

Βαθμός εξυπηρέτησης Συνέχεια

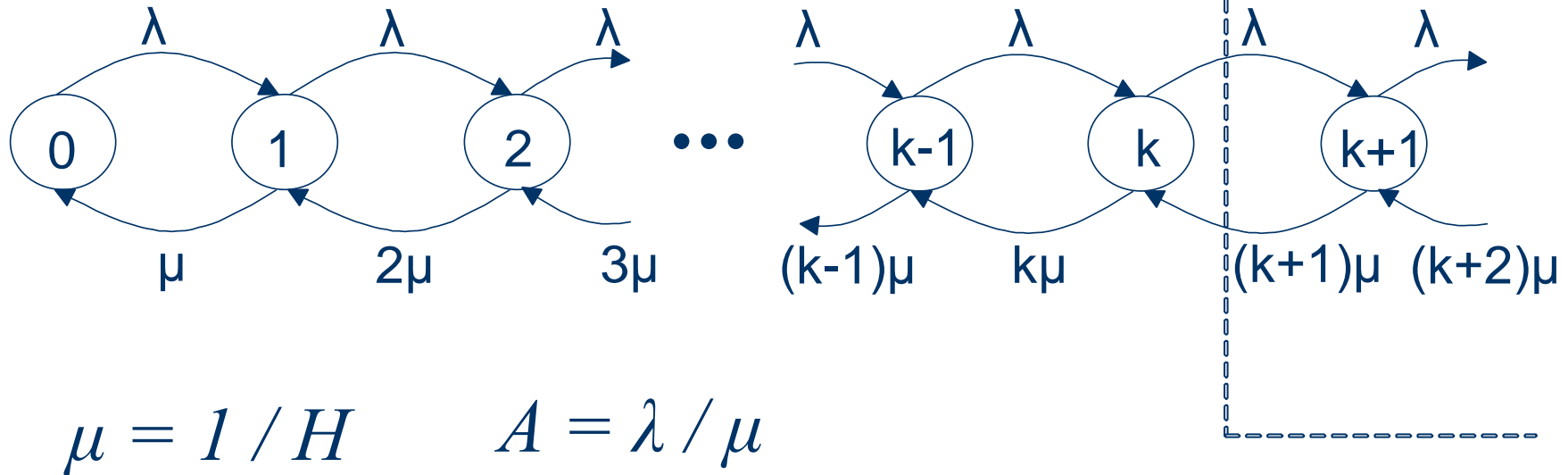
Υπολογισμός βαθμού εξυπηρέτησης

Erlang C

- Παρόμοιες υποθέσεις με Erlang B.
- Είναι διαθέσιμοι C δίαυλοι.
- Η κατανομή άφιξης των κλήσεων είναι Poisson με ρυθμό λ .
- Αν μια εισερχόμενη κλήση δεν βρίσκει ελεύθερο δίαυλο, τοποθετείται σε ουρά αναμονής με άπειρο μήκος.
- Κάθε κλήση εξυπηρετείται με τη σειρά άφιξής της.

