16QAM	$\frac{3}{4}$	36	33
64QAM	$\frac{2}{3}$	48	43.2
64QAM	$\frac{3}{4}$	54	48.1

Εικόνα 47.

Για κάθε 3 bits data στέλνεις 4 bit (data+code)



WiMAX – PHY Layer (5)

- Συνοψίζοντας

Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα
Χρήση OFDM με 256 φέρουσες	Επικοινωνία LOS και NLOS
Χρήση προσαρμοστικής διαμόρφωσης και κωδίκων διόρθωσης σφαλμάτων	Αποτελεσματικές ζεύξεις με μέγιστο αριθμό bits/sec σε κάθε χρήση
Υποστήριξη TDD και FDD	Ικανοποιεί τις συνθήκες διαχείρισης φάσματος κάθε χώρας
Μεταβλητό εύρος ζώνης καναλιού (3.5 MHz , 5MHz , 10MHz)	Δυνατότητα λειτουργίας σε πολλές ζώνες συχνοτήτων ανάλογα με τον κανονισμό κάθε χώρας
Υποστήριξη έξυπνων κεραιών	Εξασφαλίζεται υψηλό κέρδος ισχύος

Εικόνα 48.



Media Access Control (MAC) (1)

- Στηρίζεται στην αρχή ότι η καθοδική (downlink) και ανοδική (uplink) κίνηση δεν είναι απαραίτητα συμμετρικές (όπως π.χ. στο GSM).
- Συνήθως η καθοδική κίνηση είναι μεγαλύτερη (π.χ., downloading, video-on-demand).
- Έτσι το MAC του 802.16 είναι πιο ευέλικτο στη διαχείριση του εύρους ζώνης παρέχοντας τόσο FDD όσο και TDD μετάδοση.



Media Access Control (MAC) (2)

- Connection oriented μετάδοση
 - Connection ID (CID)
 - Uni-directional
- Channel access:
 - UL-MAP
 - Ορίζει τη δέσμευση στην ανοδική (uplink) κατεύθυνση
 - Ποιος μεταδίδει (στο σταθμό βάσης) και πότε
 - DL-MAP
 - Ορίζει τη δέσμευση στην καθοδική (downlink) κατεύθυνση
 - Ποιος λαμβάνει (από το σταθμό βάσης) και πότε
 - UL-MAP και DL-MAP μεταδίδονται στην αρχή της καθοδικής περιοχής (τόσο στο FDD όσο και στο TDD).

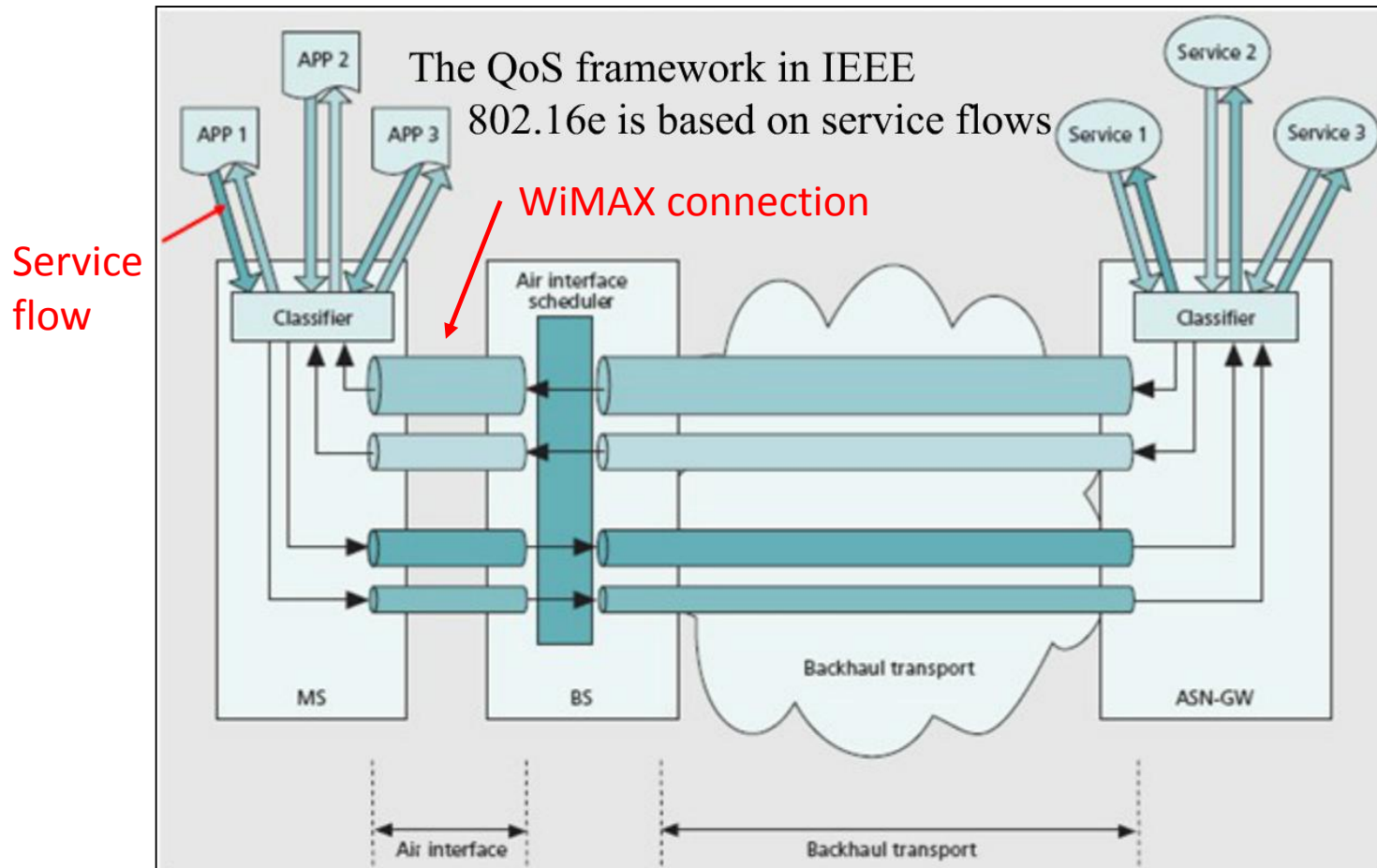


Μηχανισμοί QoS

- Κατηγοριοποίηση κίνησης (Classification)
 - Αντιστοίχιση χαρακτηριστικών κίνησης ανωτέρων επιπέδων (π.χ., destination IP address ή ToS field) σε CID.
- Χρονοδρομολόγηση (scheduling)
 - Για καθοδική κίνηση
 - Απλή, όλες οι ουρές είναι στο ΣΒ
 - Για ανοδική κίνηση
 - Οι ουρές είναι μοιρασμένες στα τερματικά
 - Οι καταστάσεις των ουρών και οι απαιτήσεις μεταφέρονται στο ΣΒ μέσω αιτήσεων
 - Αλγόριθμοι χρονοδρομολόγησης δεν περιλαμβάνονται στο πρότυπο του 802.16.



Media Access Control (MAC) (3)



Εικόνα 49.

Παράμετροι Ποιότητας Υπηρεσίας

- Παράμετροι ποιότητας υπηρεσίας κατά την αρχικοποίηση μιας σύνδεσης – connection admission control:
- Minimum Reserved Traffic Rate (in bits/sec)
- Maximum Sustained Traffic Rate (in bits/sec)
- Maximum Latency (in ms)
- Max SDU Size (in bytes, default=49)
- Tolerated Jitter (maximum delay variation in ms)
- Traffic Priority (values 0-7, with 7 the highest)
- ...



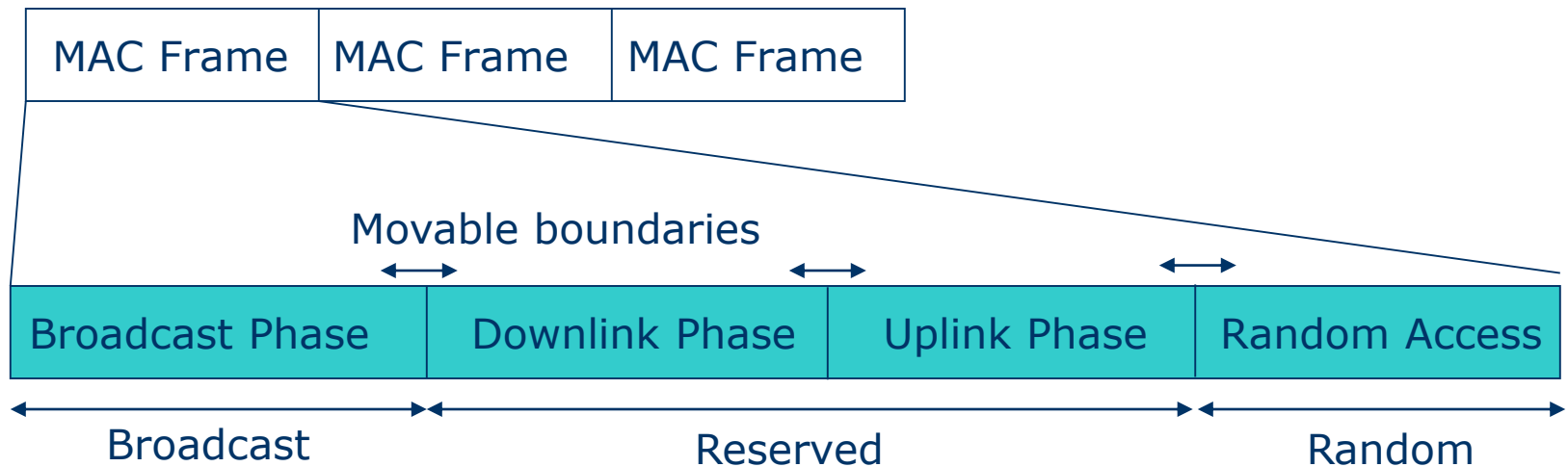
Ορίζονται 5 διαφορετικά είδη κίνησης (services)

QoS Category	Application	Specification
UGS Unsolicited Grant Service	VOIP	<ul style="list-style-type: none">•Maximum Sustained Rate•Maximum Latency Tolerance•Jitter Tolerance
rtPS Real-Time Polling Service	Streaming Audio or Video	<ul style="list-style-type: none">•Maximum Sustained Rate•Minimum Reserved Rate•Maximum Latency Tolerance•Traffic Priority
ErtPS Extend Real-Time Polling Service	Voice with Activity Detection	<ul style="list-style-type: none">•Maximum Sustained Rate•Minimum Reserved Rate•Maximum Latency Tolerance•Jitter Tolerance•Traffic Priority
nrtPS Non-Real-Time polling service	File Transfer Protocol	<ul style="list-style-type: none">•Maximum Sustained Rate•Minimum Reserved Rate•Traffic Priority
BE Best-Effort Service	Data Transfer, Web Browsing	<ul style="list-style-type: none">•Maximum Sustained Rate•Traffic Priority

