



Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Κινητές και Δορυφορικές Επικοινωνίες

Σχεδίαση Κυψελωτών Συστημάτων

Δημοσθένης Βουγιούκας (dnougiou@aegean.gr)

Αναπληρωτής Καθηγητής

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

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



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

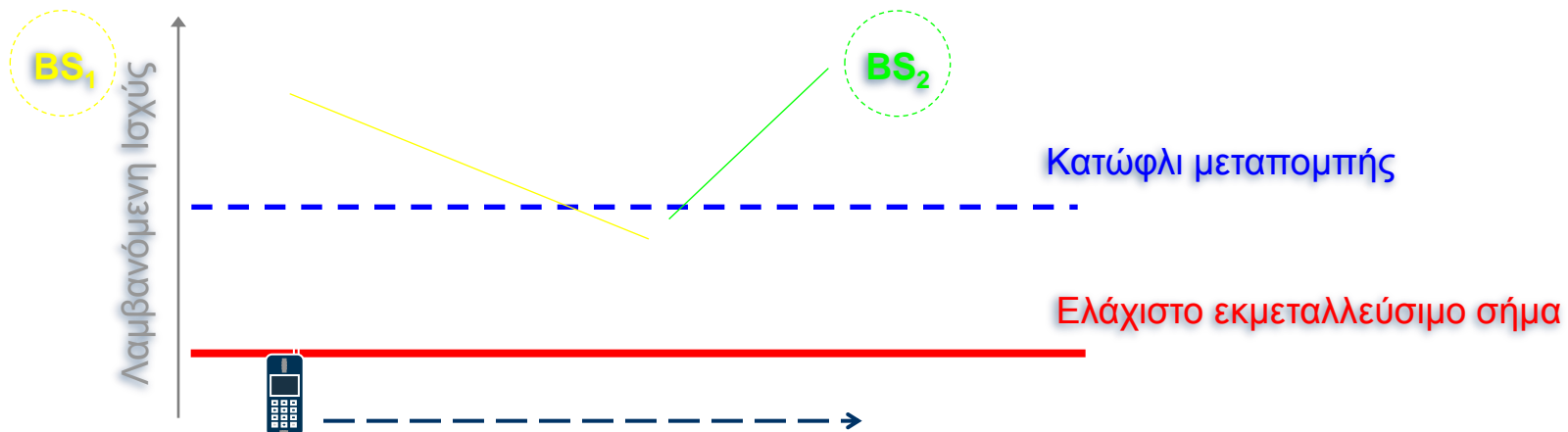


Μεταπομπή (Handover ή Handoff)

- ◆ Μεταπομπή (handoff): η διαδικασία μεταφοράς μιας κλήσης από τη δικαιοδοσία ενός σταθμού βάσης στη δικαιοδοσία ενός άλλου.
- ◆ Η μεταπομπή έχει προτεραιότητα ως προς τις νέες κλήσεις.
- ◆ Η μεταπομπή πρέπει να εκτελείται όσο το δυνατόν πιο σπάνια.
- ◆ Η μεταπομπή ξεκινά όταν η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος πέσει σε μια προκαθορισμένη τιμή πάνω από το ελάχιστο εκμεταλλεύσιμο σήμα λήψης.

Μεταπομπή

- ♦ Ισχύς μεταπομπής = (εκμεταλλεύσιμη ισχύς) + δ
- ♦ Όπου η «εκμεταλλεύσιμη ισχύς» είναι συνήθως -90 με -100dBm.
[dBm: $10\log_{10}(C / 1mW)$]
 - Αν το δ είναι πολύ μεγάλο \rightarrow κίνδυνος μη αναγκαίας μεταπομπής
 - Αν το δ είναι πολύ μικρό \rightarrow κίνδυνος απώλειας της κλήσης

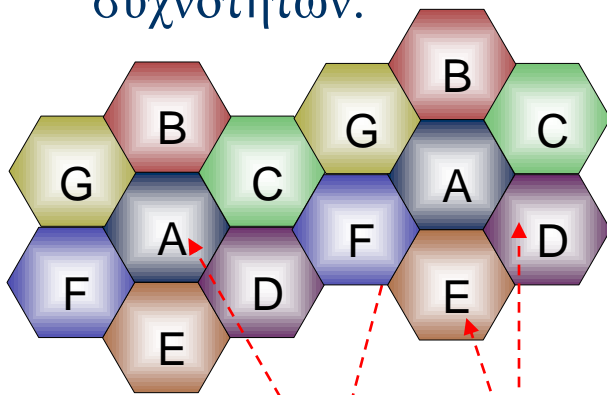


Μεταπομπή

- ◆ Πρέπει να εξασφαλισθεί ότι η πτώση της ισχύος του σήματος δεν οφείλεται σε διαλείψεις. Αυτό συνεπάγεται την ανάγκη διαρκούς παρακολούθησης της ισχύος.
- ◆ Στα συστήματα 1^{ης} γενιάς, κάθε BS παρακολουθούσε την ισχύ όλων των κινητών (*MS*).
- ◆ Ένδειξη έντασης ραδιοσήματος [radio signal strength indication: *RSSI*]
- ◆ Εκτός από την παρακολούθηση της *RSSI* των κλήσεων εν εξελίξει, ένας δέκτης εντοπισμού παρακολουθούσε την ένταση του σήματος στις γειτονικές κυψέλες. Όλη αυτή η πληροφορία διοχετευόταν στο *MSC*, το οποίο αποφάσιζε για το ποτέ θα γίνει το handoff.
- ◆ Στα συστήματα 2^{ης} γενιάς έχουμε μεταπομπή υποβοηθούμενη από το κινητό (mobile assisted handoff - *MAHO*).
 - Το κινητό μετρά την ισχύ του BS.
 - Η μεταπομπή γίνεται όταν ένας γειτονικός BS είναι ισχυρότερος.Αυτή η κατανομημένη λειτουργία βοήθη στην απλοποίηση της δομής του *MSC*.

Ενδοκαναλική παρεμβολή / Παρεμβολή γειτονικού καναλιού

- ◆ Ενδοκαναλική παρεμβολή [Co-Channel Interference: CCI]: είναι η παρεμβολή από (i) χρήστες και (ii) τον BS μίας κοντινής κυψέλης με το ίδιο σύνολο συχνοτήτων.
- ◆ Παρεμβολή γειτονικού καναλιού [Adjacent Channel Interference: ACI]: είναι η παρεμβολή από άλλη κυψέλη που έχει σύνολο γειτονικών συχνοτήτων.



Η παρεμβολή γειτονικού καναλιού εξαρτάται από την

- απόσταση των δυο πομποδεκτών και
- την ποιότητα των φίλτρων απόρριψης συχνοτήτων

Η ενδοκαναλική παρεμβολή εξαρτάται κυρίως από

- τον συντελεστή επαναχρησιμοποίησης N

CCI ACI { E: {5, 10, 15}
D: {6, 11, 16}

Ενδοκαναλική παρεμβολή και χωρητικότητα συστήματος

Η σχέση σήματος προς θόρυβο [*signal-to-noise ratio: SNR*] μπορεί να βελτιωθεί αν αυξηθεί η ισχύς εκπομπής

Όμως, αυξάνοντας την ισχύ εκπομπής όλων των χρηστών ο λόγος σήματος προς παρεμβολή [*Signal-to-Interference Ratio: SIR*] **δεν** βελτιώνεται

Για να βελτιωθεί ο SIR πρέπει να αυξηθεί ο λόγος $q = D/R$

Trade-off:

Μεγαλώνοντας το q , το N μεγαλώνει,
άρα μικραίνουμε τη χωρητικότητα του συστήματος...