Υπολογισμός βαθμού εξυπηρέτησης

Erlang B

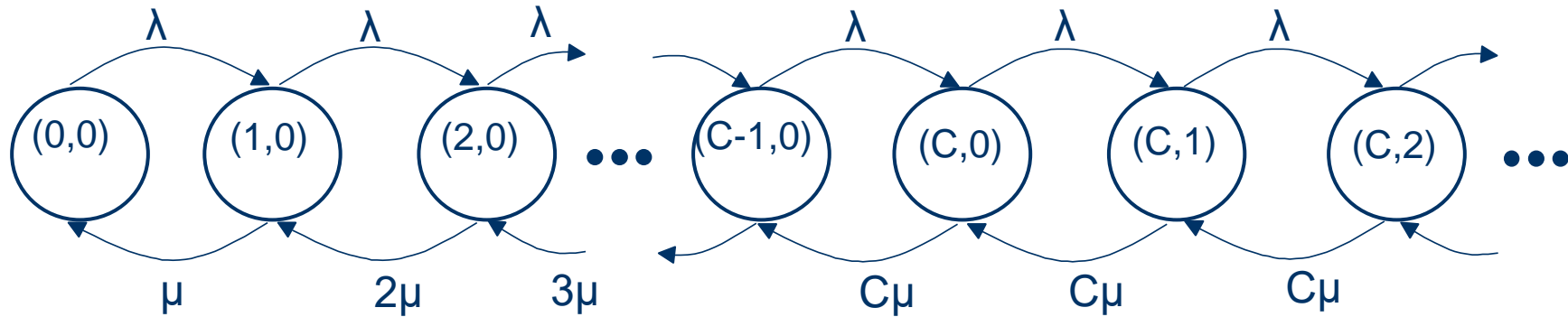


$$\lambda P_k = (k + 1) \mu P_{k+1}, \quad \text{για } 0 \leq k \leq C - 1 \quad \rightarrow$$

$$\rightarrow P_{k+1} = \frac{A}{k + 1} P_k \quad \rightarrow \quad P_{k+1} = \frac{A^{k+1}}{(k + 1)!} P_0$$

Υπολογισμός βαθμού εξυπηρέτησης

Erlang C



$$\lambda P_k = (k+1)\mu P_{k+1}, \quad \text{για } 0 \leq k \leq C-1$$

$$\lambda P_k = C\mu P_{k+1}, \quad \text{για } k \geq C$$

$$P_k = \frac{A^k}{k!} P_0, \quad \text{για } 0 \leq k \leq C$$

$$P_k = \left(\frac{\lambda}{\mu C} \right)^{k-C} \times P_C = \frac{A^k}{C^{k-C} C!} P_0 \quad \text{για } k \geq C$$

Υπολογισμός βαθμού εξυπηρέτησης

Erlang C

$$\sum_{k=0}^{\infty} P_k = 1,$$

$$\sum_{k=0}^{C-1} \frac{A^k}{k!} P_0 + \sum_{k=C}^{\infty} \frac{A^k}{C^{k-C} C!} P_0 = 1$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{C-1} \frac{A^k}{k!} + \frac{A^C}{C!(1 - \frac{A}{C})}}$$

$$\Pr[\text{delay} > 0] = \sum_{k=C}^{\infty} P_k$$

GOS \nearrow

$$\Pr[\text{delay} > 0] = \frac{A^C}{A^C + C! \left(1 - \frac{A}{C}\right) \sum_{k=0}^{C-1} \frac{A^k}{k!}}$$

