

# **Συστήματα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών**

**Κατανομή και εκχώρηση  
ασύρματων πόρων  
(συνέχεια)**

# Κατανομή διαύλων

## Πλήρως αποκεντρωμένη DCA

- Αυτοπροσαρμοζόμενη κατανομή διαύλων σε κάθε κυψέλη
- Ο αλγόριθμος εκχώρησης εκτελείται κλήση προς κλήση.
- Παρακολουύθηση παρεμβολών σε συνεχή βάση σε όλους τους διαύλους
- Επιλογή διαύλου με τις λιγότερες παρεμβολές για κάθε νέα κλήση
- Απαιτούνται εξελιγμένοι μηχανισμοί ελέγχου ισχύος για μείωση των ομοδιαυλικών παρεμβολών

# Κατανομή διαύλων

## Πλήρως αποκεντρωμένη DCA

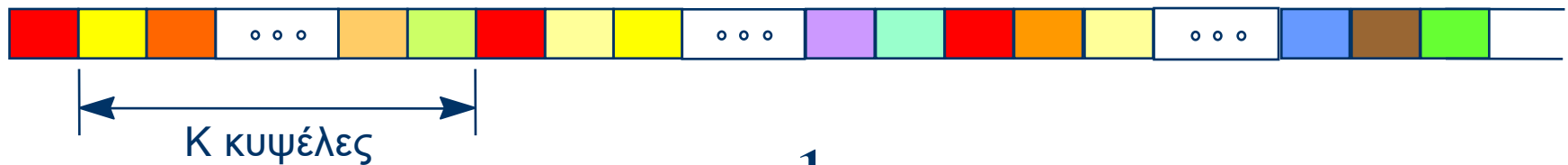
### *Παράδειγμα 5.2*

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.