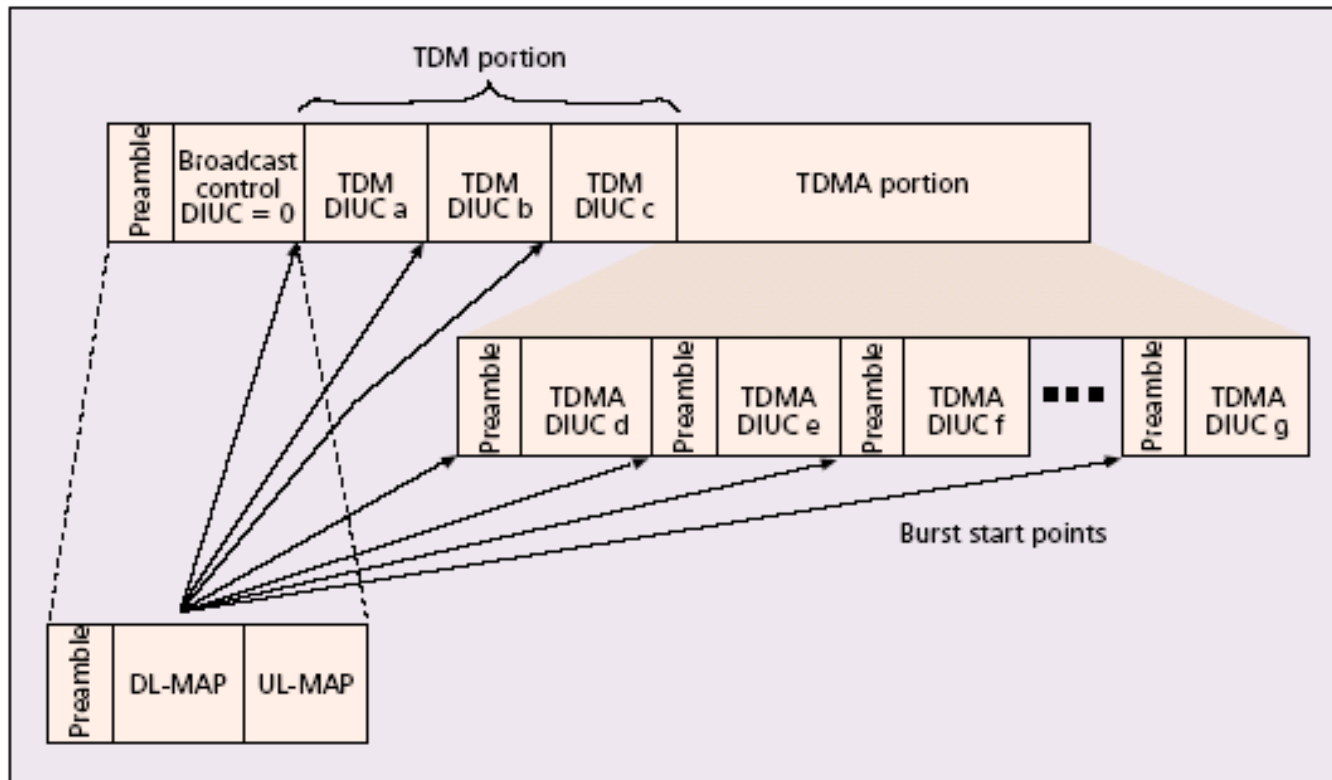
Εικόνα 50.



Time Division Duplexing (TDD) (1)

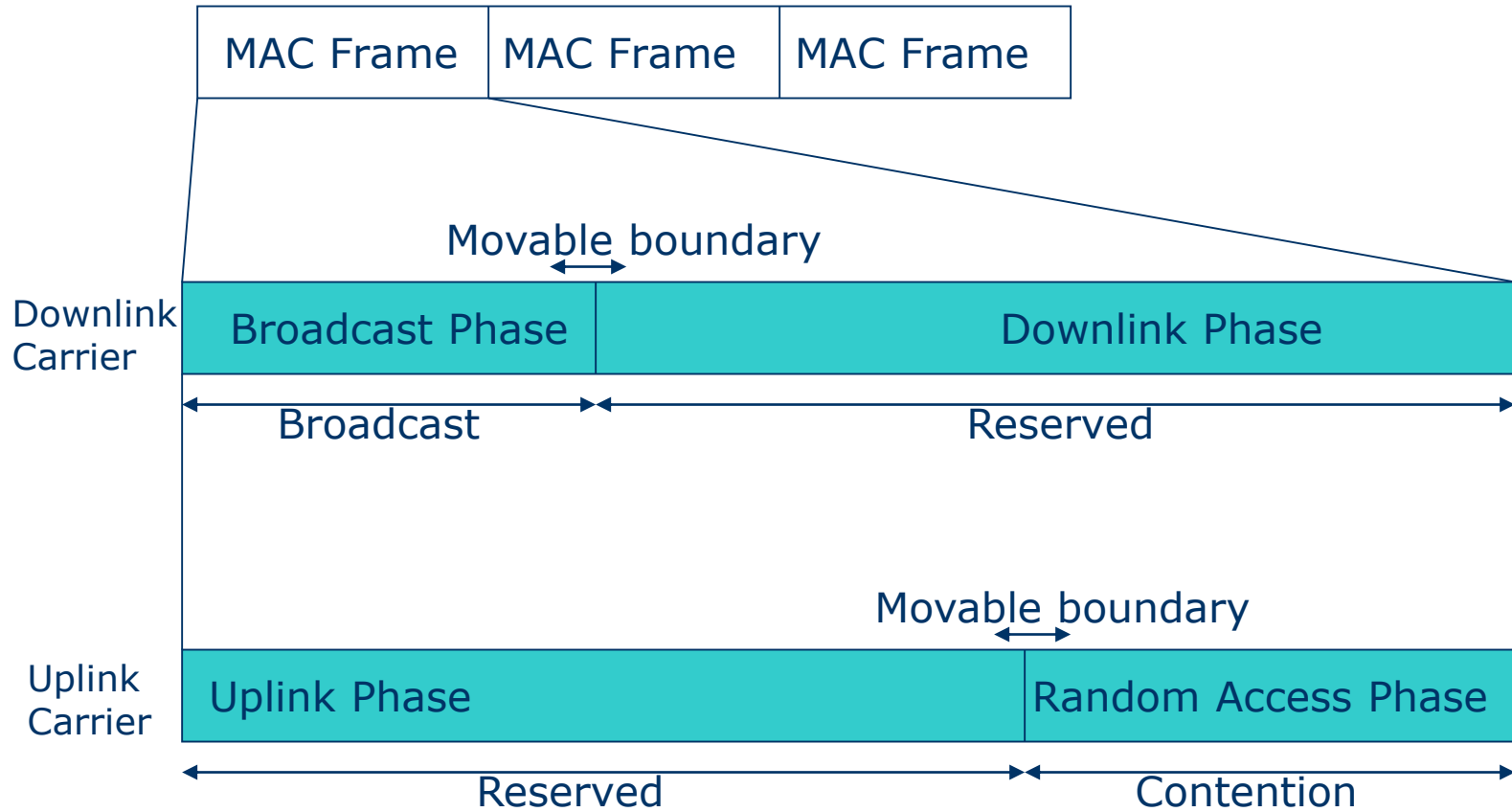


Time Division Duplexing (TDD) (2)

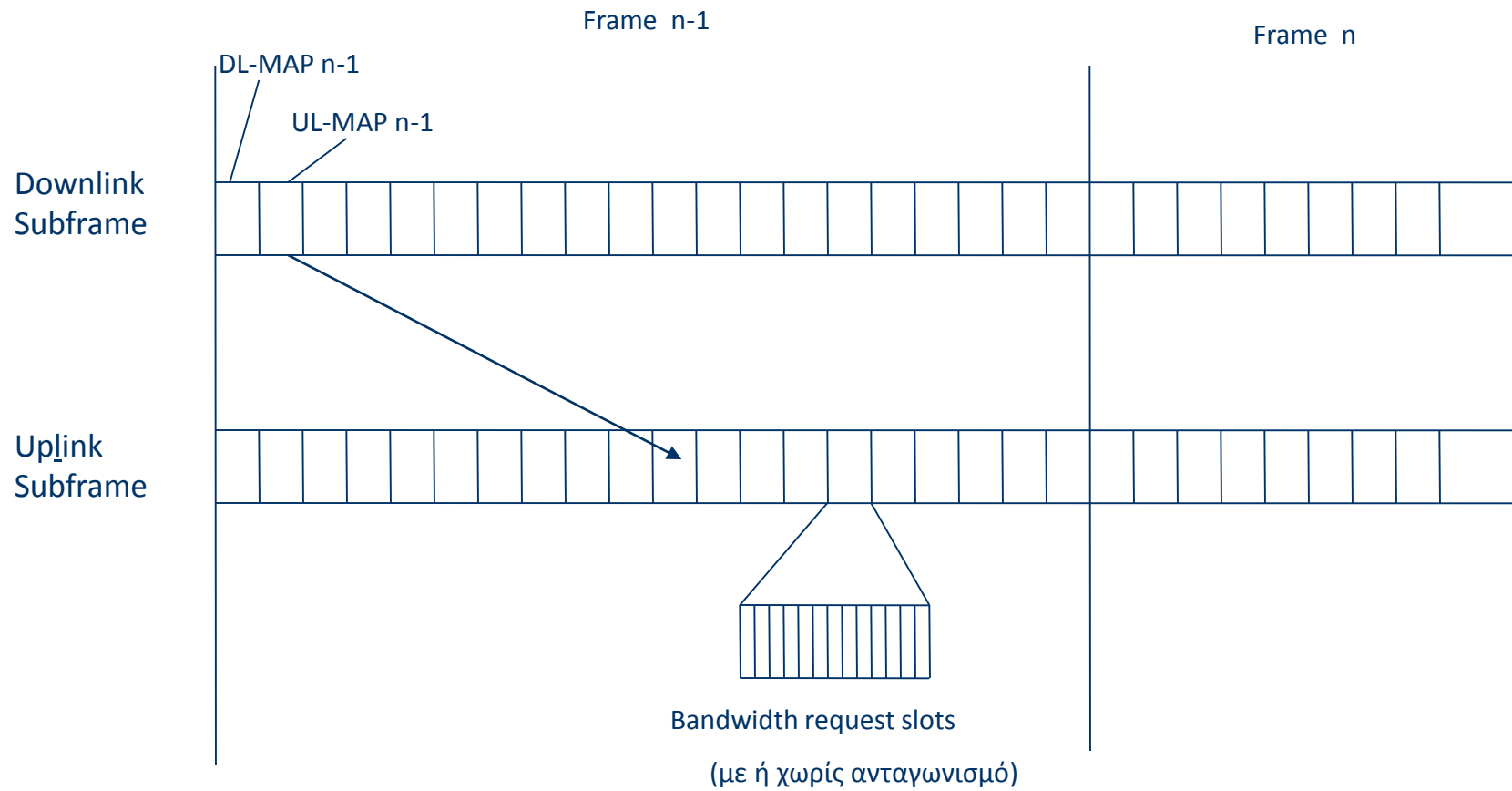


Εικόνα 51.