Υπολογισμός βαθμού εξυπηρέτησης

Erlang C

Πίνακας Erlang C

C	Προσφερόμενη κίνηση A (erlang)											
	Πιθανότητα καθυστέρησης B (%)											
	0.01	0.05	0.1	0.5	1	2	5	10	15	20	30	40
1	.0001	.0005	.0010	.0050	.0100	.0200	.0500	.1000	.1500	.2000	.3000	.4000
2	.0142	.0319	.0452	.1025	.1465	.2103	.3422	.5000	.6278	.7403	.9390	1.117
3	.0860	.1490	.1894	.3339	.4291	.5545	.7876	1.040	1.231	1.393	1.667	1.903
4	.2310	.3533	.4257	.6641	.8100	.9939	1.319	1.653	1.899	2.102	2.440	2.725
5	.4428	.6289	.7342	1.065	1.259	1.497	1.905	2.313	2.607	2.847	3.241	3.569
6	.7110	.9616	1.099	1.519	1.758	2.047	2.532	3.007	3.344	3.617	4.062	4.428
7	1.026	1.341	1.510	2.014	2.297	2.633	3.188	3.725	4.103	4.406	4.897	5.298
8	1.382	1.758	1.958	2.543	2.866	3.246	3.869	4.463	4.878	5.210	5.744	6.178
9	1.771	2.208	2.436	3.100	3.460	3.883	4.569	5.218	5.668	6.027	6.600	7.065
10	2.189	2.685	2.942	3.679	4.077	4.540	5.285	5.986	6.469	6.853	7.465	7.959
11	2.634	3.186	3.470	4.279	4.712	5.213	6.015	6.765	7.280	7.688	8.336	8.857
12	3.100	3.708	4.018	4.896	5.363	5.901	6.758	7.554	8.099	8.530	9.212	9.761
13	3.587	4.248	4.584	5.529	6.028	6.602	7.511	8.352	8.926	9.379	10.09	10.67
14	4.092	4.805	5.166	6.175	6.705	7.313	8.273	9.158	9.760	10.23	10.98	11.58
15	4.614	5.377	5.762	6.833	7.394	8.035	9.044	9.970	10.60	11.09	11.87	12.49
16	5.150	5.962	6.371	7.502	8.093	8.766	9.822	10.79	11.44	11.96	12.77	13.41
17	5.699	6.560	6.991	8.182	8.801	9.505	10.61	11.61	12.29	12.83	13.66	14.33
18	6.261	7.169	7.622	8.871	9.518	10.25	11.40	12.44	13.15	13.70	14.56	15.25
19	6.835	7.788	8.263	9.568	10.24	11.01	12.20	13.28	14.01	14.58	15.47	16.18
20	7.419	8.417	8.914	10.27	10.97	11.77	13.00	14.12	14.87	15.45	16.37	17.10
21	8.013	9.055	9.572	10.99	11.71	12.53	13.81	14.96	15.73	16.34	17.28	18.03
22	8.616	9.702	10.24	11.70	12.46	13.30	14.62	15.81	16.60	17.22	18.19	18.96
23	9.228	10.36	10.91	12.43	13.21	14.08	15.43	16.65	17.47	18.11	19.10	19.89
24	9.848	11.02	11.59	13.16	13.96	14.86	16.25	17.51	18.35	19.00	20.02	20.82
25	10.48	11.69	12.28	13.90	14.72	15.65	17.08	18.36	19.22	19.89	20.93	21.76
26	11.11	12.36	12.97	14.64	15.49	16.44	17.91	19.22	20.10	20.79	21.85	22.69
27	11.75	13.04	13.67	15.38	16.26	17.23	18.74	20.08	20.98	21.68	22.77	23.63
28	12.40	13.73	14.38	16.14	17.03	18.03	19.57	20.95	21.87	22.58	23.69	24.57
29	13.05	14.42	15.09	16.89	17.81	18.83	20.41	21.82	22.75	23.48	24.61	25.50
30	13.71	15.12	15.80	17.65	18.59	19.64	21.25	22.68	23.64	24.38	25.54	26.44

Υπολογισμός βαθμού εξυπηρέτησης

Παράδειγμα 3.7

$K = 7$ εξαγωνικές κυψέλες $R = 2.31$ km, $C_{o\lambda} = 84$.
Αν $A_u = 0.06$ erlang και $\lambda_u = 2$ κλήσεις / ώρα,
υπολογίστε τα παρακάτω για σύστημα Erlang C με
 $GOS = 0.05$.

- α) Πόσοι χρήστες ανά km^2 θα υποστηρίζονται από το σύστημα;
- β) Ποια είναι η πιθανότητα μια καθυστερημένη κλήση να περιμένει περισσότερο από 12 sec;
- γ) Ποια είναι η πιθανότητα να καθυστερήσει μια κλήση περισσότερο από 12 sec;

Υπολογισμός βαθμού εξυπηρέτησης

Παράδειγμα 3.7

Λύση:

(α) Το εμβαδόν S_c κάθε εξαγωνικής κυψέλης είναι

$$S_c = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2 = 6 \text{ km}^2$$

Ο αριθμός των διαύλων ανά κυψέλη θα είναι $C_c = C_{\text{ολ}} / K = 84 / 7 = 12$. Από τον Πίνακα 3.3, για $C_c = 12$ και $GOS = 5\%$, προκύπτει $A = 6.758$ erlang.