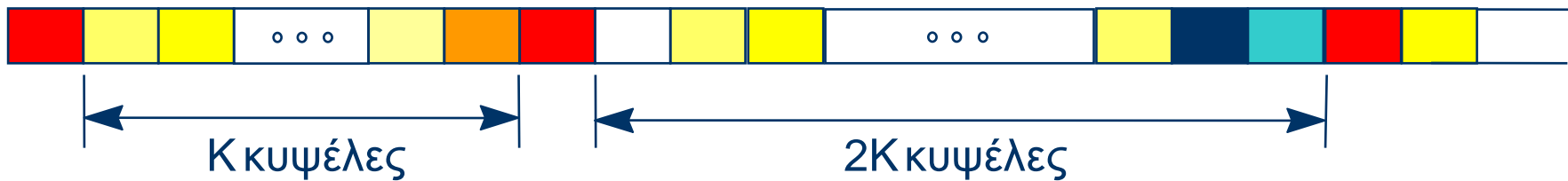
# Κατανομή διαύλων

## Πλήρως αποκεντρωμένη DCA

### Παράδειγμα 5.2



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



$$\rho_{\min} = \frac{1}{2K+1}$$

# Κατανομή διαύλων

## 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

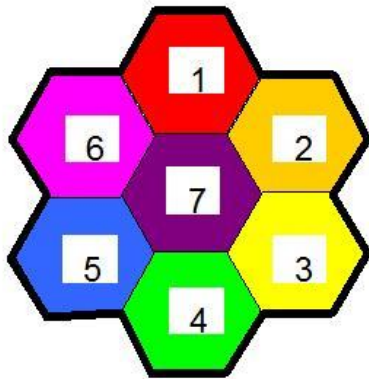
# Δανεισμός διαύλων

## Απλός δανεισμός

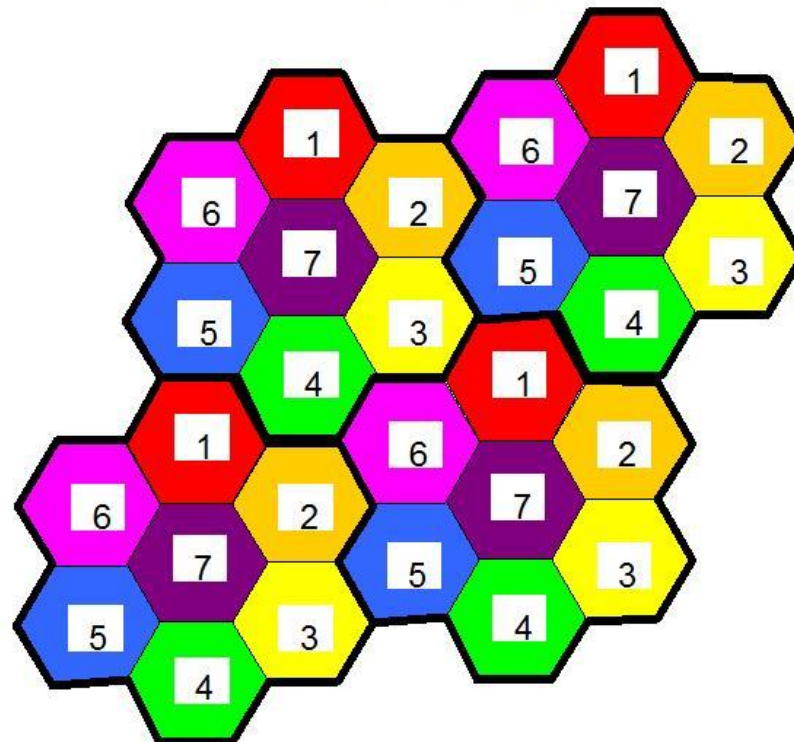
- Η κυψέλη που εμφανίζει συμφόρηση δανείζεται ένα δίαυλο από τις γειτονικές κυψέλες, δημιουργώντας ελάχιστη παρεμβολή στις εξυπηρετούμενες κλήσεις.
- Ο δίαυλος «κλειδώνεται» και δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε απόσταση μικρότερη από την απόσταση ομοδιαυλικής παρεμβολής.
- Αποδοτικό σε συνθήκες μέτριας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

# Ιδανική κυψελωτή δομή

7-cell cluster



Coverage area 'tiled' with 7-cell clusters





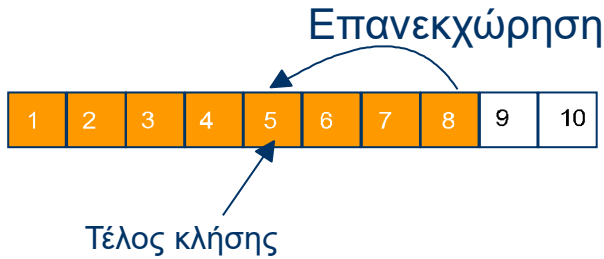
# Δανεισμός διαύλων

## 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, δανειζεται 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 άπλό δανεισμό κάθε διάυλος που δανείζεται κλειδώνεται.

# Δανεισμός διαύλων

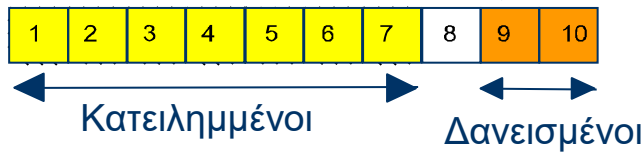
## Δανεισμός με διάταξη διαύλων και επανεκχώρηση



Δίαυλοι της θεωρούμενης κυψέλης



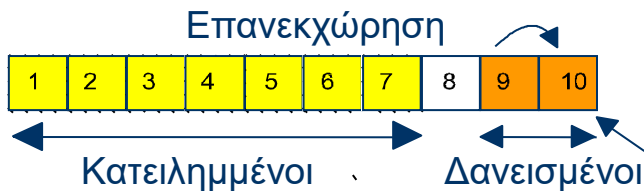
Κατειλημμένοι δίαυλοι της θεωρούμενης κυψέλης