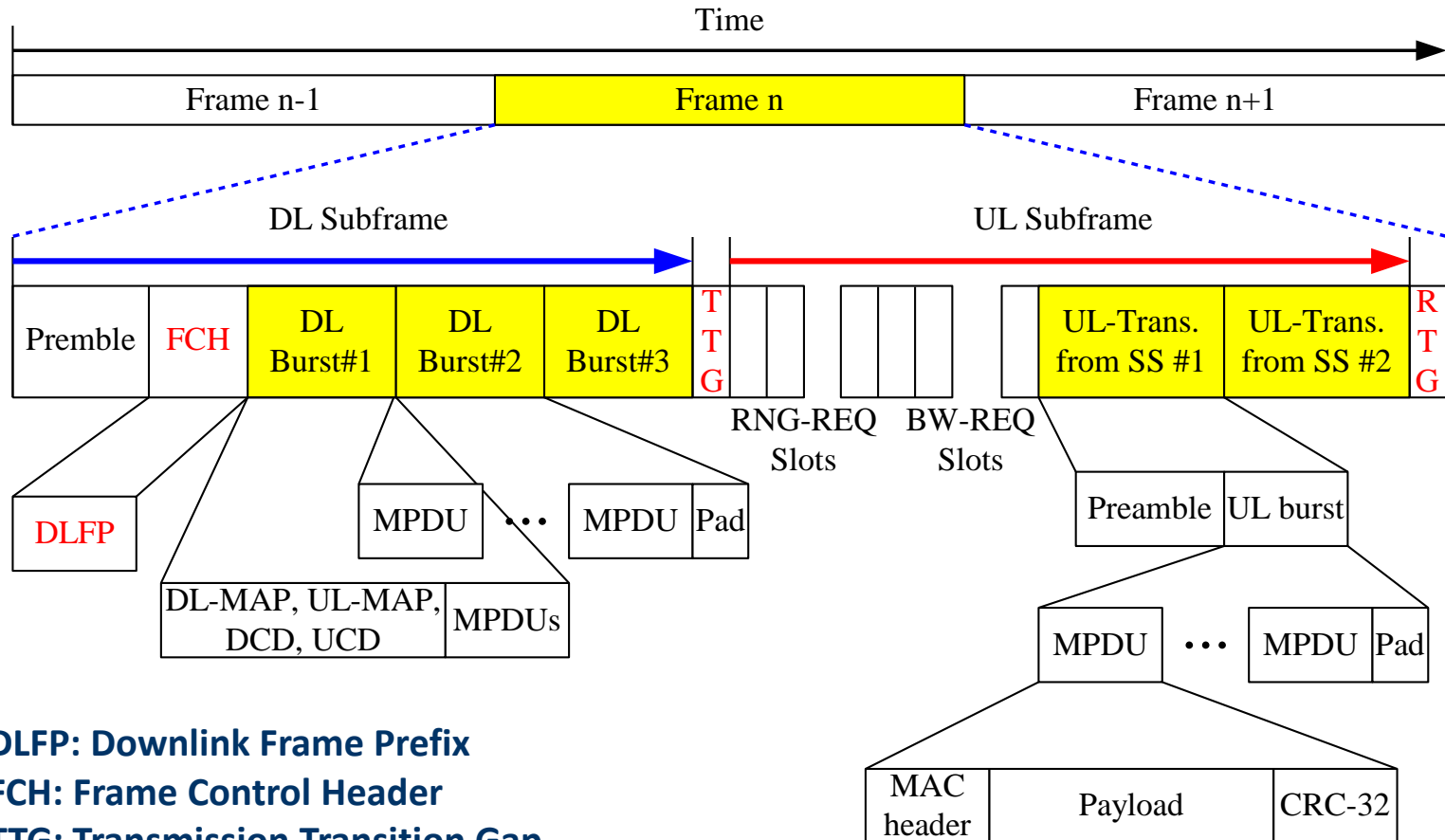
Frequency Division Duplexing (FDD)



Δήλωση δεσμεύσεων πόρων (FDD)



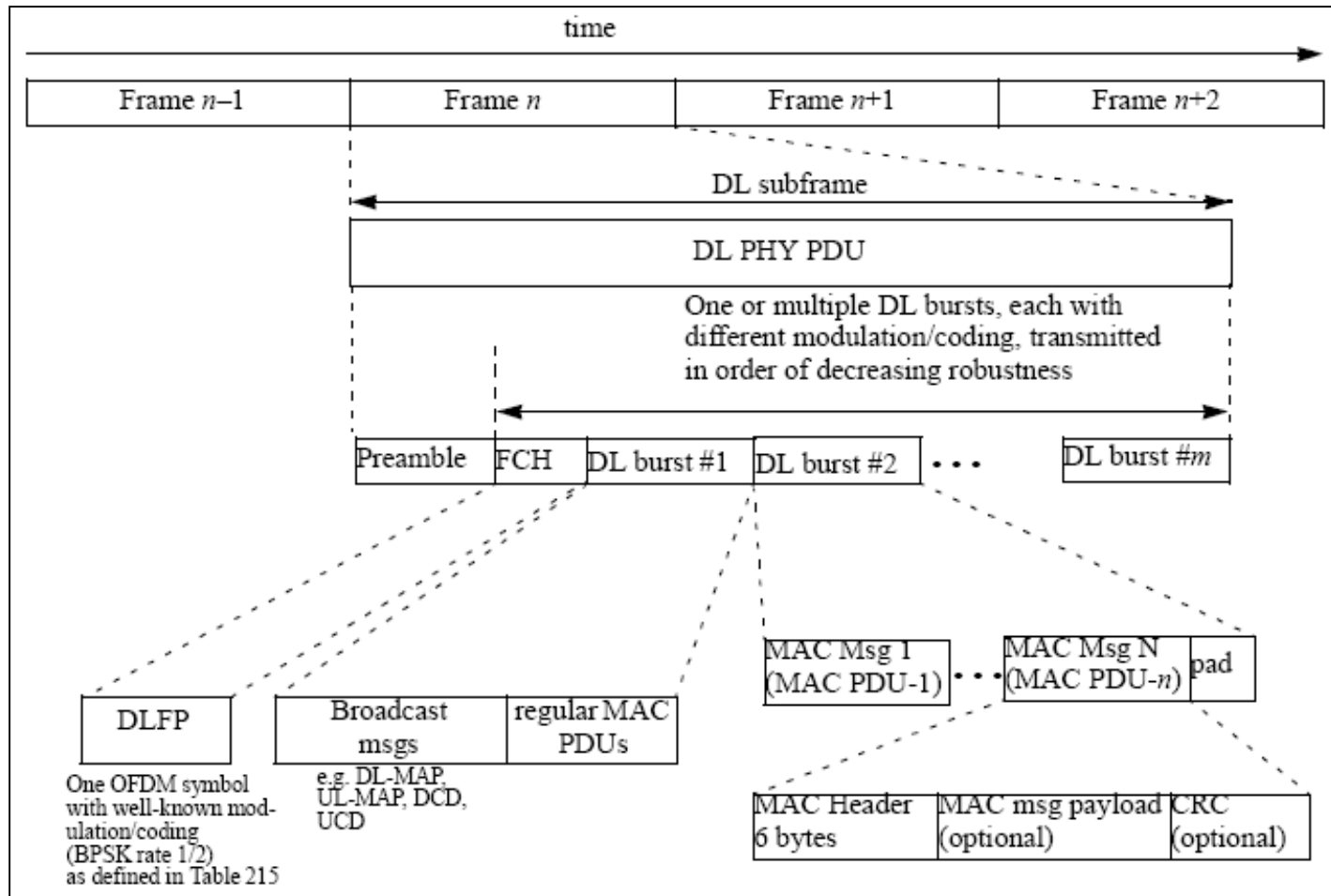
OFDM Frame Structure with TDD



- DLFP:** Downlink Frame Prefix
- FCH:** Frame Control Header
- TTG:** Transmission Transition Gap
- RTG:** Receive Transition Gap

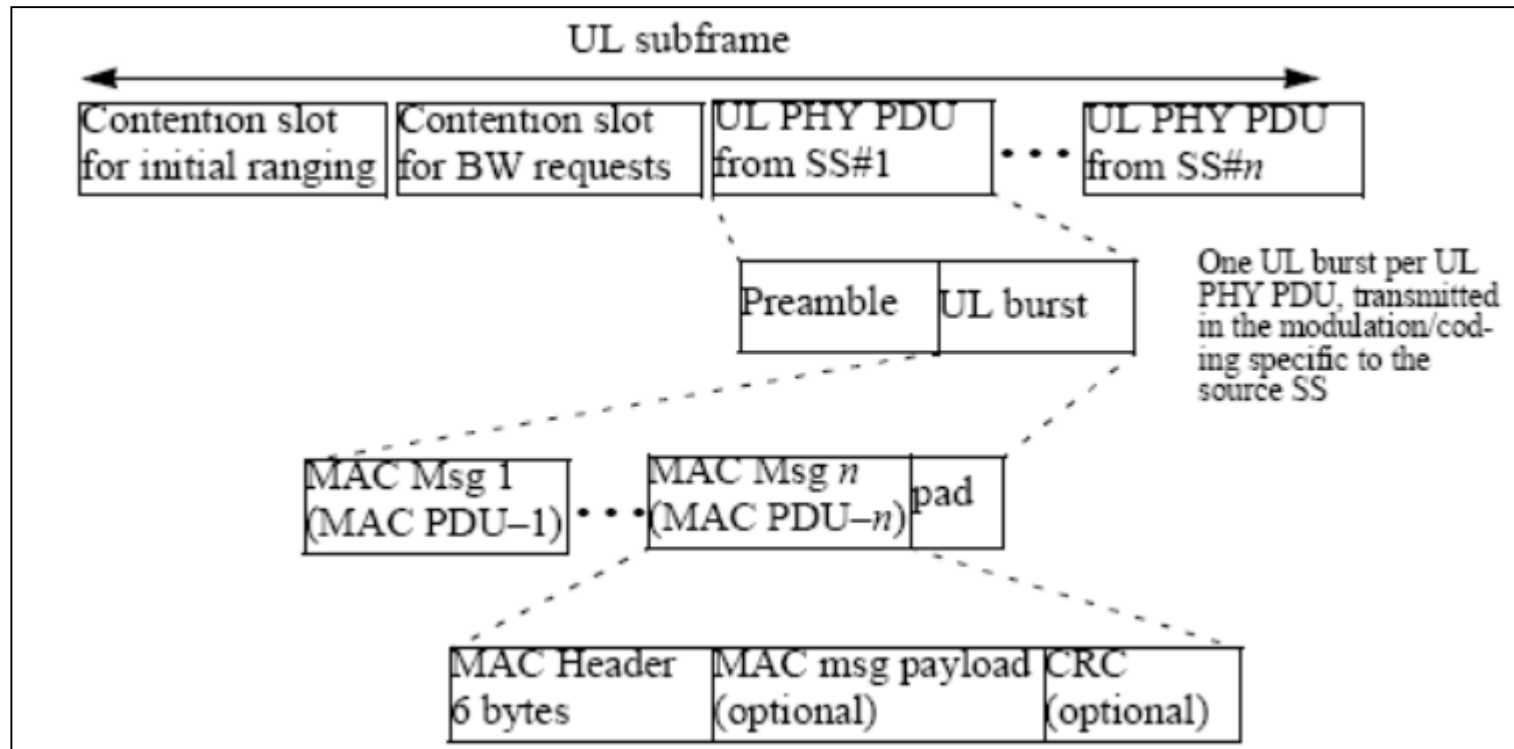
Εικόνα 52.

OFDM frame structure with FDD (downlink)



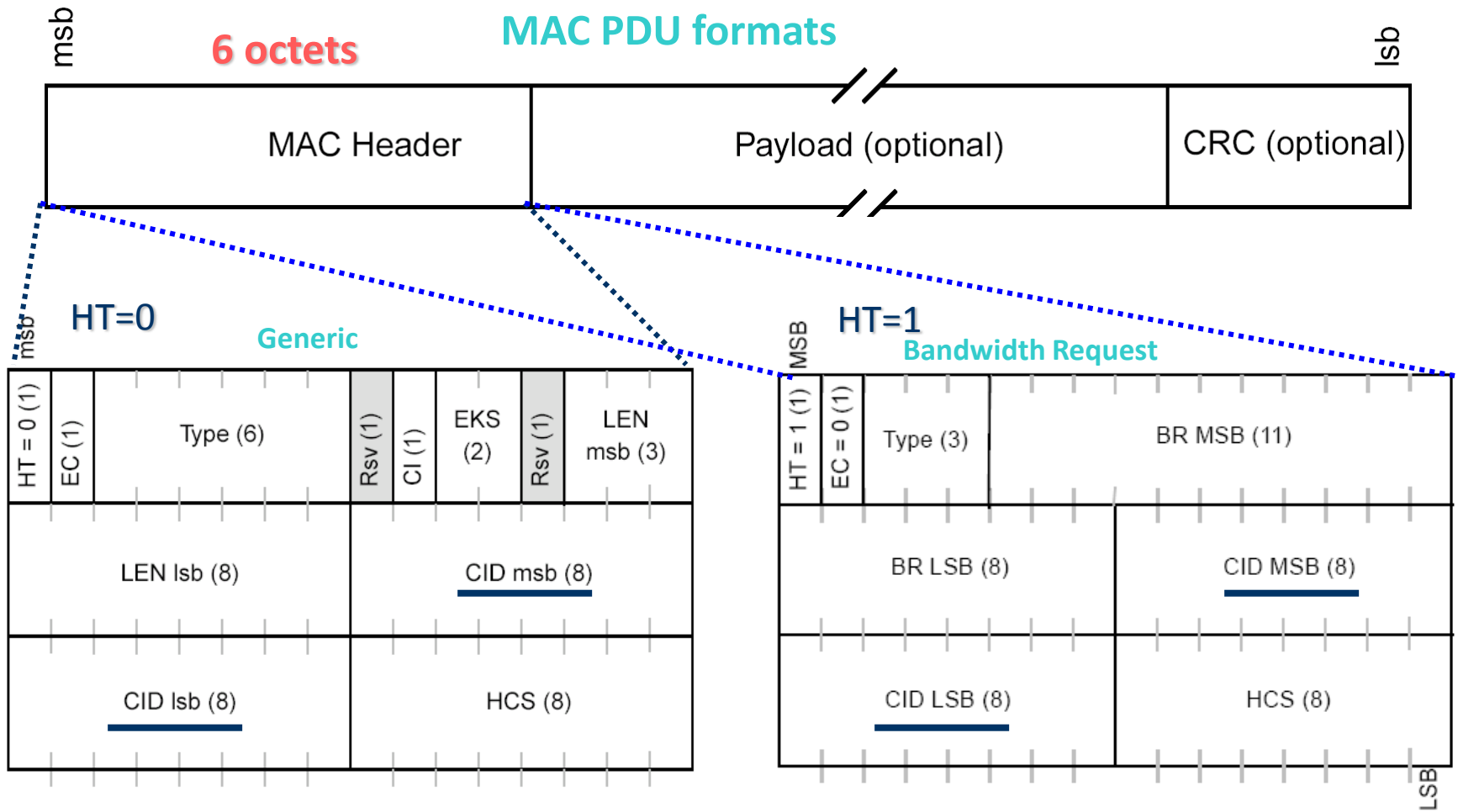
Εικόνα 53.