Ο αριθμός των χρηστών ανά κυψέλη θα είναι

$$N_u = \left\lfloor \frac{A}{A_u} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{6.758}{0.06} \right\rfloor = 112 \text{ χρήστες}$$

οπότε θα αντιστοιχούν $N_u / S_c = 112 / 6 = 18$ χρήστες/km²

β) Για $\lambda = 2$ κλήσεις / ώρα, η μέση διάρκεια των κλήσεων θα είναι

$$H = \frac{A_u}{\lambda} = 0.03 \text{ ώρες} = 108 \text{ sec},$$

οπότε

$$\Pr[\text{delay} > t / \text{delay} > 0] = e^{-\frac{(C-A)t}{H}} = e^{-\frac{(12-6.758) \cdot 12}{108}} = 0.5585$$

γ) Για $C = 12$ και $A = 6.758$ erlang

$$\Pr[\text{dealy} > 12] = \Pr[\text{delay} > 0] \Pr[\text{delay} > t / \text{delay} > 0] = 0.05 \times 0.5585 = 0.0279$$

Φασματική απόδοση κυψελωτών συστημάτων

Ολικό αξιοποιούμενο εύρος ζώνης:

$$B_s = C_c \cdot K \cdot W$$

Δίαυλοι ανά
κυψέλη

Αριθμός επαναχρησιμοποίησης

Εύρος ανά δίαυλο

Φασματική απόδοση κυψελωτών συστημάτων

Έστω ένα σύστημα S που περιέχει ένα σύνολο κυψελών οργανωμένες σε ομάδες επαναχρησιμοποίησης με K κυψέλες η κάθε μία.

Φασματική απόδοση συστήματος

$$\eta_s = \frac{A_c}{B_s \cdot S_c} = \frac{A_c}{C_c \cdot K \cdot W \cdot S_c}$$

A_c = μέση μεταφερόμενη κίνηση ανά κυψέλη

S_c = μέσο εμβαδό κυψέλης συστήματος

Η φασματική απόδοση εκφράζεται σε *erlang/MHz/km²* (όχι σε *erlang/Hz/m²*).

Φασματική απόδοση κυψελωτών συστημάτων

Παράδειγμα 3.8:

Κυψέλες ανά ομάδα **K=7**

Ολικός αριθμός διαύλων **C=395**

Κίνηση ανά χρήστη **Au=0,03 erlang**

Μέση διάρκεια κλήσεων **H=120 sec**

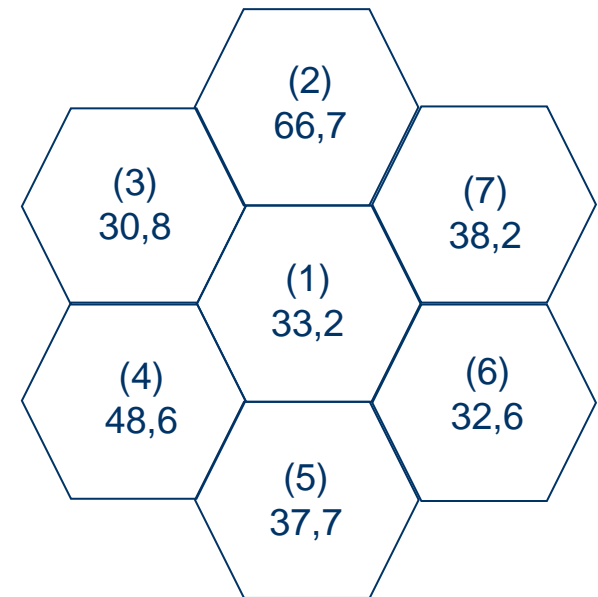
Έκταση εξυπηρέτησης **1200km²**

GOS = 0,02

Υπολογίστε:

- α) αριθμό απαιτούμενων διαύλων για κάθε κυψέλη
- β) αριθμό εξυπηρετούμενων συνδρομητών
- γ) μέσο αριθμό χρηστών ανά δίαυλο συστήματος
- δ) μέσο εξυπηρετούμενο αριθμό κλήσεων/ώρα
- ε) πυκνότητα χρηστών ανά km²
- στ) πυκνότητα κλήσεων ανά km²
- ζ) μέση ακτίνα κυψέλης σε km
- η) χρησιμοποίηση διαύλων σε κάθε κυψέλη