Δίαυλοι γειτονικής κυψέλης



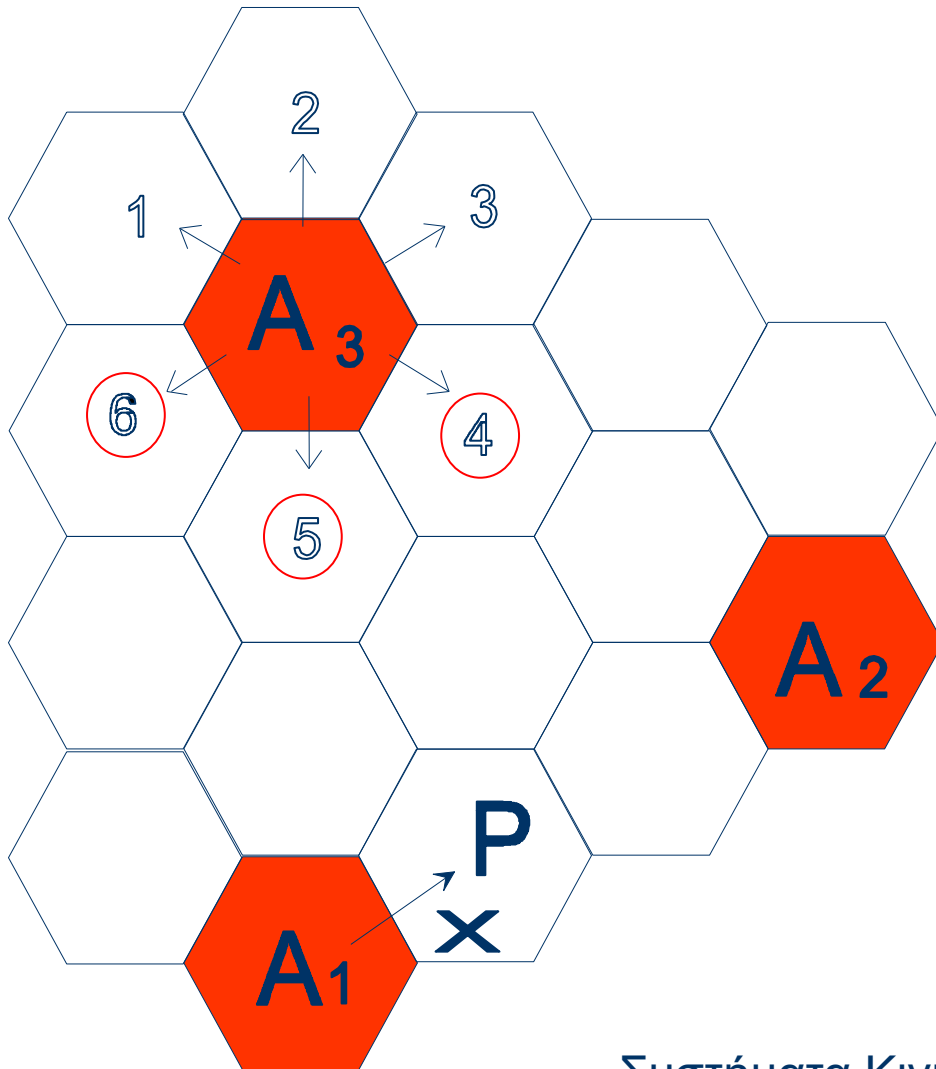
Κατειλημμένοι δίαυλοι της θεωρούμενης κυψέλης



Δίαυλοι γειτονικής κυψέλης

# Δανεισμός διαύλων

## Δανεισμός με κατευθυντικό κλείδωμα



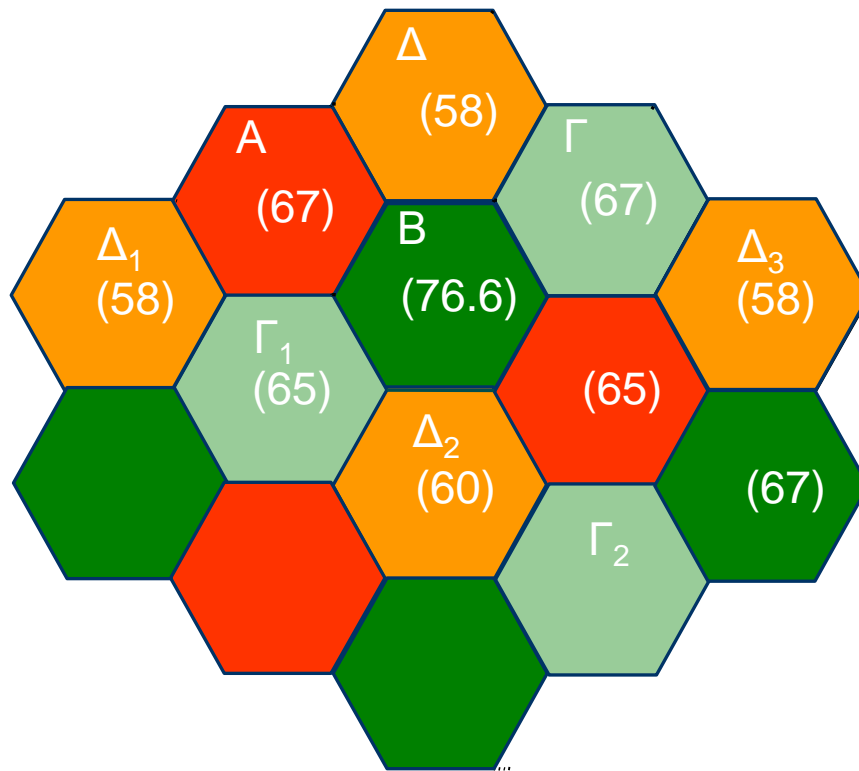
Ο δίαυλος x δε μπορεί να εκχωρηθεί στις κυψέλες 4,5,6