Υπολογισμός SIR για ενδοκαναλική παρεμβολή

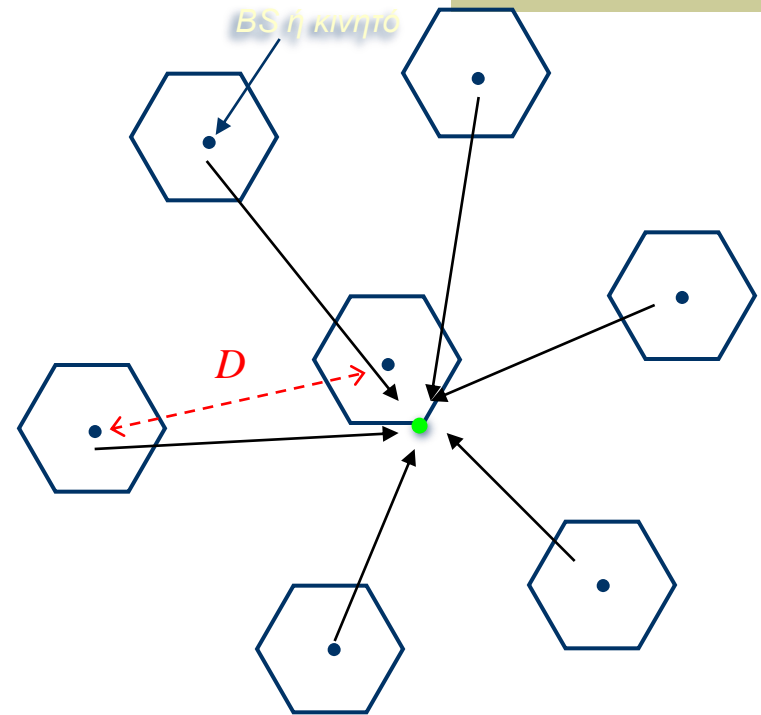
Ο λόγος σήματος-προς- παρεμβολή (*SIR*) είναι:

$$SIR = \frac{S}{\sum_{k=1}^6 I_k}$$

Όπου:

S είναι η ισχύς του σήματος ενδιαφέροντος [*Signal of Interest: SoI*] και

I_k είναι η ισχύς μίας παρεμβολής



Αργότερα, θα δούμε ότι η ισχύς ενός σήματος S σε απόσταση d από την πηγή του είναι ευθέως ανάλογη της ποσότητας d^{-n}

Όπου το n είναι ο εκθέτης απωλειών διάδοσης του καναλιού

Υπολογισμός SIR για ενδοκαναλική παρεμβολή

Μπορούμε να δούμε τον SIR ή ([Carrier to interference] C/I) στον σταθμό βάσης της κεντρικής κυψέλης σαν μία συνάρτηση των αποστάσεων:

$$C/I = \text{SIR} = \frac{R^{-n}}{\sum_{k=1}^6 D_k^{-n}}$$

Ο παρονομαστής αναφέρεται σε χρήστες σε κυψέλες γειτονικών ομοκαναλικών ομάδων.

Θεωρώντας $D_k = D$ παίρνουμε:

$$C/I = \frac{(D/R)^n}{6} = \frac{(\sqrt{3K})^n}{6}$$

Παρατηρούμε ότι ο λόγος φέροντος προς παρεμβολή C/I βελτιώνεται με την αύξηση του K

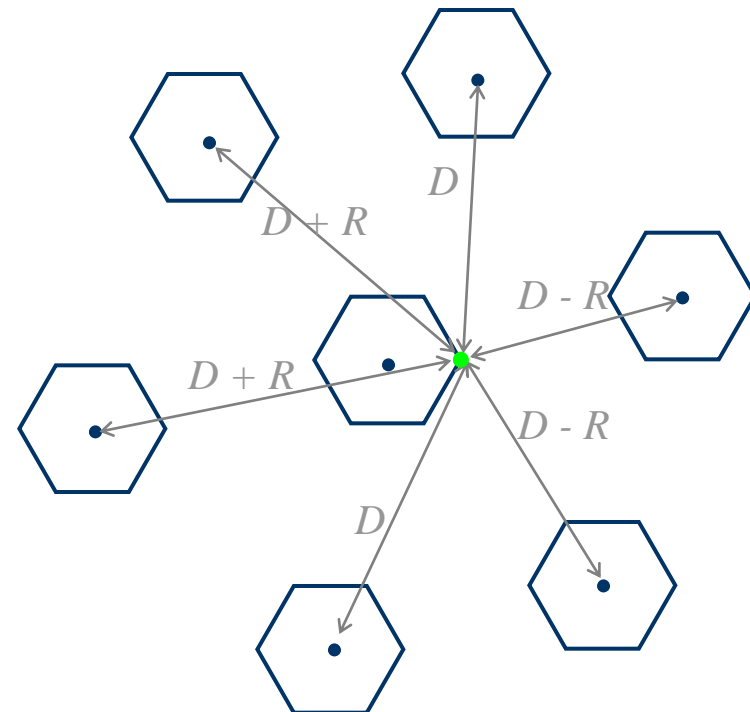
Χείριστη περίπτωση

- ♦ Ας θεωρήσουμε τώρα την πιο δυσμενή περίπτωση για μια ομάδα μεγέθους $K = 7$:
- ♦ Το κινητό είναι στην περιφέρεια της κυψέλης όπου εξυπηρετείται. Υπολογίζουμε τον λόγο C/I σαν συνάρτηση των αποστάσεων:

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-n}}{2(D-R)^{-n} + 2D^{-n} + 2(D+R)^{-n}}$$

$$D/R = q \text{ και έστω } n = 4$$

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{2(q-1)^{-4} + 2q^{-4} + 2(q+1)^{-4}}$$



Για το $K=7$ είναι $q = 4.6 \dots$ πράξεις:
 $C/I = 17.3dB \rightarrow 50 \times$

Παράδειγμα

Αν ο ελάχιστος αποδεκτός λόγος σήματος προς παρεμβολές είναι:

$C/I_{min} = 15 \text{ dB}$, ποια είναι η καλύτερη δυνατή τιμή του K του συστήματος για $n=3$ και για $n=4$?

$n=4$

Έστω $K = 7$, τότε:

$$D / R = \sqrt{3 \times 7} \approx 4.58$$

$$\frac{C}{I} = \frac{(D / R)^n}{i_0} = \frac{(\sqrt{3K})^n}{i_0} = \frac{(4.58)^n}{6} = 18.66 \text{ dB} > 15 \text{ dB}$$

Άρα το $K=7$ είναι ικανοποιητικό

$$C / I = \text{SIR} = \frac{R^{-n}}{\sum_{k=1}^6 D_k^{-n}}$$

Παράδειγμα

n=3

Έστω ξανά $K = 7$, τότε:

$$\frac{C}{I} = \frac{4.58^3}{6} = 12.05 \text{ dB} < 15 \text{ dB}$$

Χρειάζεται μεγαλύτερο K έστω $K=12$

$$D/R = \sqrt{3 \times 12} = 6.0$$

$$\frac{C}{I} = \frac{6^3}{6} = 36 = 15.56 \text{ dB} > 15 \text{ dB}$$

Κυψέλες

- ◆ Μείωση του λόγου ομοδιαυλικής επαναχρησιμοποίησης σημαίνει αύξηση των παρεμβολών, I
- ◆ Άρα μείωση του λόγου (C/I)
- ◆ Συνεπώς πρέπει να βρω τη χαμηλότερη δυνατή τιμή K , για την οποία έχω αποδεκτό λόγο σήματος προς παρεμβολή.
- ◆ Να παρατηρήσουμε ότι ο αριθμός των διαύλων σε κάθε κυψέλη είναι : $n=S/K$
- ◆ Άρα μείωση του K σημαίνει αύξηση του n , και άρα της χωρητικότητας.