Κατανομή κίνησης ανά κυψέλη



Erlang B

Erlang B Table

<i>Ch</i>	1%	2%	5%	<i>Ch</i>	1%	2%	5%
7	2.50	2.94	3.74	29	19.49	21.04	23.83
8	3.12	3.63	4.54	30	20.34	21.93	24.80
9	3.78	4.34	5.37	31	21.19	22.83	25.77
10	4.46	5.08	6.21	32	22.04	23.73	26.75
11	5.16	5.84	7.07	33	22.90	24.63	27.72
12	5.87	6.61	7.95	34	23.77	25.53	28.70
13	6.60	7.40	8.83	35	24.63	26.44	29.68
14	7.35	8.20	9.72	36	25.51	27.34	30.66
15	8.10	9.00	10.63	37	26.38	28.25	31.64
16	8.87	9.82	11.54	38	27.25	29.16	32.62
17	9.65	10.65	12.46	39	28.13	30.08	33.61
18	10.43	11.49	13.39	40	29.01	31.00	34.60
19	11.23	12.33	14.31	41	29.89	31.92	35.58
20	12.03	13.18	15.25	42	30.77	32.83	36.57
21	12.83	14.03	16.19	43	31.66	33.76	37.56
22	13.65	14.90	17.13	44	32.54	34.68	38.56
23	14.47	15.76	18.08	45	33.43	35.60	39.55
24	15.29	16.63	19.03	46	34.32	36.53	40.55
25	16.12	17.50	19.99	47	35.21	37.46	41.54
26	16.95	18.38	20.94	48	36.11	38.39	42.54
27	17.97	19.26	21.90	49	37.00	39.32	43.53
28	18.64	20.15	22.86	50	37.90	40.25	44.53

Λύση:

α,β) Η προσφερόμενη κίνηση από κάθε χρήστη είναι $A_u = 0.03$ erlang και η μέση διάρκεια των κλήσεων $H = 120 \text{ sec} = 0.033 \text{ h}$. Θα έχουμε λοιπόν

$$\lambda = \frac{A_u}{H} = \frac{0.03}{0.033} = 0.9 \text{ κλήσεις / ώρα / χρήστη}$$

Για την κυψέλη (1), ο αριθμός των χρηστών N_u θα είναι

$$N_u = \left\lfloor \frac{A_1}{A_u} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{33.2}{0.03} \right\rfloor = 1106 \text{ χρήστες}$$

και ο αριθμός των κλήσεων ανά ώρα στην κυψέλη αυτή θα είναι

$$\lambda_1 = \lambda \times N_u = 0.9 \times 1106 = 995.4 \text{ κλήσεις / ώρα.}$$

Από τον Πίνακα 3.2, για $A = 33.2$ erlang και $GOS = 0.02$, βρίσκουμε $C = 43$ δίαυλοι. Η χρησιμοποίηση των διαύλων αυτών θα είναι $A / C = 33.2 / 43 = 0.77$.

Κυψέλη	Κίνηση (erlang)	Αριθμός Χρηστών	Αριθμός Κλήσεων	Απαιτούμενοι δίαυλοι	Χρησιμοποίηση διαύλων
1	33.2	1106	995.4	43	0.77
2	66.7	2223	2000.7	78	0.86
3	30.8	1026	923.4	40	0.77
4	48.6	1620	1458.0	59	0.82
5	37.8	1260	1134.0	48	0.79
6	32.6	1086	977.4	42	0.78
7	38.2	1273	1145.7	48	0.80
Σύνολο	287.9	9594	8634.6	358	

Στον παραπάνω πίνακα απεικονίζονται οι παραπάνω υπολογισμοί για όλες τις κυψέλες.

γ) Ο μέσος αριθμός χρηστών ανά δίαυλο του συστήματος θα είναι

$$N_{u,ολ} / C_{ολ} = 9594 / 358 = 26.8 \text{ χρήστες / δίαυλο.}$$

δ) Ο μέσος αριθμός κλήσεων, όπως φαίνεται στον πίνακα, είναι 8634.6.