Μπορεί να εκχωρηθεί στις 1,2,3

# Δανεισμός διαύλων

## Αλγόριθμοι 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  $\Delta$   
επηρεάζονται

Σε κάθε κυψέλη ένας δίαυλος  
ελέγχου

# Υπολογισμός βαθμού εξυπηρέτησης

## Erlang B

C	Προσφερόμενη κίνηση A (erlang)											
	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

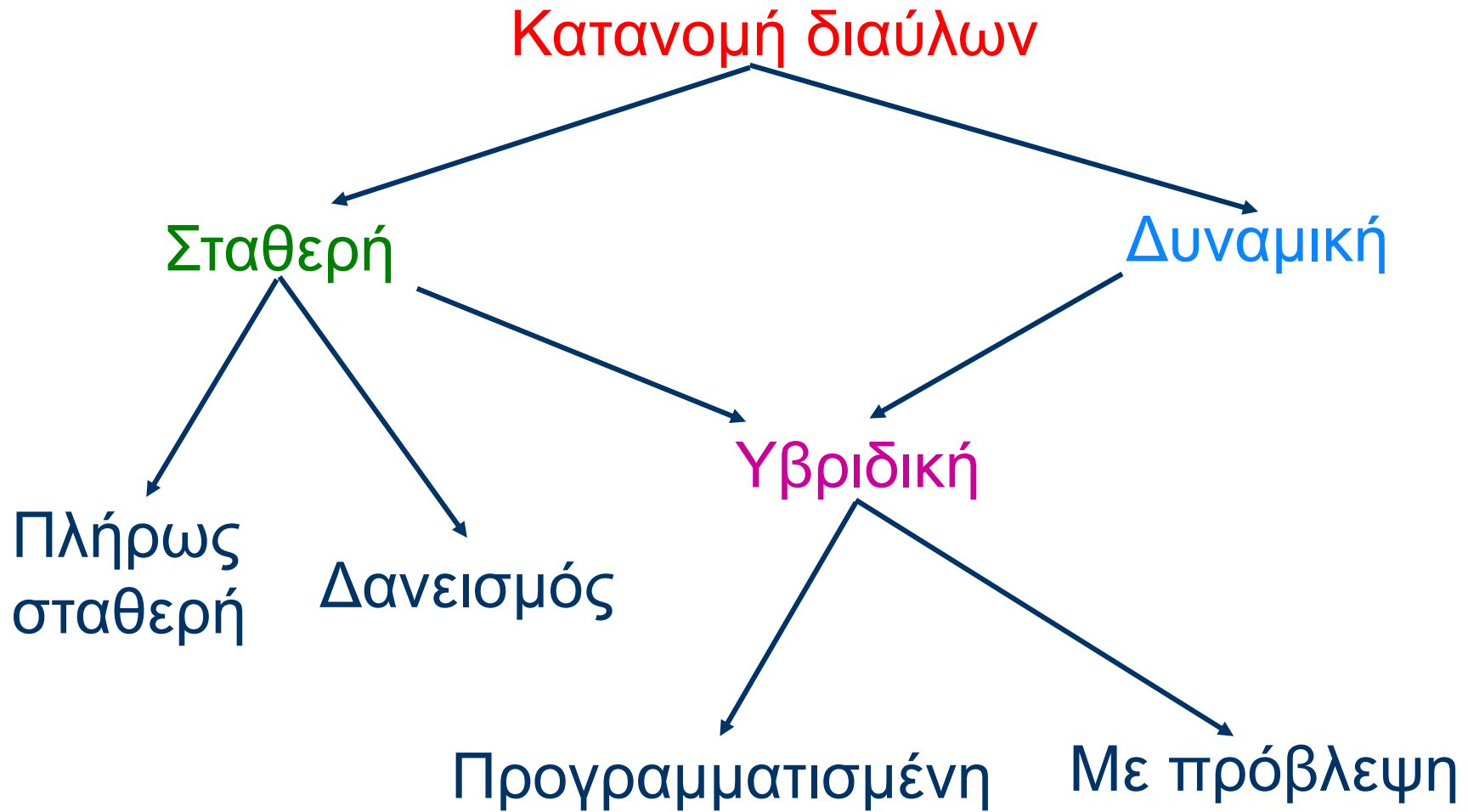
Συστήματα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