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση

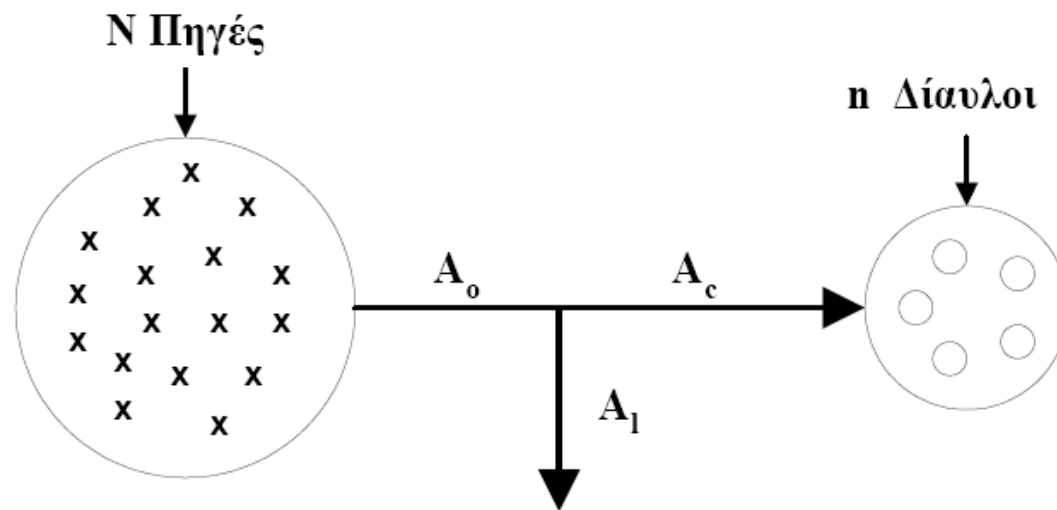
- ◆ Το φορτίο ενός συστήματος εξυπηρετητών (servers).
- ◆ Είναι καθαρός αριθμός αλλά του δόθηκε η μονάδα Erlang, από τον θεμελιωτή της θεωρίας τηλεπικοινωνιακής κίνησης.
- ◆ Ένας εξυπηρετητής μεταφέρει κίνηση 1 Erlang όταν είναι συνεχώς κατειλημμένος.
- ◆ Δύο εξυπηρετητές 9.6kbps ο ένας και 64kbps ο άλλος, που είναι πλήρως κατειλημμένοι, μεταφέρουν ο καθένας 1 Erlang κίνησης.
- ◆ Στα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών εξυπηρετητές είναι οι ραδιοδίαυλοι.

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση

- ◆ Η άφιξη και η λήξη μιας τηλεφωνικής κλήσης είναι στοχαστικές διαδικασίες και η μονάδα Erlang δεν μας υποδεικνύει πώς συμπεριφέρεται στατιστικά η κίνηση γύρω από τη μέση τιμή.
- ◆ Οι χρήστες στα συστήματα κινητών επικοινωνιών είναι πολύ περισσότεροι από τους διαθέσιμους διαύλους.
- ◆ Όταν η προσφερόμενη κίνηση αυξηθεί, είναι φυσικό μια κλήση να αφιχθεί ενώ όλοι οι δίαυλοι είναι κατειλημμένοι.

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση

- ♦ Μοντέλο χαμένων κλήσεων



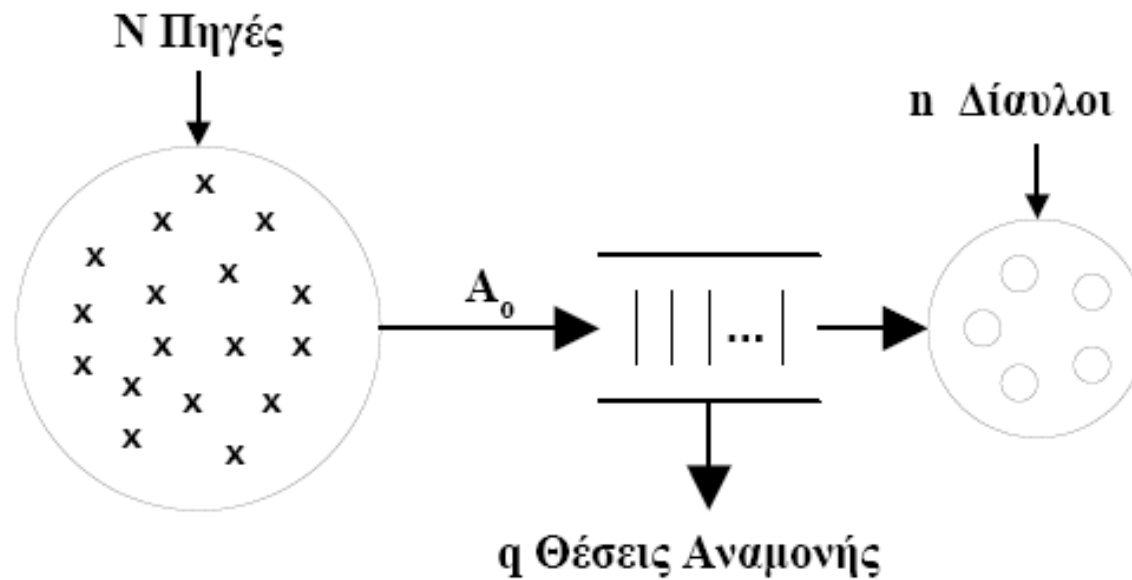
A_0 : Προσφερόμενη Κίνηση

A_1 : Χαμένη Κίνηση

A_c : Μεταφερόμενη Κίνηση

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση

- ♦ Μοντέλο Αναμονής Κλήσεων (Υπόθεση $q+N < n$ και οι χρήστες απεριόριστη υπομονή)



A_0 : Προσφερόμενη Κίνηση

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση

- ◆ **Ερώτηση** : Ποια είναι η δυνατότητα του χρήστη να προσπελάσει το σύστημα κατά την ώρα μέγιστου προσφερόμενου φορτίου;
- ◆ **Βαθμός Εξυπηρέτησης (Grade of Service, GoS)** : Το μέτρο της μέγιστης αποδεκτής πιθανότητας μια κλήση είτε να χαθεί, είτε να βρίσκεται σε αναμονή για περισσότερο από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.
- ◆ **Στόχος σχεδιαστή** : Απόφαση για τον αριθμό των ραδιοδιαύλων που θα ικανοποιεί ένα προκαθορισμένο GoS, με δεδομένο το μέγιστο προσφερόμενο φορτίο.

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση

- ◆ Θεωρούμε σύστημα με N χρήστες
- ◆ Η μέση χρονική διάρκεια μια κλήσης είναι H
- ◆ Ο μέσος ρυθμός άφιξης κλήσεων από κάθε χρήστη είναι λ , (κλήσεις / μονάδα χρόνου).
- ◆ Κάθε χρήστης παράγει κίνηση