OFDM frame structure with FDD (uplink)



Εικόνα 54.

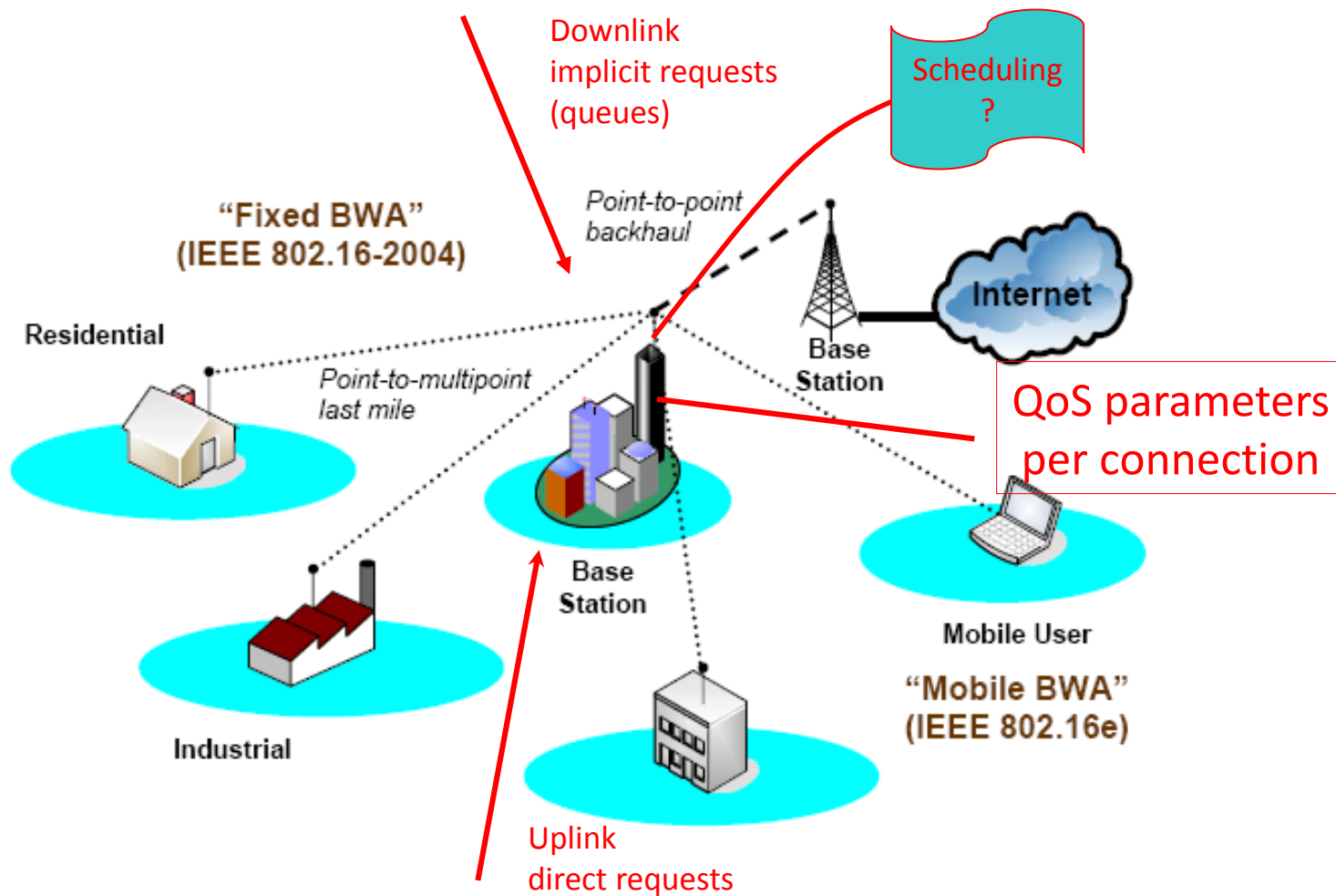
MPDU format



Connections are identified by a 16-bit CID.

Εικόνα 55.

Bandwidth request and allocation



Εικόνα 56.

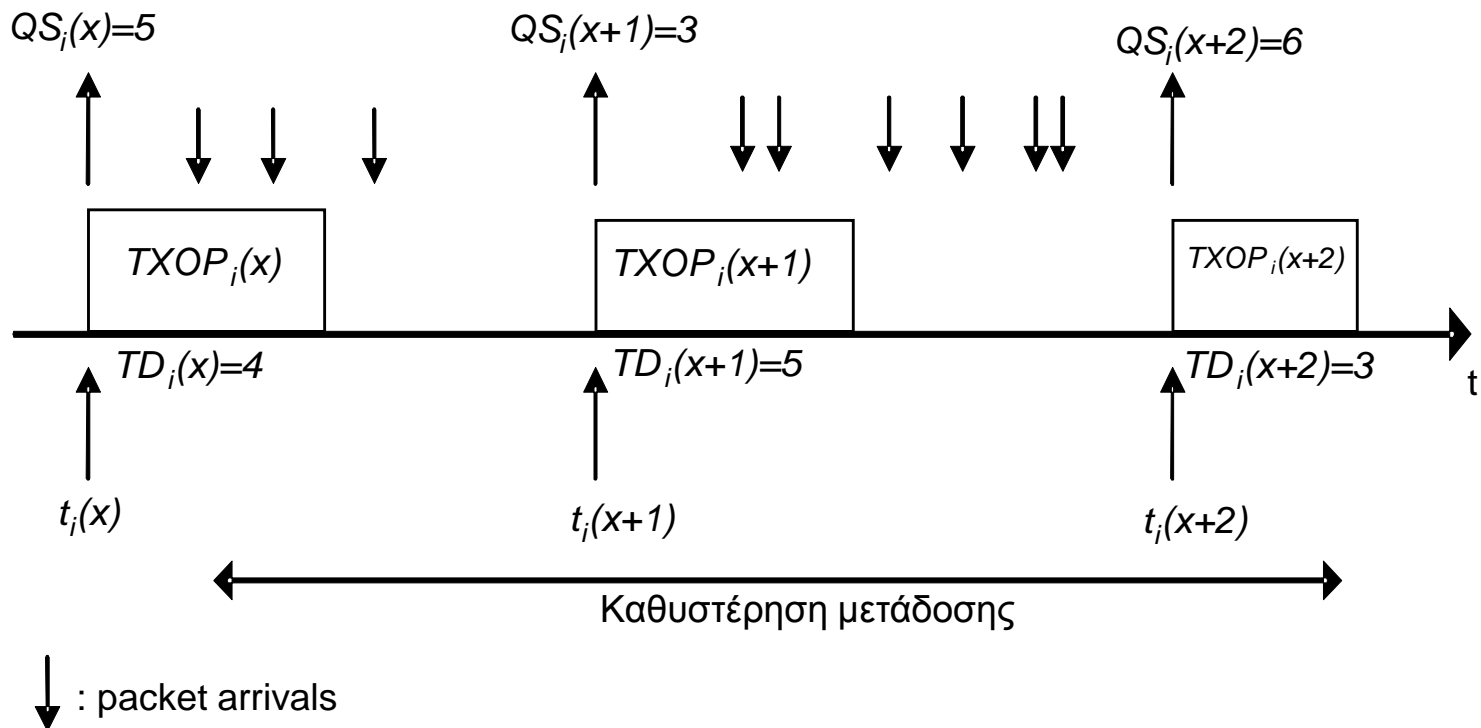
Δέσμευση πόρων

- Κάθε σύνδεση (connection) όταν αρχικοποιείται δηλώνει το **είδος** κίνησης που θα μεταφέρει και τις πιο συγκεκριμένες **απαιτήσεις** της (requirements)
 - Service type
 - Packet delay
 - Packet loss
 - Mean/max rate
- Η δέσμευση πόρων από το πρωτόκολλο γίνεται ανάλογα με το **είδος** της κίνησης που μεταφέρει η σύνδεση και τις δηλωμένες (**γενικές**) και τις τρέχουσες (**συγκεκριμένες**) απαιτήσεις της
- Βασικό κριτήριο για τη δέσμευση είναι οι **αιτήσεις** (requests) που κάνει κάθε σύνδεση κάθε φορά για δέσμευση πόρων σε κάθε πλαίσιο
- **Προσοχή:** Το τι θα μεταδώσει τελικά το τερματικό δεν είναι δεσμευτικό (μεταδίδει ότι θέλει γιατί οι ανάγκες μπορεί να έχουν αλλάξει **λόγω καθυστέρησης**)



Καθυστέρηση μετάδοσης

- Καθυστέρηση από τη στιγμή που ένα ανοδικό πακέτο θα φτάσει στην ουρά μετάδοσης μέχρι να μπορέσει να μεταδοθεί τελικά



4 διαφορετικοί τρόποι αιτήσεων

- **Έμμεσες αιτήσεις:** Για τις συνδέσεις σταθερού ρυθμού μετάδοσης (unsolicited grant service - UGS) δεν απαιτούνται αιτήσεις. Ο ΣΒ γνωρίζει τις απαιτήσεις, οι οποίες δεν αλλάζουν με το χρόνο
- **Μέσω του roll-me bit στα μεταδιδόμενα UGS πακέτα.** Όταν ένας σταθμός θέσει αυτό το bit, ζητά από το ΣΒ να του δεσμεύσει ένα **request slot** για να περάσει τις αιτήσεις του.
- **Μέσω ενός ειδικού request πακέτου, σε οποιαδήποτε δέσμευση έχει ο σταθμός** (ακόμα και αν ήταν για άλλη σύνδεση)
- **Σε ειδικό χρονικό διάστημα** που ο ΣΒ διαθέτει για τις αιτήσεις, όποτε αυτός κρίνει σκόπιμο (μέσω ανταγωνισμού)