ε) Η πυκνότητα χρηστών είναι $9594 / 1200 \text{ km}^2 \approx 8 \text{ χρήστες / km}^2$.

στ) Η πυκνότητα κλήσεων είναι $8634.6 / 1200 \text{ km}^2 = 7.2 \text{ κλήσεις / km}^2$.

ζ) Το εμβαδόν κάθε κυψέλης θα είναι $S_c = 1200 / 7 \text{ km}^2$. Δεδομένου ότι η σχέση που δίνει το εμβαδόν είναι

$$S_c = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2$$

προκύπτει $R = 8.12 \text{ km}$.

η) Η χρησιμοποίηση των διαύλων για κάθε κυψέλη φαίνεται στην τελευταία στήλη του πίνακα.

Συστήματα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

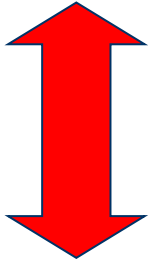
**Κατανομή και εκχώρηση
ασύρματων πόρων
(κεφ 5)**

Περίληψη

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

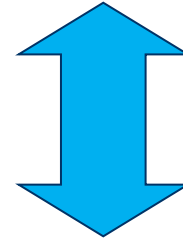
Εισαγωγή

Κατανομή διαύλων



Απόδοση φάσματος

Πολλαπλή πρόσβαση
Εκχώρηση



Αποτελεσματική
χρησιμοποίηση του φάσματος
(βελτίωση χωρητικότητας)