$$A_u = \lambda H \text{ (Erlangs)}$$

- ◆ Συνολική κίνηση

$$A = N A_u = N\lambda H \text{ (Erlangs)}$$

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση

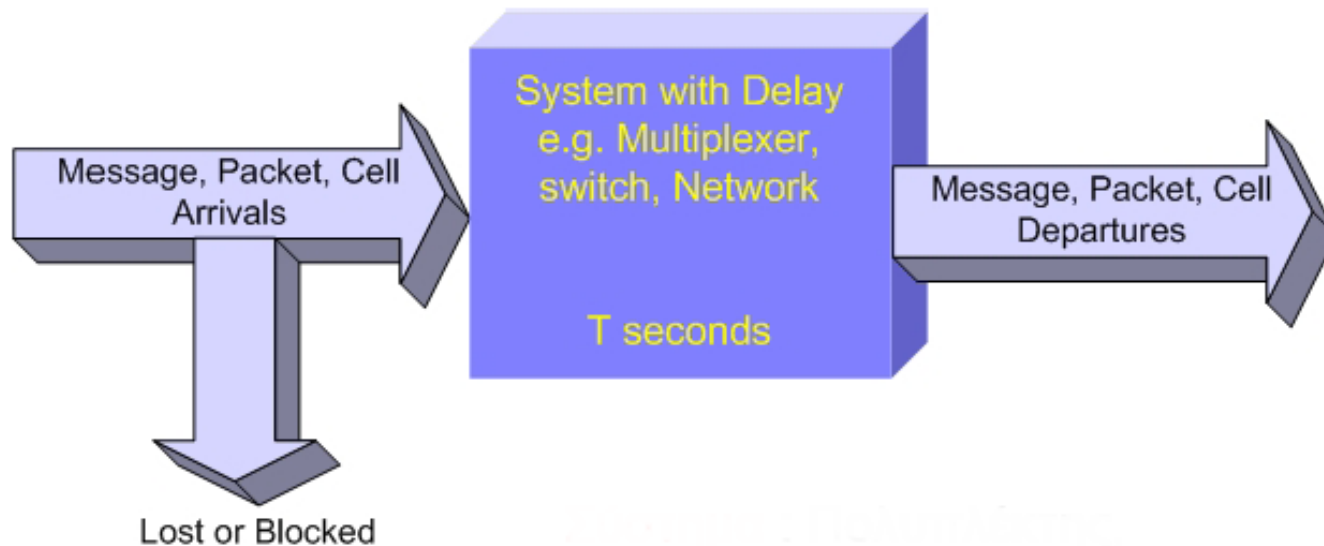
- ◆ **Παράδειγμα:** Υπολογίστε το φορτίο από 1000 χρήστες αν η μέση διάρκεια κλήσης είναι 90sec και ο ρυθμός κλήσεων είναι 2 κλήσεις/ώρα

- ◆ **Λύση:**

$$A_u = \lambda H = \frac{2}{3600} 90 = 0.05 \text{ (Erlangs)}$$

$$A = NA_u = N\lambda H = 1000 * 0.05 = 50 \text{ (Erlangs)}$$

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση



Σύστημα : Πολυπλέκτης, μεταγωγέας, ραδιοδιάυλος, ολόκληρο δίκτυο

Πελάτης : Μήνυμα, πακέτο, cell

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση

- ◆ **Παράμετροι που ενδιαφέρουν**
 - Η καθυστέρηση T (seconds) στο σύστημα (χρόνος αναμονής και χρόνος εξυπηρέτησης)
 - Ο αριθμός των πελατών στο σύστημα
 - Ποσοστό πελατών που χάνονται (απορρίπτονται)
 - Ο μέσος αριθμός πελατών/second που περνούν από το σύστημα (system throughput).
- ◆ **Υποθέσεις που γίνονται συνήθως**
 - Κατανομή Poisson για αφίξεις με ρυθμό λ
 - Κατανομή Poisson για αναχωρήσεις με ρυθμό μ

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση

- ◆ **Κατανομή Poisson:** Η πιθανότητα για k αφίξεις σε διάστημα T , είναι:

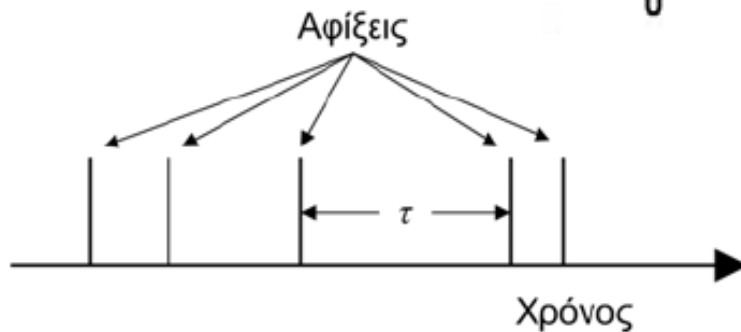
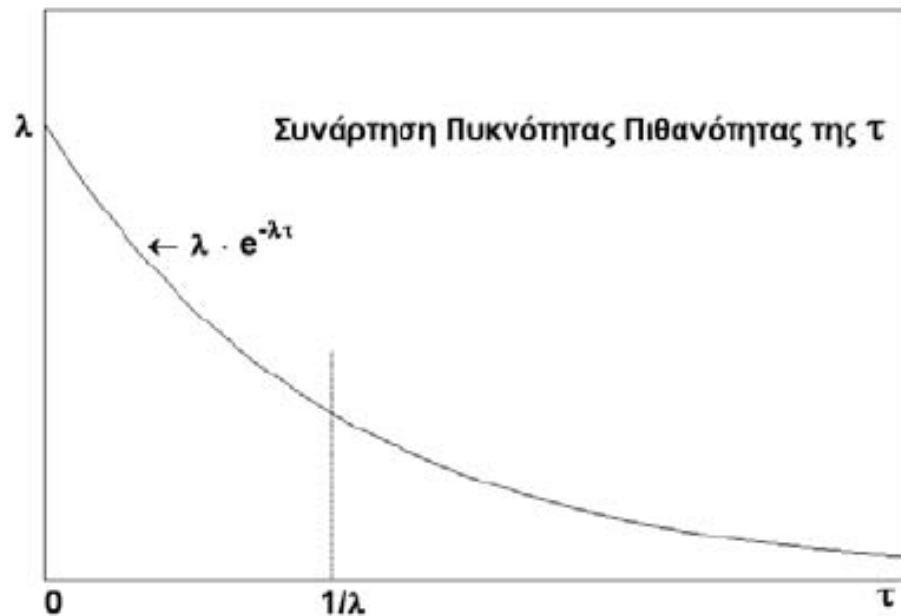
$$p(k) = (\lambda T)^k \frac{e^{-\lambda T}}{k!} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

- ◆ **Ιδιότητα κατανομής Poisson:** Αν N ανεξάρτητες πηγές ακολουθούν κάθε μια κατανομή Poisson με ρυθμούς άφιξης $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$, τότε η συνολική (αθροιστικά) πηγή ακολουθεί κατανομή Poisson με ρυθμό:

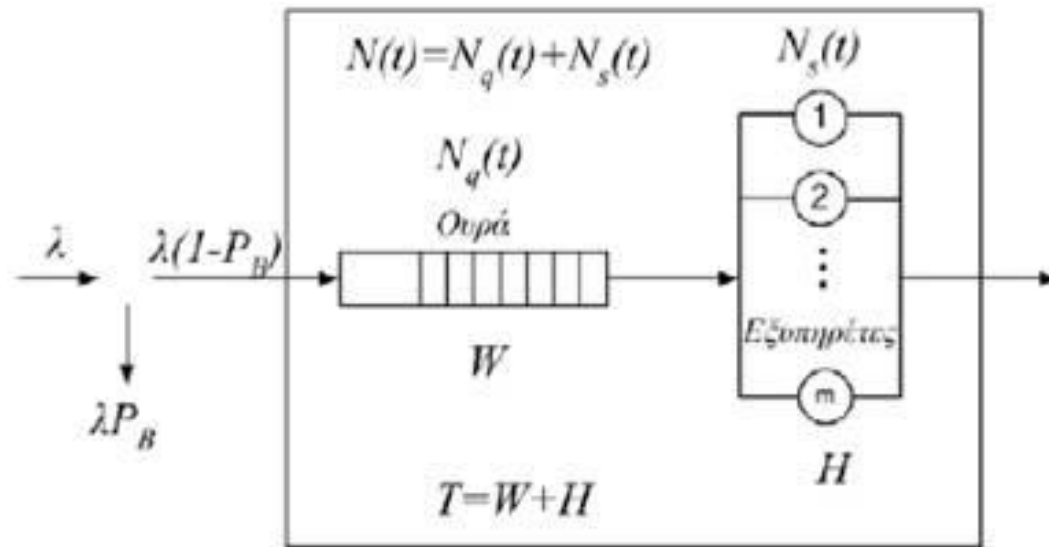
$$\lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i$$