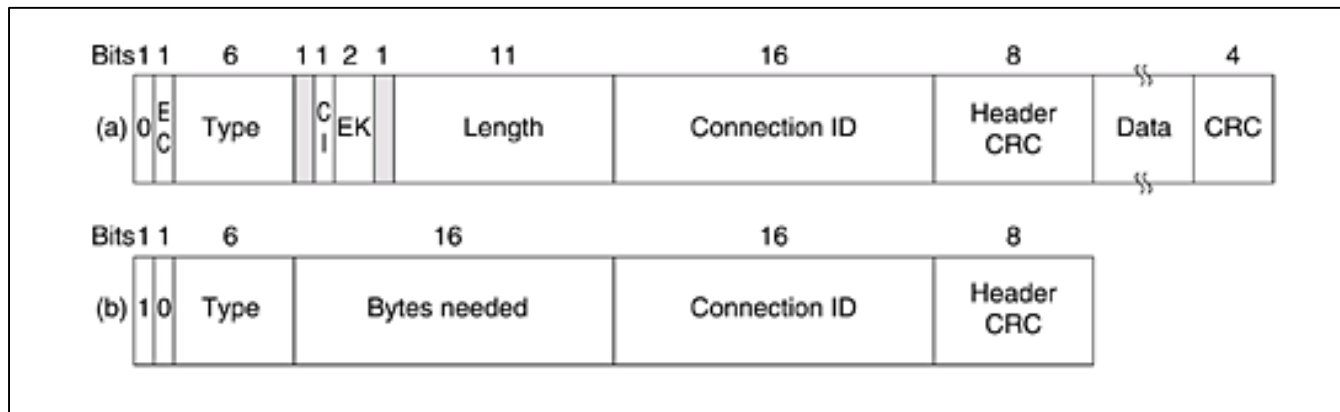


Δεσμεύσεις από το Σταθμό Βάσης

- Ο ΣΒ δεσμεύει εύρος ζώνης με δύο διαφορετικούς τρόπους:
 - Grant Per Subscriber Station (GPSS)
 - Grant Per Connection (GPC)
- Η απόφαση δέσμευσης βασίζεται
 - Στο αιτούμενο εύρος ζώνης
 - Στα χαρακτηριστικά κάθε σύνδεσης
 - Στους διαθέσιμους πόρους
- Οι δεσμεύσεις γίνονται γνωστές στους σταθμούς μέσω των UL-MAP και DL-MAP



Δομή πακέτου 802.16 (1)



Εικόνα 57.



Δομή πακέτου 802.16 (2)

- **EC:** καθορίζει αν χρησιμοποιείται κρυπτογράφηση ή όχι
- **Type:** τύπος πακέτου
- **CI:** καθορίζει αν υπάρχει ή όχι checksum στο τέλος του πακέτου
- **EK:** καθορίζει το συγκεκριμένο κλειδί κρυπτογράφησης (αν χρησιμοποιείται κρυπτογράφηση)
- **Length:** το συνολικό μήκος του πακέτου
- **Connection ID:** καθορίζει τη σύνδεση στην οποία ανήκει το πακέτο
- **Header CRC:** Checksum μόνο για το header
- **CRC:** Checksum για όλο το πακέτο
- **Bytes needed:** Στα πακέτα αιτήσεων καθορίζει τα bytes που η σύνδεση θέλει να μεταδώσει



Επεκτάσεις στο 802.16a

- Mesh topology για τους ΣΒ
- 2-11 GHz
- Line-of-sight όχι απαραίτητο
- Υποστήριξη ARQ (Automatic Repeat reQuest)
- Περισσότερη σηματοδοσία για QoS
- Δυναμική επιλογή συχνοτήτων, για αντιμετώπιση παρεμβολών από τα WLAN.

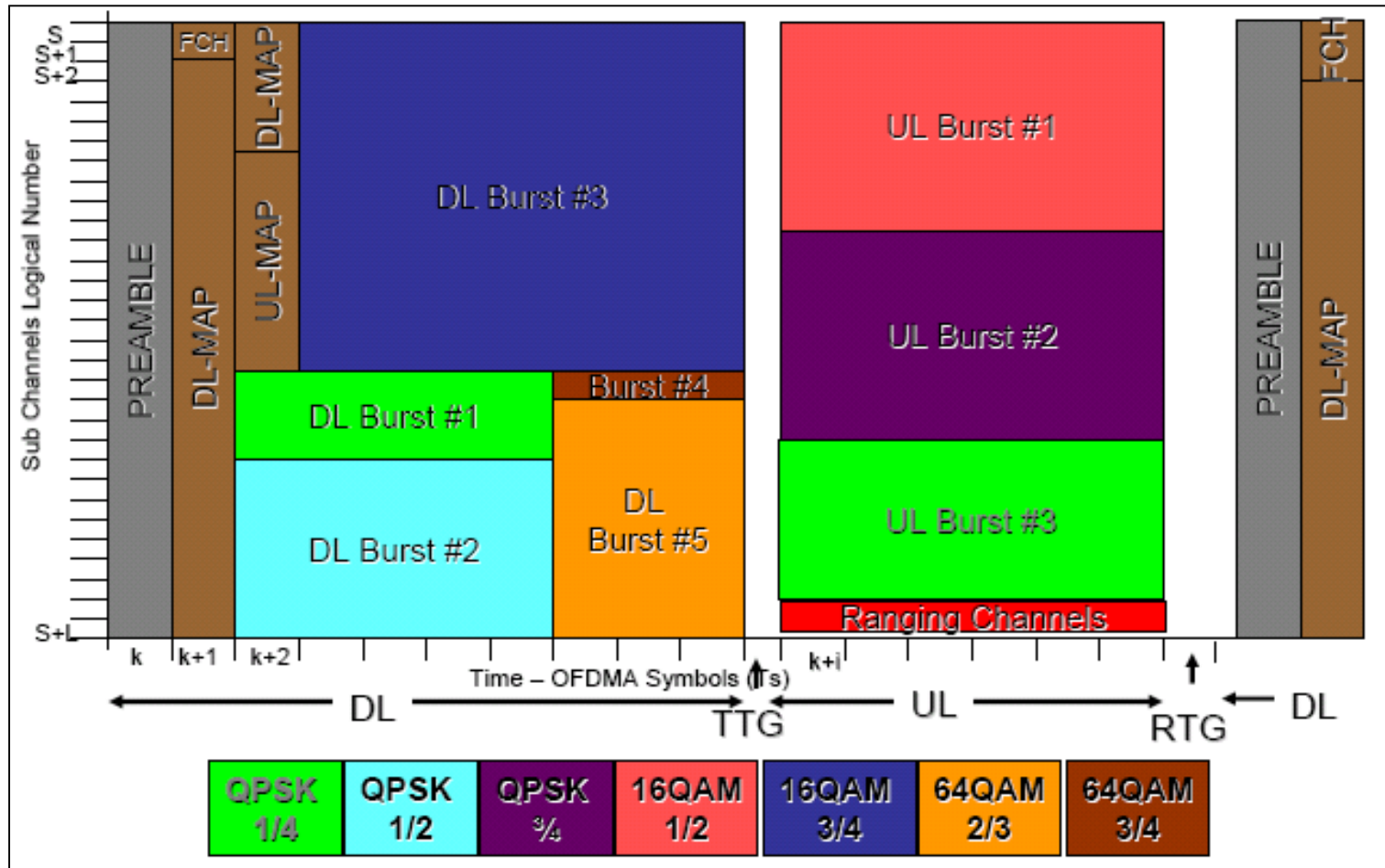


Επεκτάσεις στο 802.16e

- Υποστήριξη κινητικότητας των ΣΣ
- OFDMA
- Πολύ σημαντικό για χρήση του 802.16 σε 4G σενάρια

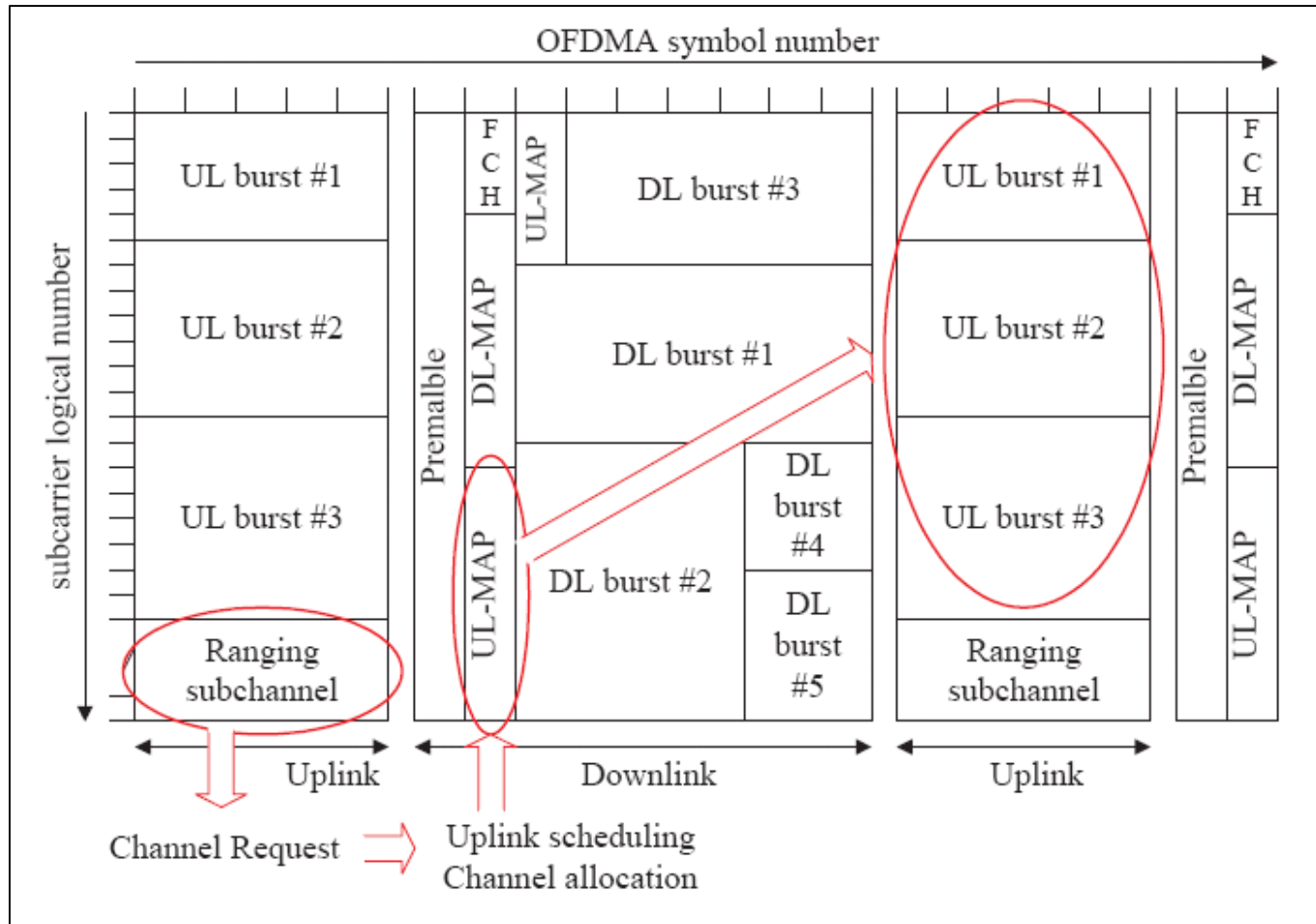


OFDMA/TDD structure (1)



Εικόνα 58.

OFDMA/TDD structure (2)



Εικόνα 59.

Πλεονεκτήματα OFDMA

- Πιο ευέλικτη δέσμευση του διαθέσιμου φάσματος
- Περιορισμός των μεταδόσεων σε φέρουσες χαμηλής ποιότητας για κάθε σταθμό
- Καλύτερη συνολική ρυθμαπόδοση
- Μεγαλύτερος αριθμός υποστηριζόμενων σταθμών

- **Μειονέκτημα**
- Αρκετά πιο πολύπλοκο στο σχεδιασμό και την υλοποίηση



Bluetooth™

Wireless Connections Made Easy.