Στόχοι: Ευελιξία, ποιότητα, χωρητικότητα

Κατανομή διαύλων

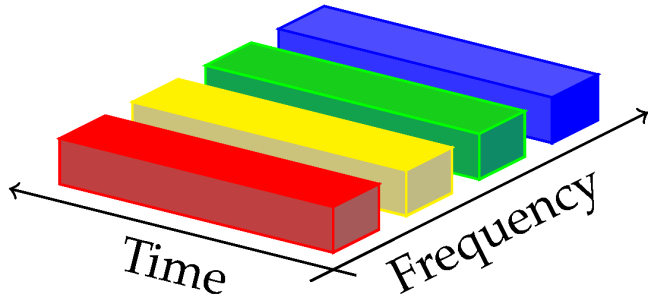
Διαίρεση φάσματος σε διαύλους

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

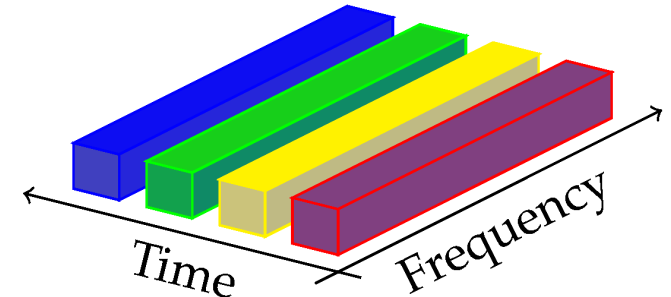
Κατανομή διαύλων

Διαίρεση φάσματος σε διαύλους

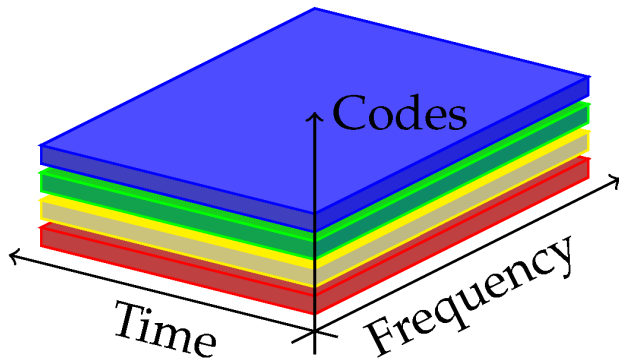
FDMA



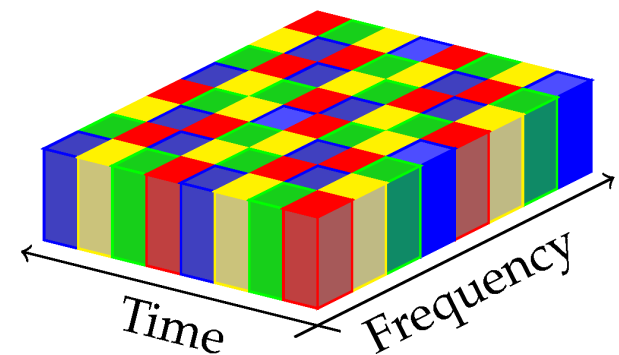
TDMA



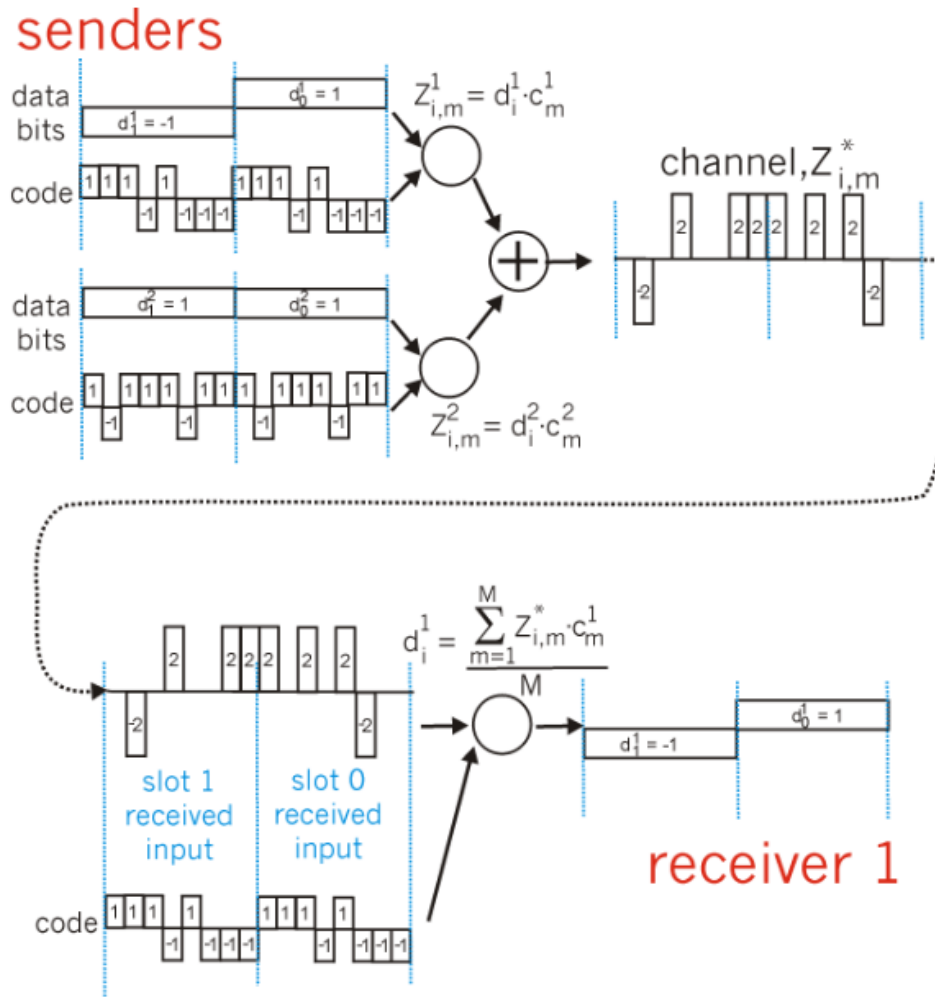
CDMA



OFDMA



Code Division Multiple Access (CDMA)



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)