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση

Εκθετική Κατανομή
για τους χρόνους
μεταξύ διαδοχικών
αφίξεων



Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση - Ουρές



Προσφερόμενο φορτίο:

$$A = \lambda E[H] = \lambda / \mu$$

Μεταφερόμενο φορτίο :

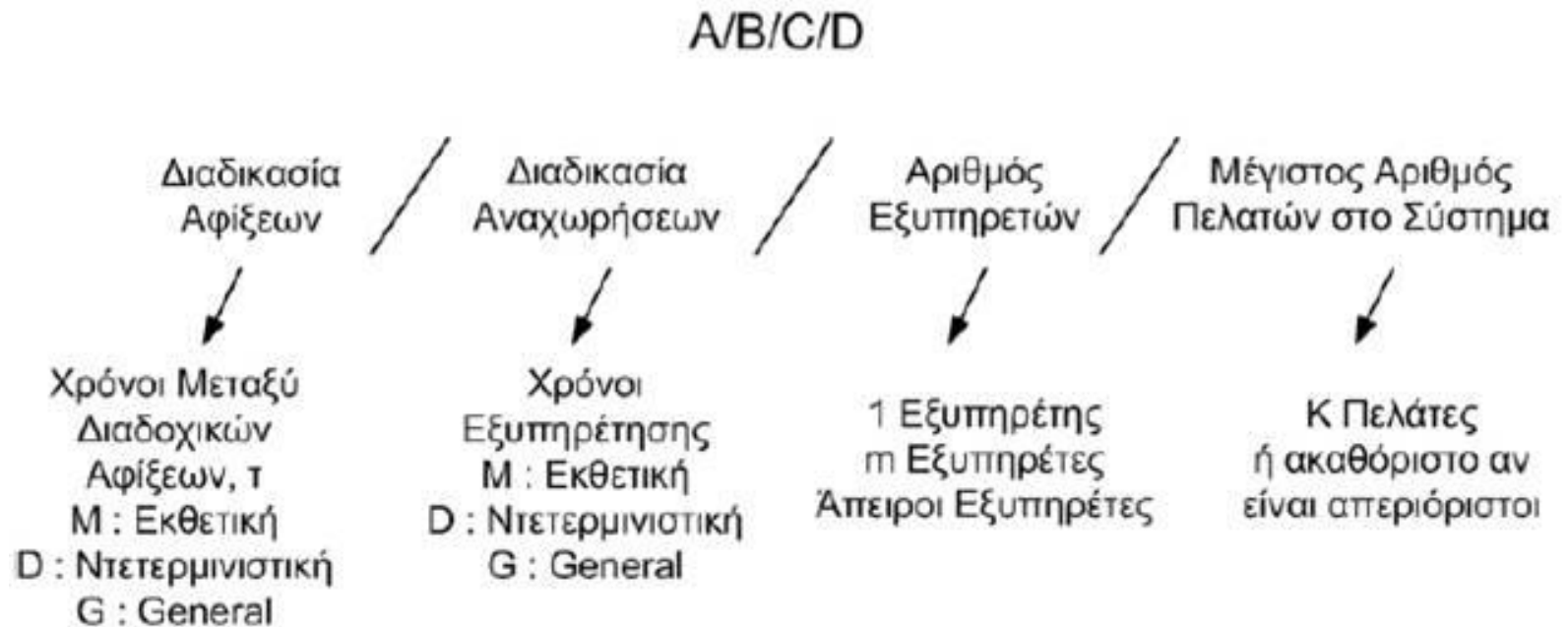
$$E[H] \lambda (1 - P_B) = A (1 - P_B)$$

Βαθμός Κατάληψης :

$$\rho = E[N_s] / m = \lambda (1 - P_B) / m \mu$$

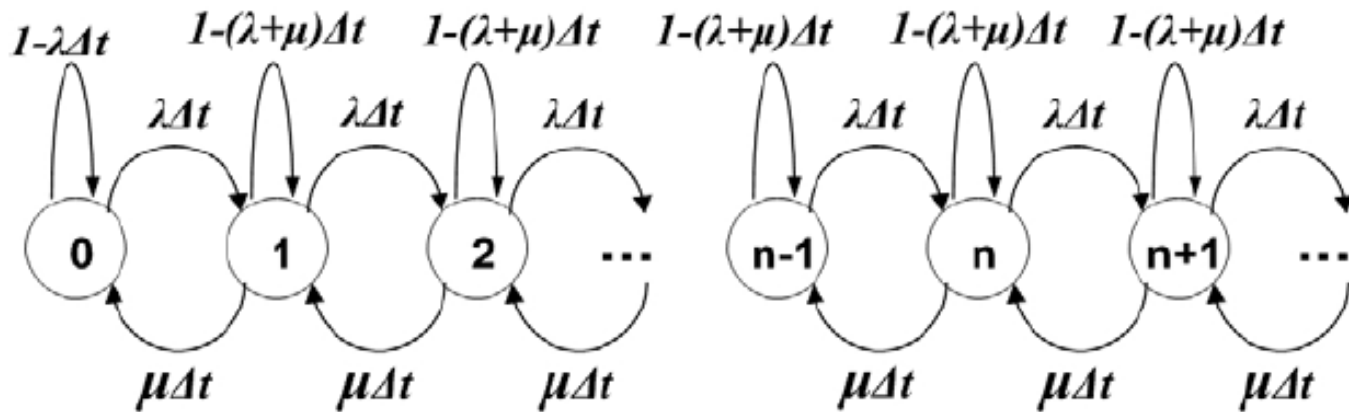
Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση - Ουρές

Αναπαράσταση Συστήματος Ουράς



Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση - Ουρές

- ◆ Διαγράμματα Κατάστασης
- ◆ Παράδειγμα M/M/1



$$(\lambda + \mu) p_n = \lambda p_{n-1} + \mu p_{n+1}$$

$$\lambda p_n = \mu p_{n+1}$$

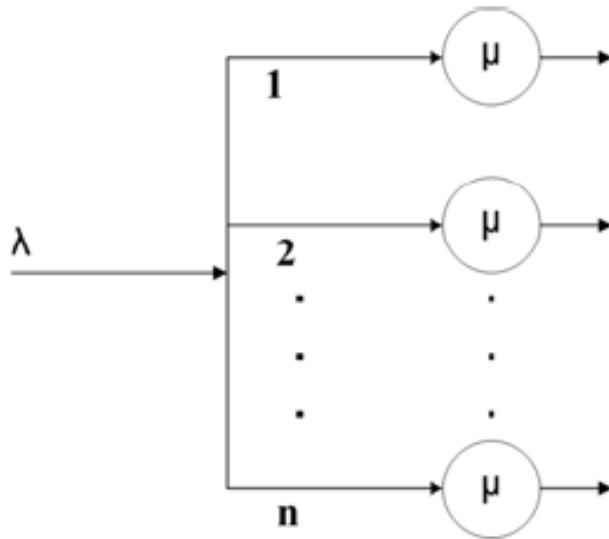
$$p_n = A^n (1 - A)$$

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση (Erlang B)