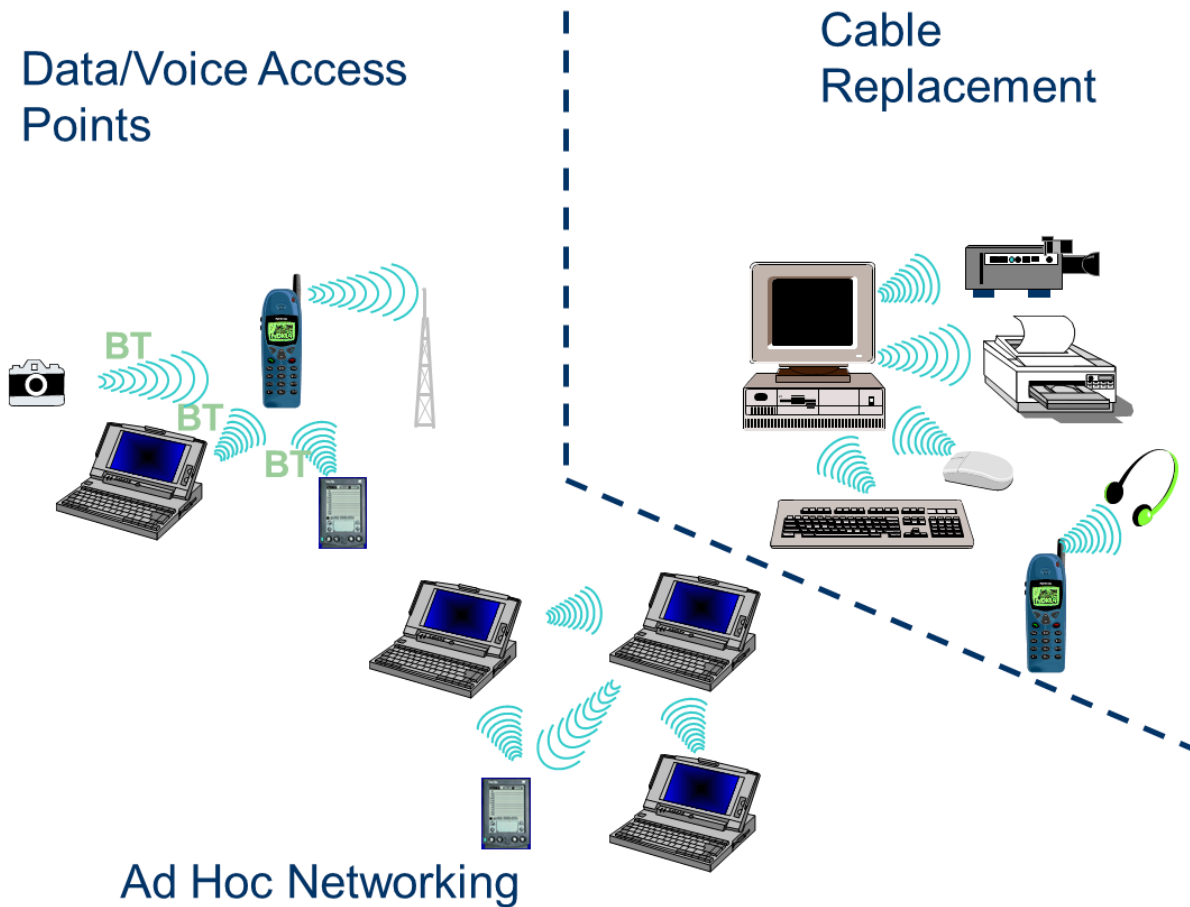


Τι είναι το Bluetooth

- Διεθνές πρότυπο το οποίο
 - υποστηρίζει φθηνή, μικρής σχετικά ταχύτητας ασύρματη επικοινωνία
 - καταργεί τα καλώδια μεταξύ συσκευών (τόσο σταθερών όσο και κινητών) και περιφερειακών συσκευών
 - υποστηρίζει φωνή και δεδομένα
 - δυνατότητα για δομημένη και ad-hoc διασύνδεση



Πρακτικές Εφαρμογές του Bluetooth



Εικόνα 61.

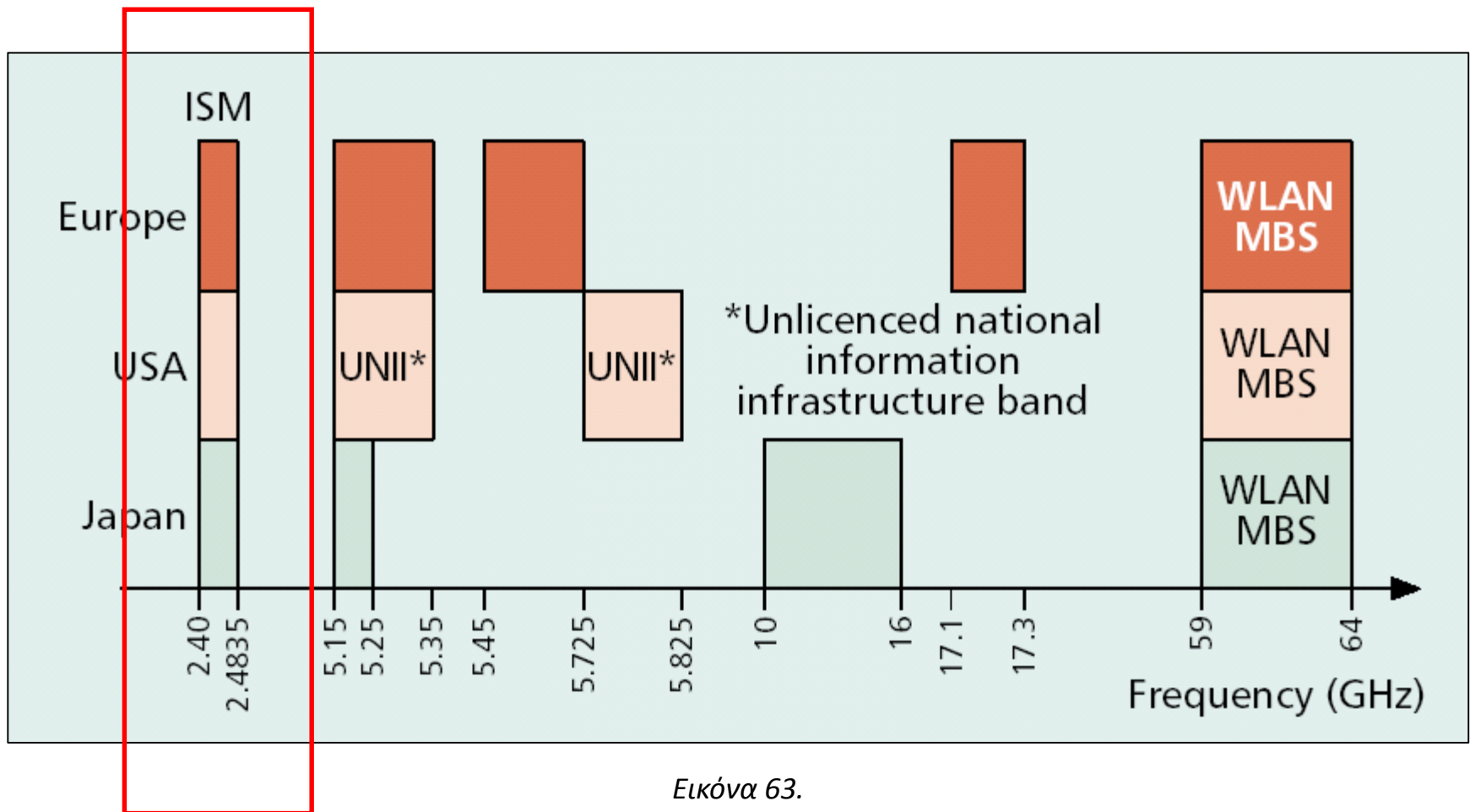


Technical summary

Normal range	10 m (0 dBm)
Optional range	100 m (+20 dBm)
Normal transmitting power	0 dBm (1 mW)
Optional transmitting power	-30 to +20 dBm (100 mW)
Receiver sensitivity	-70 dBm
Frequency band	2.4 Ghz
Gross data rate	1 Mbit/s
Max. data transfer	721+56 kbit/3 voice channels
Power consumption, hold/park	~50 μ A
Power consumption, standby	20 μ A
Power consumption, max.	30 μ A

Packet switching protocol based on a frequency hop scheme with 1600 hops/s.

Συχνότητες Διαθέσιμες για WLAN



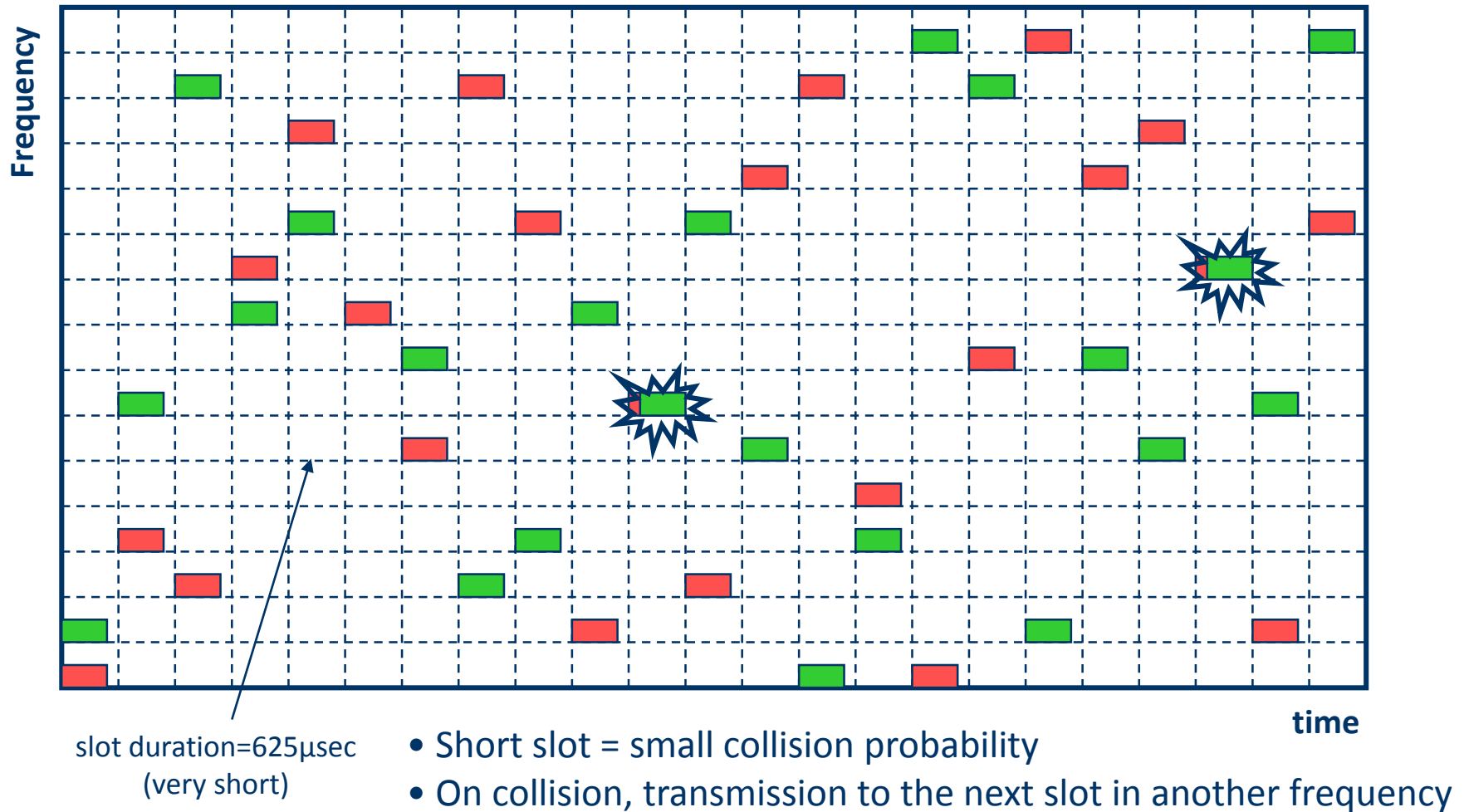
Εικόνα 63.