# Δανεισμός διαύλων

## Αλγόριθμοι δανεισμού

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

# Ανακεφαλαίωση κατανομής διαύλων



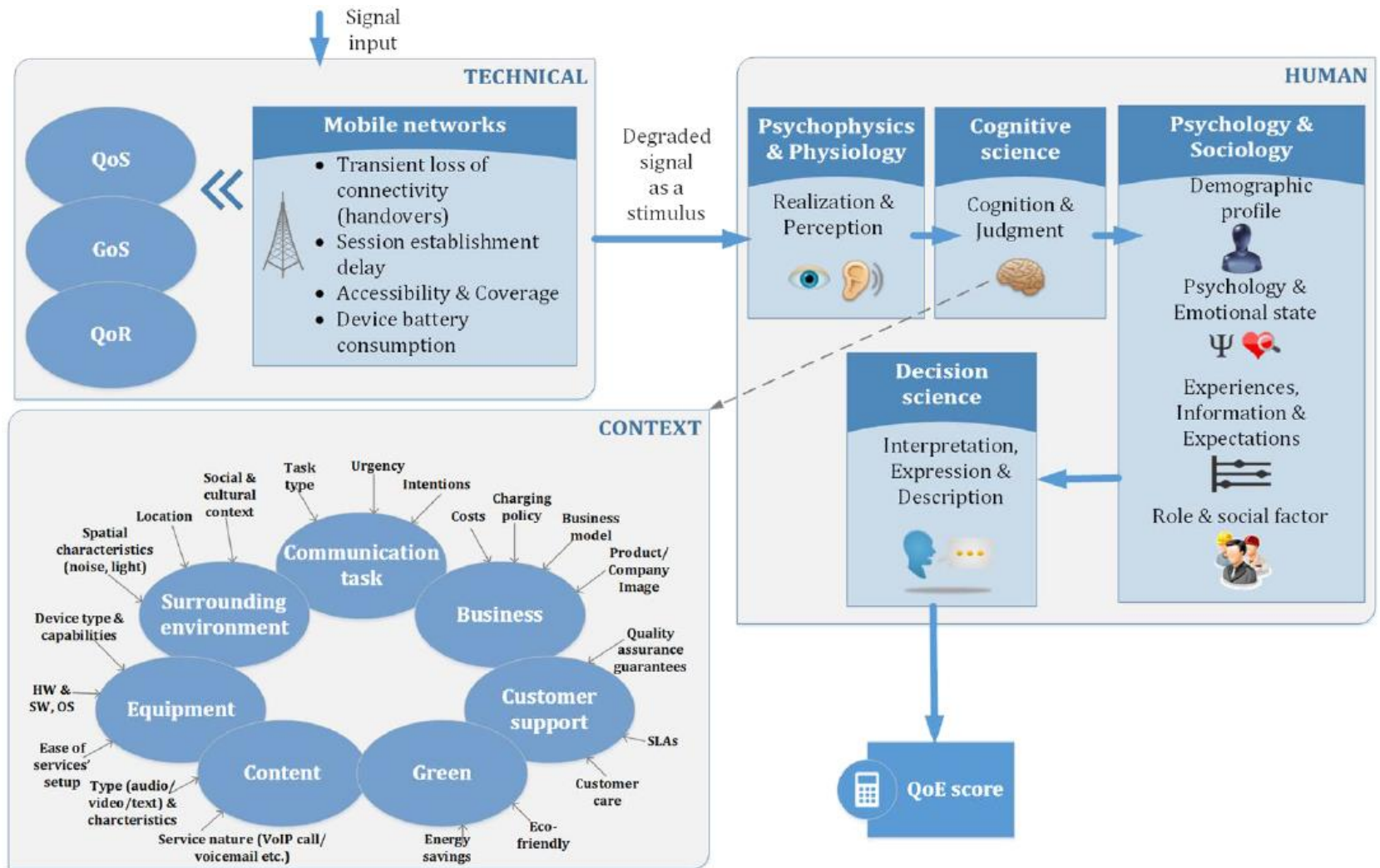
# Πρωτόκολλα Πολλαπλής Πρόσβασης



# Εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας

- 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



# Ποιότητα εμπειρίας - QoE

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

# Εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας

- 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

- 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

- 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 συχνοτήτων.



# Πολλαπλή πρόσβαση

## Περιορισμοί

- 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

- 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

- 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

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