◆ Μοντέλο Erlang B

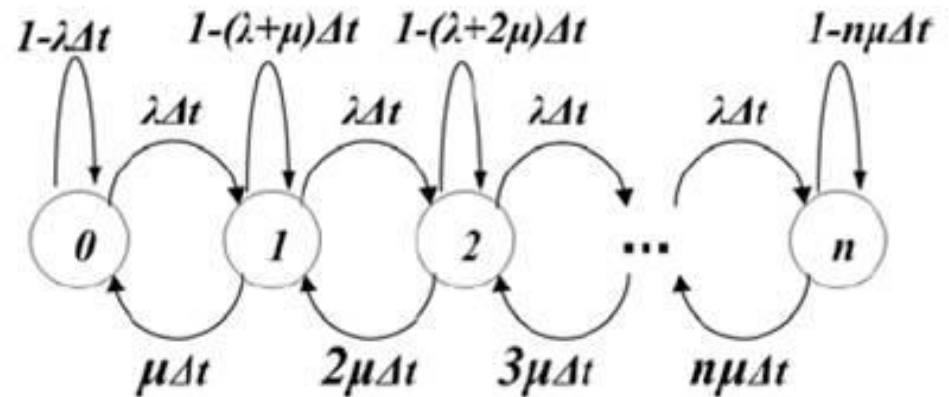
- Οι κλήσεις αφικνούνται και εξυπηρετούνται κατά Poisson, με μέσους ρυθμούς λ και μ αντίστοιχα.
- Η τηλεπικοινωνιακή κίνηση είναι : $A = \lambda / \mu$
- Βρίσκουν πάντα διαθέσιμο δίαυλο, μέχρι ένας μέγιστος αριθμός διαύλων είναι κατειλημμένος.
- Στη συνέχεια όποιες κλήσεις αφικνούνται, απορρίπτονται και υποθέτουμε ότι ο χρήστης δεν προσπαθεί ξανά.
- Το σύστημα είναι με πεπερασμένο αριθμό διαύλων χωρίς θέσεις αναμονής.

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση (Erlang B)



Το σύστημα είναι με πεπερασμένο αριθμό διαύλων χωρίς θέσεις αναμονής.

Διάγραμμα
Κατάστασης για
Erlang B



Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση (Erlang B)

- ◆ Πιθανότητα Απόρριψης Κλήσεων
- ◆ Όσο αυξάνεται η κίνηση A τόσο $P_B \rightarrow 1$
- ◆ Ο μέσος αριθμός κλήσεων στο σύστημα είναι

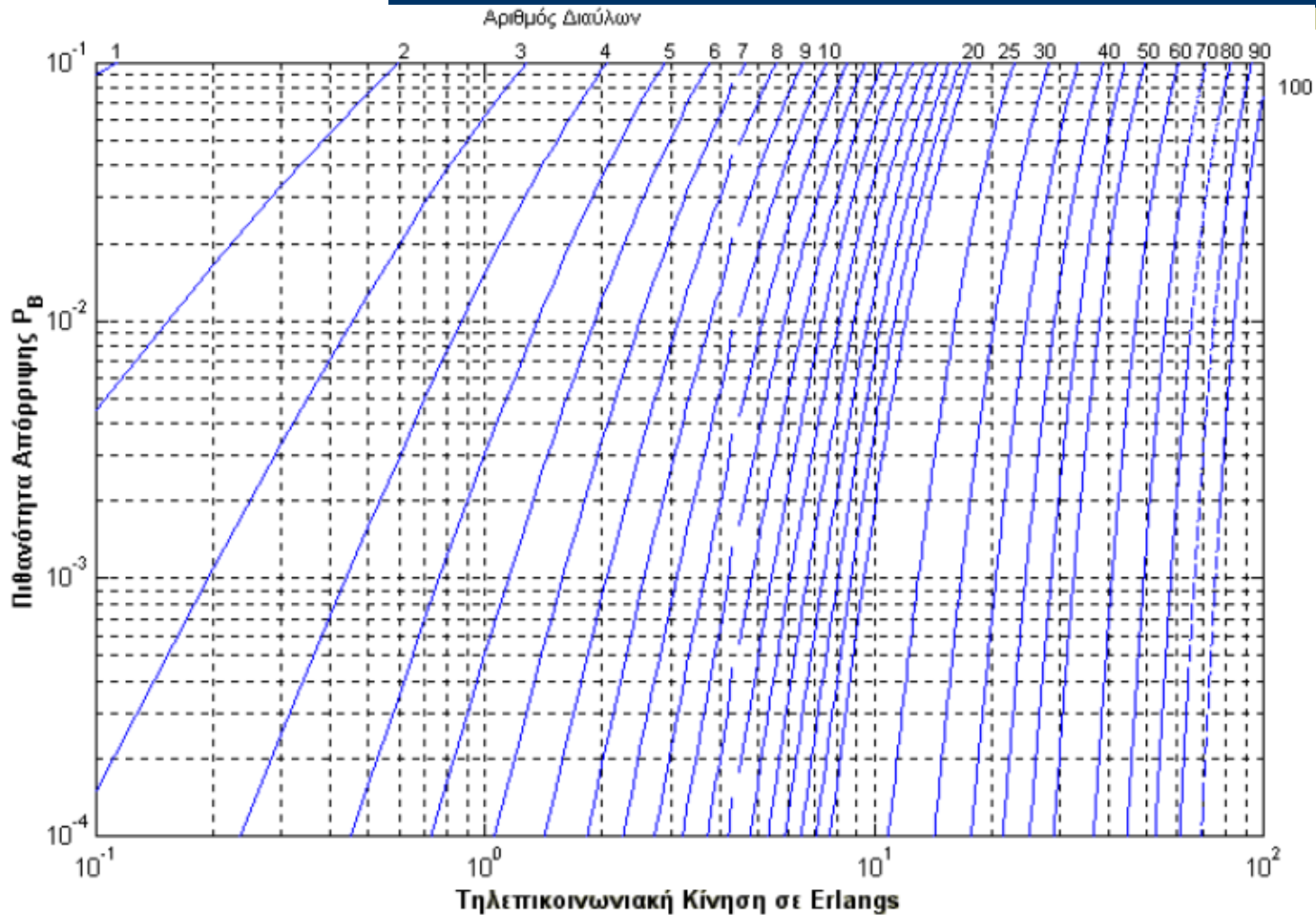
$$P_B(n, A) = \frac{\frac{A^n}{n!}}{\sum_{k=0}^n \frac{A^k}{k!}}$$

$$E[N] = A(1 - P_B) \quad \max \{N\} = n$$

- ◆ Η δυνατότητα διεκπεραίωσης κλήσεων (throughput)

$$\gamma = \lambda(1 - P_B) \quad \max \{\gamma\} = n\mu$$

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση (Erlang B)



Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση (Erlang B)

n	$P_b=0,01$	$P_b=0,02$	$P_b=0,03$
1	0,010103	0,020405	0,030934
2	0,152596	0,223471	0,281556
3	0,455481	0,60221	0,715132
4	0,86942	1,092257	1,258905
5	1,360778	1,657145	1,875209
6	1,909031	2,275874	2,54306
7	2,500934	2,935403	3,249651
8	3,127566	3,627053	3,986547
9	3,782541	4,344723	4,747879
10	4,461182	5,084009	5,529414

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση (Erlang B)

- ◆ **Παράδειγμα** : Αν σε ΣΚΕ η πιθανότητα απόρριψης είναι 0.03 και κάθε χρήστης παράγει κίνηση 0.1Erlangs, υπολογίστε πόσοι δίαυλοι απαιτούνται για την υποστήριξη 20, 40 και 50 χρηστών
- ◆ **Λύση** : Κίνηση για 20 χρήστες $A=2$ Erlangs, για 40 χρήστες $A=4$ Erlangs, και για 50 χρήστες $A=5$ Erlangs. Άρα απαιτούνται (από πίνακα) $n=6$, $n=9$ και $n=10$ δίαυλοι αντίστοιχα

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση (Erlang B)

- ◆ **Παράδειγμα** : Αν σε ΣΚΕ με 100 κυψέλες και κατά μέσο όρο 10 διαύλους ανά κυψέλη, η πιθανότητα απόρριψης είναι 2%, υπολογίστε πόσοι χρήστες υποστηρίζονται, αν κάθε χρήστης παράγει κίνηση 0.1Erlangs.
- ◆ **Λύση** : Κάθε κυψέλη μπορεί να υποστηρίξει $A=5,08$ Erlangs. Άρα $5,08/0,1=50,8$ δηλαδή 50 χρήστες. Άρα σε όλο το σύστημα $50*100=5000$ χρήστες.