Επικοινωνία στα 2,4GHz (I)

- Διεθνώς ελεύθερη μπάντα για μετάδοση χωρίς άδεια
- Χωρίζεται σε 79 κανάλια μεγέθους 1MHz το καθένα
- Παρεμβολές πρέπει να είναι αναμενόμενες και να χειρίζονται κατάλληλα
- Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) σχήματα



Frequency Hopping Spread Spectrum



Εικόνα 64.



Επικοινωνία στα 2,4GHz (II)

- Το Bluetooth χρησιμοποιεί ένα FHSS σχήμα υλοποιώντας 1600hops/sec
- Ο παραλήπτης πρέπει να γνωρίζει τον αλγόριθμο αλλαγής συχνότητας
- Παρέχει
 - μειωμένη πιθανότητα συγκρούσεων πακέτων
 - γρηγορότερη επίλυση συγκρούσεων
 - ασφάλεια από υποκλοπές



Αρχιτεκτονική Δικτύου

- Μονάδες Bluetooth σε ικανή απόσταση μεταξύ τους μπορούν να επικοινωνήσουν διαμορφώνοντας ένα **piconet**.
- Point-to-point και point-to-multipoint.
- Δύο ή περισσότερα piconets διαμορφώνουν ένα **scatternet**.
- Piconets στον ίδιο χώρο δεν παρεμβάλλονται αν χρησιμοποιούν διαφορετικό frequency-hopping κανάλι (αλγόριθμο).
- Για τη διευθέτηση της κίνησης σε ένα piconet, μία μονάδα ορίζεται σα **master** και οι υπόλοιπες σα **slaves** (μέχρι 7).

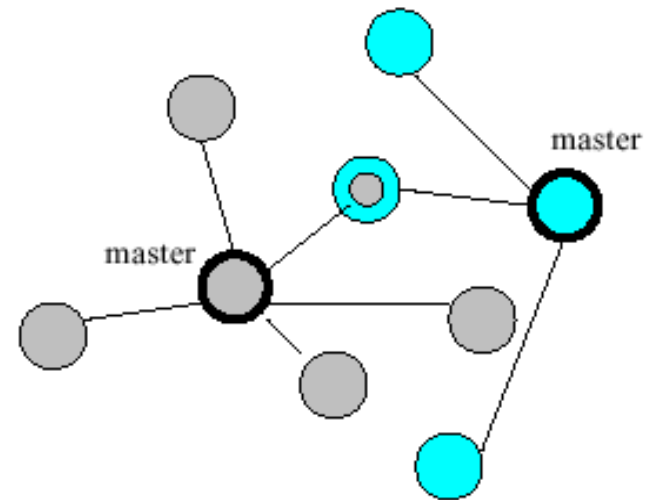
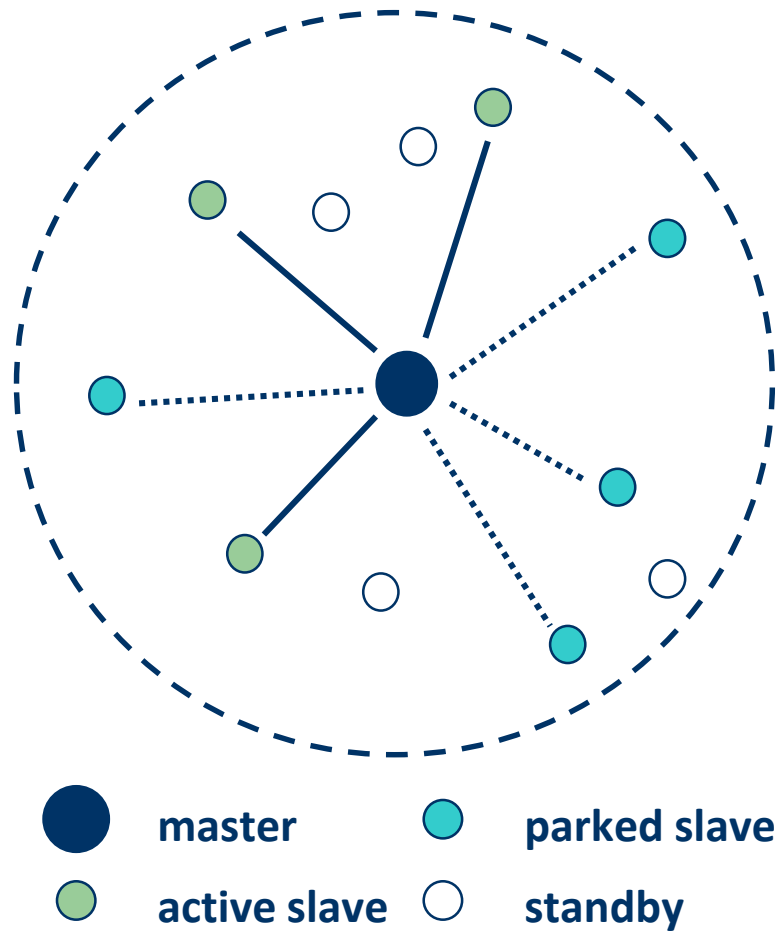


Master

- Καθορίζει τη σειρά και την ταχύτητα αλλαγής συχνοτήτων.
- Καθορίζει τον αλγόριθμο Μεταπήδησης Συχνότητας (Frequency Hopping).
- Αποφασίζει ποιος θα μεταδώσει και πότε.
- Master καθορίζεται συνήθως όποιος αρχίζει μια επικοινωνία.
- Στα υψηλότερα επίπεδα ο ρόλος του master ή slave δεν υφίσταται.



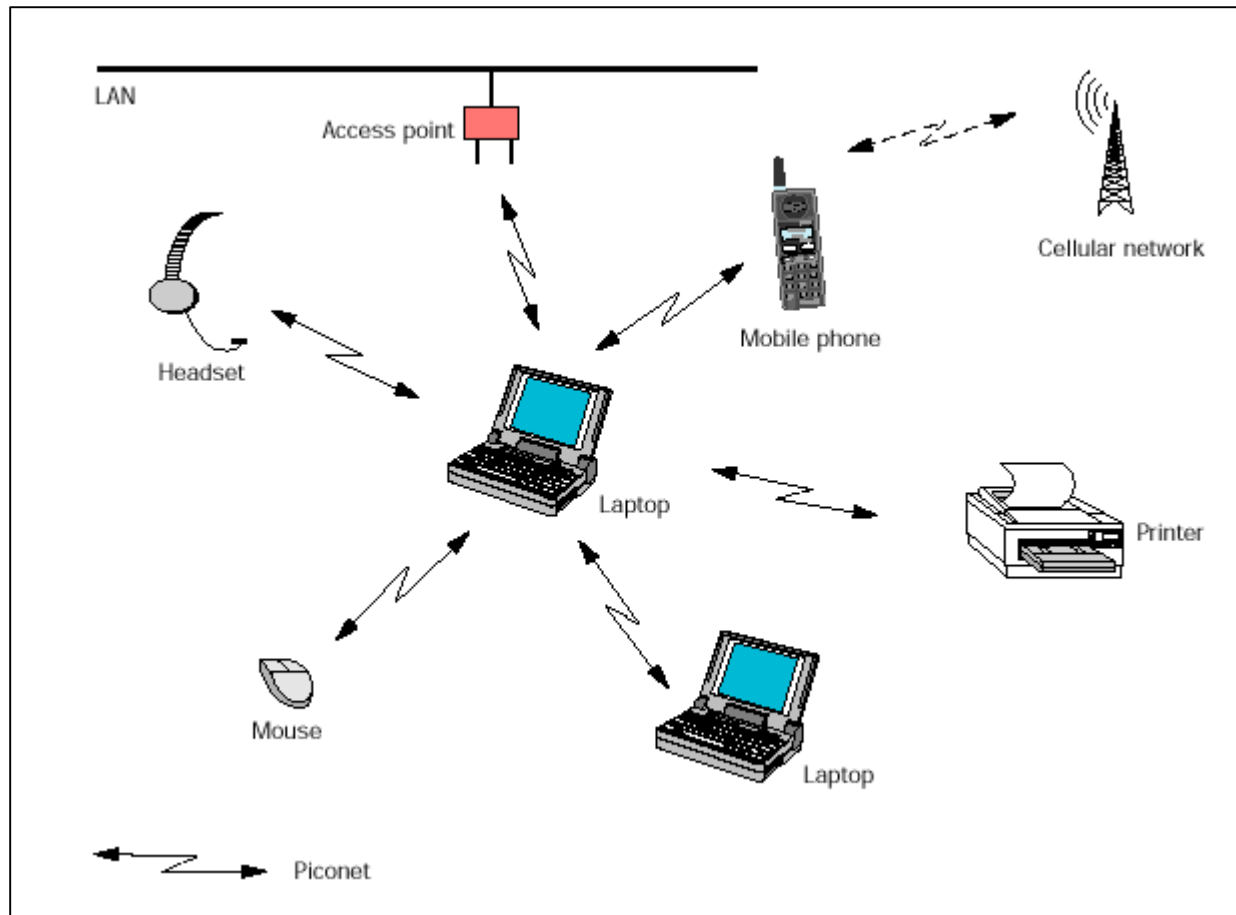
Παράδειγμα Αρχιτεκτονικής (I)



Εικόνα 65.



Παράδειγμα Αρχιτεκτονικής (II)



Εικόνα 66.

Καταστάσεις Slave

- **Active:** Ακούει πάντα μεταδόσεις από το master
 - άμεση ανταπόκριση, μεγάλη κατανάλωση
- **Sniff:** Ακούει περιοδικά το master, ο οποίος τότε μόνο μεταδίδει για το συγκεκριμένο slave
 - μέτρια ανταπόκριση, μέτρια κατανάλωση
- **Hold:** Σταματά να ακούει για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα
 - μέτρια ανταπόκριση, μέτρια κατανάλωση
- **Park:** Διατηρεί το συγχρονισμό αλλά δε θεωρείται ενεργός
 - αργή ανταπόκριση, μικρή κατανάλωση
- **Standby:** Δεν είναι συνδεδεμένος με κανένα master



Προσαρμογή Ισχύος Μετάδοσης

- Μέθοδος εξοικονόμησης ισχύος.
- Οι slaves ενημερώνουν το master όταν η ισχύς που μεταδίδει δεν είναι η κατάλληλη (πολύ μεγάλη ή πολύ μικρή).
- Received Signal Strength Indicator (RSSI).