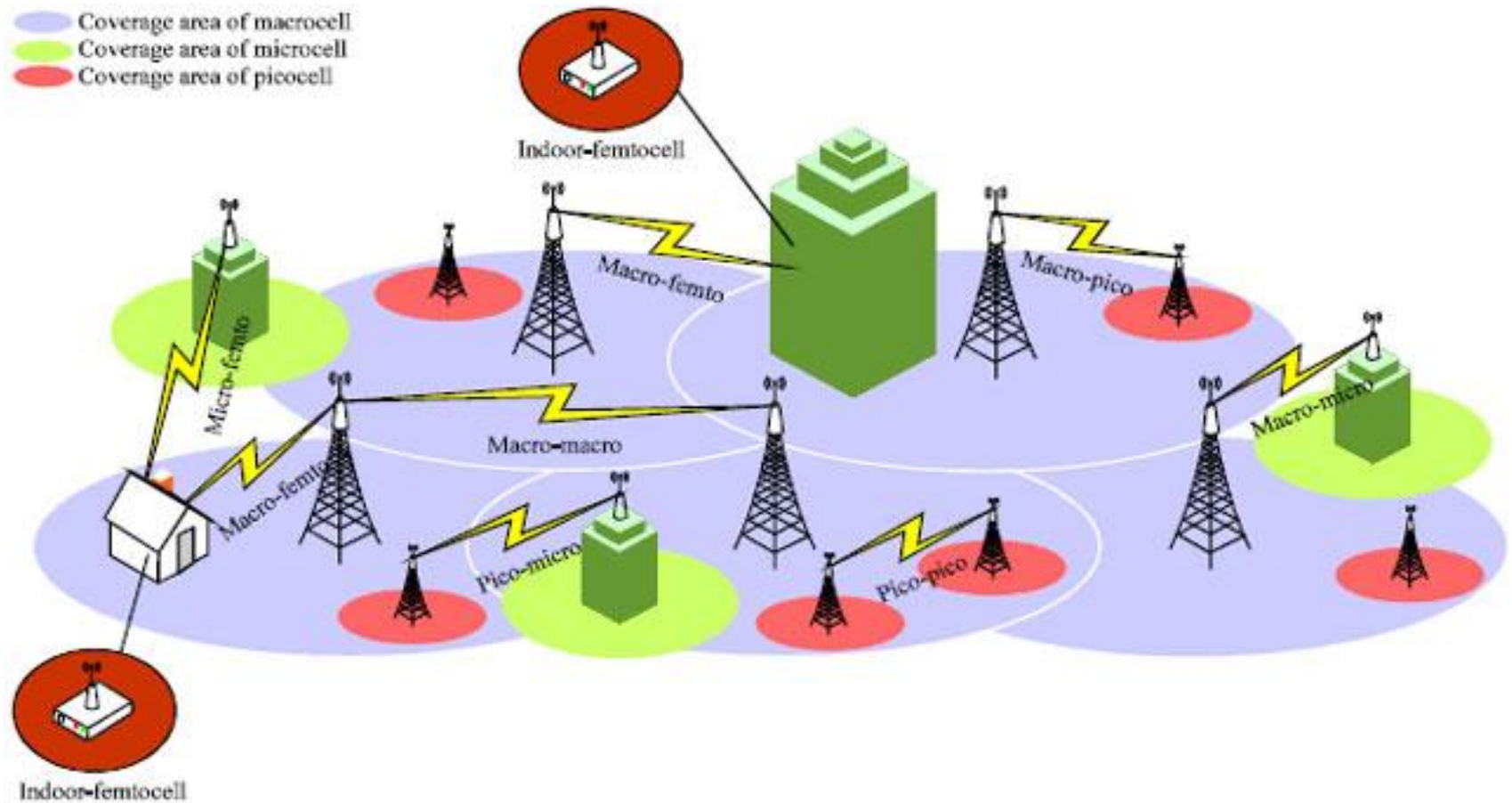
Κατανομή διαύλων

FCA

- 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



Κατανομή διαύλων

FCA

- 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

- 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 ⇒ εφαρμογή κάποιας στρατηγικής για την επιλογή του διαύλου που θα εκχωρηθεί.

Κατανομή διαύλων

DCA

- 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 επόμενων κλήσεων
 - Χρησιμοποίηση διαύλου
 - Απόσταση επαναχρησιμοποίησης