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση (Erlang B)

- ♦ Κατά κύριο λόγο στα ασύρματα τηλεφωνικά συστήματα χρησιμοποιείται ο πίνακας Erlang-B.
- ♦ Τα περισσότερα συστήματα δεν θέτουν σε αναμονή τις κλήσεις όταν δεν μπορούν να τις εξυπηρετήσουν (blocked calls), και αν εξαιρέσουμε τους χρήστες που κάνουν επανειλημμένες απόπειρες να πιάσουν γραμμή, η κίνηση προσεγγίζεται καλύτερα με τον τύπο του Erlang-B.

Παράδειγμα:

Πόσα κανάλια απαιτούνται για την εξυπηρέτηση 100 συνδρομητών με GoS= 2%, αν η μέση κίνηση ανά χρήστη είναι 30 mE?

Χρήση πίνακα:

100 x 30mE = 3 Erlangs

3 Erlang στο GOS = 2%

8 κανάλια

n	Loss probability (E)						
	0.007	0.008	0.009	0.01	0.02	0.03	0.04
1	.00705	.00806	.00908	.01010	.02041	.03093	.05204
2	.12600	.13532	.14416	.15259	.22347	.28155	.38155
3	.39664	.41757	.43711	.45549	.60221	.71513	.89955
4	.77729	.81029	.84085	.86942	1.0923	1.2589	1.5204
5	1.2362	1.2810	1.3223	1.3608	1.6571	1.8752	2.2104
6	1.7531	1.8093	1.8610	1.9090	2.2759	2.5431	2.9604
7	2.3149	2.3820	2.4437	2.5009	2.9354	3.2497	3.7304
8	2.9125	2.9902	3.0615	3.1276	3.6271	3.9865	4.5404
9	3.5395	3.6274	3.7080	3.7825	4.3447	4.7479	5.3704
10	4.1911	4.2889	4.3784	4.4612	5.0840	5.5294	6.2104
11	4.8637	4.9709	5.0691	5.1599	5.8415	6.3280	7.0704
12	5.5543	5.6708	5.7774	5.8760	6.6147	7.1410	7.9504
13	6.2607	6.3863	6.5011	6.6072	7.4015	7.9667	8.8304
14	6.9811	7.1155	7.2382	7.3517	8.2003	8.8035	9.7204
15	7.7139	7.8568	7.9874	8.1080	9.0096	9.6500	10.6004
16	8.4579	8.6092	8.7474	8.8750	9.8284	10.505	11.5004

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση (Erlang B)

- ◆ Υπάρχει μια επαναληπτική σχέση που επιτρέπει τον γρήγορο και ακριβή υπολογισμό της πιθανότητας απόρριψης

$$P_B(n, A) = \frac{\frac{A \cdot P_B(n-1, A)}{n}}{1 + \frac{A \cdot P_B(n-1, A)}{n}}$$

$$P_B(0, A) = 1$$

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση (Erlang B)

- ◆ Προσφερόμενη κίνηση ανά δίαυλο ($G_c = A/n$)
- ◆ Αφορά την αποδοτικότητα των διαύλων
- ◆ Παρατηρήστε ότι όσο αυξάνει το n , τόσο αυξάνει η αποδοτικότητα G_c
- ◆ **Παράδειγμα** : για $n=5$ και $P_B=0,01$ έχω $A=1,36$, δηλαδή $G_c = 0,272$ ενώ για $n=10$, $A=4,46$ και άρα $G_c = 0,446$
- ◆ Άρα συμφέρει η χρήση μιας ομάδας των 10 διαύλων, παρά δύο ομάδων των 5 διαύλων κάθε μία.
- ◆ Άρα και πάλι προτιμάται η χρήση μικρού αριθμού κυψελών στο cluster.

Erlang-B – Παραδείγματα

- ◆ *Θέλουμε το σύστημα μας να έχει $GoS = 0.5\%$.*
- ◆ *Πόσοι χρήστες μπορούν να εξυπηρετηθούν σε αυτό, εάν το σύστημα απορρίπτει τις μπλοκαρισμένες κλήσεις και έχει $C = 5$ κανάλια?*
- ◆ *Έστω ότι κάθε χρήστης παράγει κίνηση 0.1 Erlang.*

Από τον πίνακα, με $GoS=0.005$ και με 5 κανάλια προκύπτει ότι ο φόρτος (συνολική κίνηση που μπορεί να εξυπηρετηθεί) είναι:

$$A = 1,13 \text{ Erlang}$$

$$\text{Άρα: } N = A/A_u = 1.13/0.1 = 11.3$$

Απάντηση: 11 χρήστες

Erlang-B – Παραδείγματα

Μια αστική περιοχή έχει $N=2$ εκατομμύρια κάτοικους. Τρία ανταγωνιστικά συστήματα κυψελοειδούς τηλεφωνίας εξυπηρετούν την περιοχή:

- ♦ Το σύστημα A έχει 394 κυψέλες x 19 κανάλια. (7486 κανάλια)
- ♦ Το σύστημα B έχει 98 κυψέλες x 57 κανάλια. (5586 κανάλια)
- ♦ Το σύστημα C έχει 49 κυψέλες x 100 κανάλια. (4900 κανάλια)

Και τα τρία συστήματα έχουν $GoS = 2\%$

Θεωρήστε ότι για κάθε χρηστή $\lambda = 2$ κλήσεις/hr, $H = 3$ min

Να βρεθεί ο αριθμός των συνδρομητών που μπορεί να εξυπηρετήσει κάθε σύστημα.

Λύση:

Είναι: $A_u = \lambda H = 2 \times 3/60 = 0,1$ Erlang.

Σύστημα A:

Από τον πίνακα για $GoS = 0,02$ και $C = 19$ βρίσκουμε $A = 12,33$ Erlangs

Ανά κυψέλη $N = A/A_u = 12,33/0,1 = 123$ χρήστες

123 χρήστες/κυψέλη x 394 κυψέλες = **48.462** εξυπηρετούμενοι χρήστες.

Μέγιστη δυνατή εμπορική διείσδυση = 2,42%.

Erlang-B – Παραδείγματα

Σύστημα B:

Από τον πίνακα για $GoS = 0,02$ και $C = 57$ βρίσκουμε $A = 46,81$ Erlangs

Ανά κυψέλη $N = A/A_u = 46,81/0,1 = 468$ χρήστες

468 χρήστες/κυψέλη x 98 κυψέλες = **45.864** εξυπηρετούμενοι χρήστες.

Μέγιστη δυνατή εμπορική διείσδυση = 2.29%.