Ποιότητα Υπηρεσίας

- Οι συνδέσεις που υποστηρίζει το Bluetooth χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:
 - **Σύγχρονες** (Synchronous - **SCO**): με σταθερό ρυθμό γέννησης κίνησης (τέτοιες είναι συνήθως οι συνδέσεις φωνής).
 - **Ασύγχρονες** (Asynchronous - **ACL**): με μεταβλητό ρυθμό γέννησης κίνησης

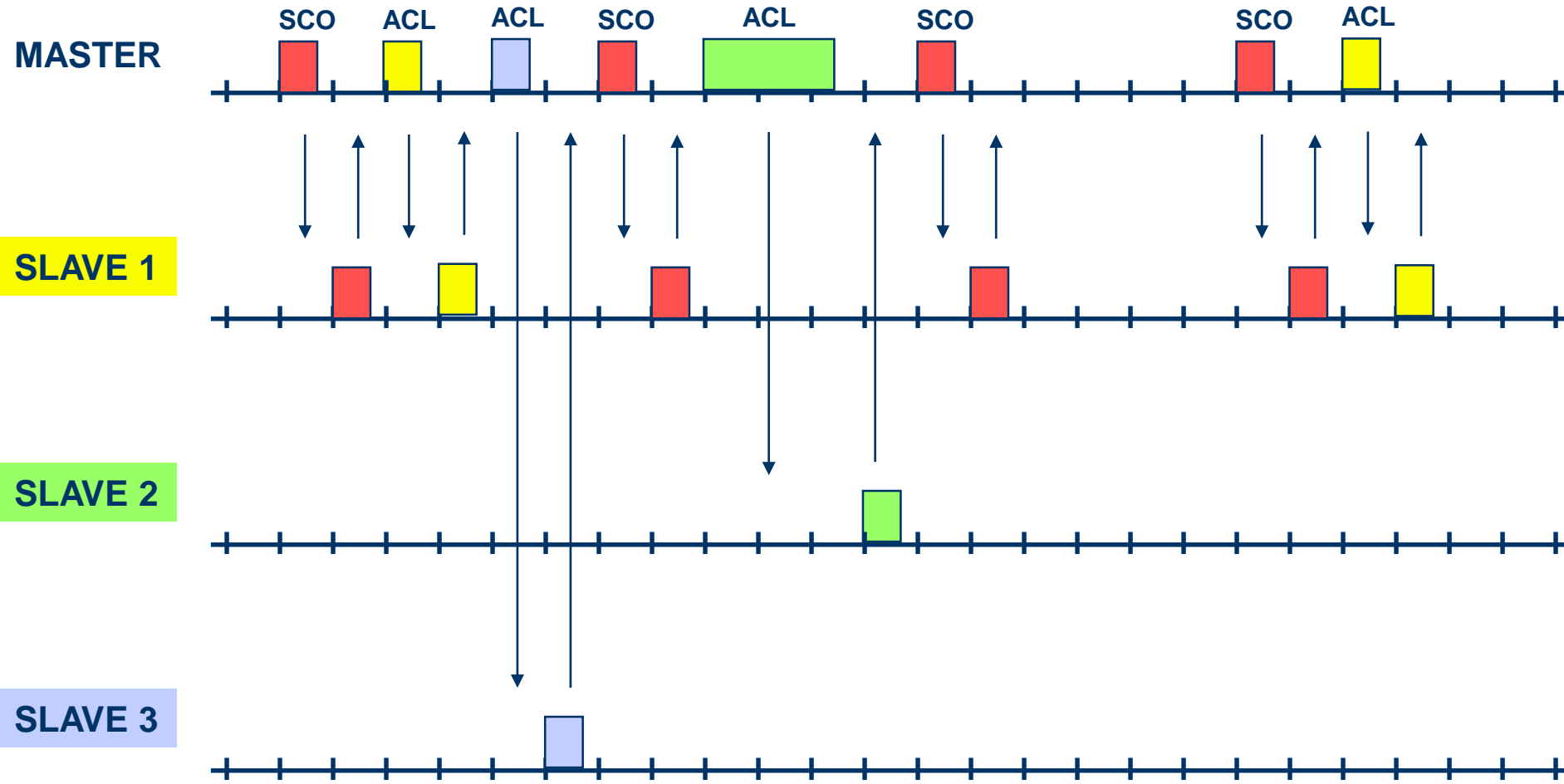
SCO mode: optional

ACL mode: mandatory

- Τα πακέτα SCO έχουν προτεραιότητα απέναντι στα ACL
- Για τις ACL ορίζεται η παράμετρος:
- **maximum polling interval** = minimum guaranteed bandwidth



Παράδειγμα μετάδοσης



* Για το πότε γίνονται αποστολές/λήψεις σε/από slaves απαιτείται ειδικός αλγόριθμος (scheduling) που δεν ορίζεται στο πρότυπο του Bluetooth

Εικόνα 67.



Πολλαπλή πρόσβαση - Συμπεράσματα

- Εξαιρετικά σημαντική για τη λειτουργία και την απόδοση ενός συστήματος
- Πολύ-παραγοντικό πρόβλημα, δύσκολο στην προσέγγισή του
 - Μεταβαλλόμενες απαιτήσεις χρηστών
 - Μεταβαλλόμενη κατάσταση καναλιού
- Ο σχεδιασμός εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ισορροπία μεταξύ κόστους και απόδοσης
- **Απλή σχεδίαση** = μικρό κόστος και περιορισμένη απόδοση
- **Πολύπλοκη σχεδίαση** = μεγαλύτερο κόστος και καλύτερη απόδοση
- Σημαντικό τόσο το κόστος κατασκευής όσο και **λειτουργίας (CAPEX / OPEX)**



Τέλος Ενότητας

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.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.

Έχουν προηγηθεί οι κάτωθι εκδόσεις:

- Έκδοση διαθέσιμη [εδώ](#).



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Νικόλαος Πασσάς 2015. Νικόλαος Πασσάς. «Συστήματα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών, Κατανομή και εκχώρηση ασύρματων πόρων - Πολλαπλή πρόσβαση». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/DI118>.



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.



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/8)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 1: «Heterogeneous cellular network [Hasan et al. \(2011\)](http://scialert.net/fulltext/?doi=jas.2012.1418.1431&org=11)». Copyrighted.
<http://scialert.net/fulltext/?doi=jas.2012.1418.1431&org=11>

Εικόνα 2 έως 5: Πηγή: Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών, 2η έκδοση, Μ.Ε. Θεολόγου, Εκδόσεις Τζιόλας. Copyrighted.

Εικόνα 6: «Ποιότητα εμπειρίας – QoE»

Εικόνα 7: «Ποιότητα εμπειρίας – QoE No.2». Copyrighted.

Εικόνα 8: «Πολλαπλή πρόσβαση στο GSM». Copyrighted.

Εικόνα 9: «GSM resource allocation». Copyright 2001 blueadmiral.co.uk



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/8)

Εικόνα 10: «Relationship of All Time Segments». Copyrighted.

[https://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/OpenBTSTime_Division_Multiple_Access_\(TDMA\)/3](https://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/OpenBTSTime_Division_Multiple_Access_(TDMA)/3)

Εικόνα 11: «Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης – CDMA». Copyrighted.

Εικόνα 12: «Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης – CDMA No.2». Copyrighted.

Εικόνα 13: «A simple CDMA example: sender encoding, receiver decoding». Copyrighted. http://www.netcourse.ecnu.edu.cn/chapter5_3.asp

Εικόνα 14: «A two-sender CDMA example». Copyrighted. http://www.netcourse.ecnu.edu.cn/chapter5_3.asp

Εικόνα 15: «Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χώρου». Copyrighted.

Εικόνα 16: «ALOHA (Καθαρό)». Copyrighted.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/8)

Εικόνα 17: «Ρυθμοαπόδοση». Copyrighted.

Εικόνα 18: «CSMA πρωτόκολλα». Copyrighted.

Εικόνα 19: «Saving time and bandwidth». Copyrighted.

<http://www.ebah.com.br/content/ABAAA53wAD/redes-computadores?part=3>

Εικόνα 20: «Η οικογένεια προτύπων 802.x». Copyrighted.

Εικόνα 21: «Το 802.11 στη στοίβα OSI». Copyrighted.

Εικόνα 22: «Mode Jaringan WLAN». Copyrighted.

<https://enduser666.wordpress.com/2009/05/02/pertemuan-14-wlan-keamanan-1/>

Εικόνα 23: «802.11 Με Υποδομή». Copyrighted.

Εικόνα 24: «802.11 Χωρίς Υποδομή (Ad-Hoc)». Copyrighted.

Εικόνα 25: «Στοίβα Πρωτοκόλλων 802.11». Copyrighted.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/8)

Εικόνα 26: «ISM Band (Industrial Scientific Medical)». Copyrighted.

Εικόνες 27, 28: «2.4 GHz Wi-Fi channels (802.11b,g WLAN)» by Michael Gauthier. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Commons.

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2.4_GHz_Wi-Fi_channels_\(802.11b,g_WLAN\).svg#/media/File:2.4_GHz_Wi-Fi_channels_\(802.11b,g_WLAN\).svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2.4_GHz_Wi-Fi_channels_(802.11b,g_WLAN).svg#/media/File:2.4_GHz_Wi-Fi_channels_(802.11b,g_WLAN).svg)

Εικόνα 29: «Επαναχρησιμοποίηση καναλιών». Copyrighted.

Εικόνα 30: «Μέθοδοι Πρόσβασης». Copyrighted.

Εικόνα 31: «Αποφυγή σύγκρουσης στον κόμβο B». Copyrighted.

Εικόνα 32: «Αποφυγή σύγκρουσης στον κόμβο B No.2». Copyrighted.

Εικόνα 33: «Παράδειγμα Μετάδοσης με DCF». Copyrighted.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (5/8)

Εικόνα 35: «Point Coordination Function (III)». Copyrighted.

Εικόνα 36: «Περιορισμοί του 802.11 σε QoS». Copyrighted.

Εικόνα 37: «Περιορισμοί του 802.11 σε QoS No.2». Copyrighted.

Εικόνα 38: «EDCF (Enhanced Distributed Coordination Function)». Copyrighted.

Εικόνα 39: «Inter Frame Space and Contention Window». Copyrighted.

Εικόνα 40: «HCF (Hybrid Coordination Function)». Copyrighted.

Εικόνα 41: «Metropolitan Area Network». Copyrighted.

<http://www.certiology.com/computing/computer-networking/types-of-networks.html>

Εικόνα 42: «802.16 Τρεις Μέθοδοι Λειτουργίας».

Εικόνα 43: «Υποστηριζόμενα επίπεδα». Copyrighted.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (6/8)

Εικόνα 44: «Modulation schemes constellation (constellation pattern)».

Copyrighted.

<http://www.unirisorsa.altervista.org/index.php?mod=comment&id=1282059437>

Εικόνα 45: «The Adaptive Modulation simple». Copyrighted.

<http://www.mvt.co.th/viewarticle.php?cid=3&nid=107&page=4>

Εικόνα 46: «WiMAX – PHY Layer». Copyrighted.

Εικόνα 47: «WiMAX – PHY Layer No.2». Copyrighted.

Εικόνα 48: «WiMAX – PHY Layer No.3».

Εικόνα 49: «Media Access Control (MAC)». Copyrighted.

Εικόνα 50: «5 διαφορετικά είδη κίνησης (services)». Copyrighted.

Εικόνα 51: «Time Division Duplexing (TDD)». Copyrighted.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (7/8)

Εικόνα 53: «OFDM frame structure with FDD (downlink)». Copyrighted.

Εικόνα 54: «OFDM frame structure with FDD (uplink)». Copyrighted.

Εικόνα 55: «MPDU format». Copyrighted.

Εικόνα 56: «Bandwidth request and allocation».

Εικόνα 57: «Δομή πακέτου 802.16». Copyrighted.

Εικόνα 58: «OFDMA frame structure». Copyrighted.

https://dolcera.com/wiki/index.php?title=File:Frame_structure1.jpeg

Εικόνα 59: «OFDMA/TDD structure». Copyrighted.

Εικόνα 60: «Bluetooth slide». Copyrighted.

Εικόνα 61: «Πρακτικές Εφαρμογές του Bluetooth». Copyrighted.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (8/8)

Εικόνα 62: «Bluetooth tech slide». Copyrighted.

Εικόνα 63: «Συχνότητες Διαθέσιμες για WLAN». Copyrighted.

Εικόνα 64: «Frequency Hopping Spread Spectrum». Copyrighted.

Εικόνα 65: «Παράδειγμα Αρχιτεκτονικής». Copyrighted.

Εικόνα 66: «Παράδειγμα αρχιτεκτονικής». Copyrighted.

<http://www.alsitel.com/tecnico/bluetooth/queues.htm>

Εικόνα 67: «Παράδειγμα μετάδοσης». Copyrighted.

http://www.fedu.uec.ac.jp/~thavisak/Tech-Link/Bluetooth/about_bt.htm