Σύστημα C:

Από τον πίνακα για $GoS = 0,02$ και $C = 100$ βρίσκουμε $A = 87,97$ Erlangs

Ανά κυψέλη $N = A/A_u = 87,97/0,1 = 879$ χρήστες

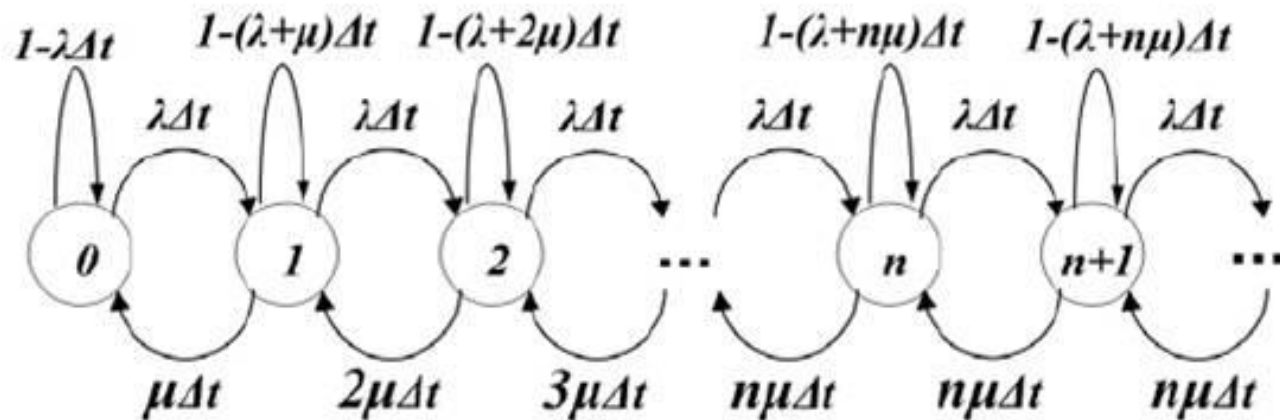
879 χρήστες/κυψέλη x 49 κυψέλες = **43.071** εξυπηρετούμενοι χρήστες.

Μέγιστη δυνατή εμπορική διείσδυση = 2.15%.

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση (Erlang C)

◆ Μοντέλο Erlang C

- Οι κλήσεις αφικνούνται και εξυπηρετούνται κατά Poisson, με μέσους ρυθμούς λ και μ αντίστοιχα.
- Όταν οι δίαυλοι είναι κατειλημμένοι οι νέες κλήσεις δεν απορρίπτονται αλλά παραμένουν σε ουρά αναμονής μέχρι να βρεθεί διαθέσιμος δίαυλος.



Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση (Erlang C)

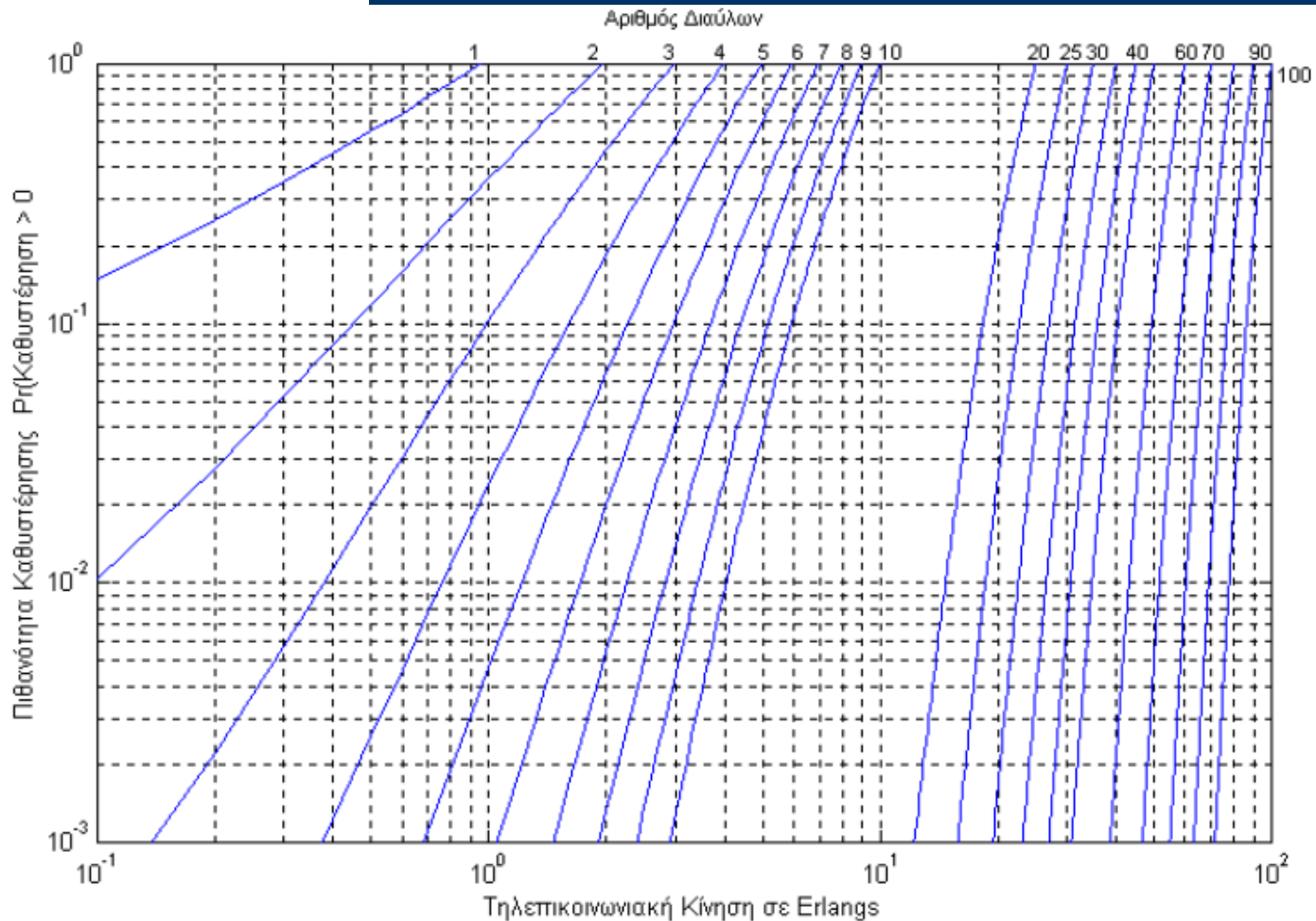
- ◆ Πιθανότητα μια κλήση να υποστεί καθυστέρηση

$$P_{(Delay>0)}(n, A) = \frac{A^n}{A^n + \left(1 - \frac{A}{n}\right) n! \sum_{i=0}^{n-1} \frac{A^i}{i!}}$$

- ◆ Σχετίζεται με την πιθανότητα απόρριψης του Erlang B, μέσω της οποίας υπολογίζεται εύκολα

$$P_{(Delay>0)}(n, A) = \frac{nP_B(n, A)}{n - A(1 - P_B(n, A))}$$

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση (Erlang C)



Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση (Erlang C)

n	$P_{Delay>0}=0,01$	$P_{Delay>0}=0,02$	$P_{Delay>0}=0,03$
1	0,009995	0,020000	0,030006
2	0,146507	0,210252	0,260414
3	0,429090	0,554519	0,646420
4	0,810003	0,993947	1,124187
5	1,259072	1,497356	1,662667
6	1,758362	2,047179	2,244877
7	2,296455	2,632598	2,860450
8	2,865639	3,246362	3,502545
9	3,460442	3,883410	4,166337
10	4,076804	4,539986	4,848352

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση (Erlang C)

- ◆ Το GoS για συστήματα με ουρά αναμονής είναι η πιθανότητα μια κλήση να βρίσκεται στην ουρά για περισσότερο από ένα χρονικό διάστημα t .

$$\Pr(Delay > t) = \Pr(Delay > 0) \Pr(Delay > t | Delay > 0)$$

$$\Pr(Delay > t | Delay > 0) = e^{-\frac{(n-A)t}{H}}$$

Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση

- ◆ Ο αριθμός των πηγών στα δύο μοντέλα είναι άπειρος. Αν τον περιορίσουμε, προκύπτει ο τύπος του Engset.
- ◆ Το Erlang B δίνει πιο απαισιόδοξα αποτελέσματα.
- ◆ Τυπικά, τα μοντέλα Erlang B και C δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα κυψελωτά
 - Δεν λαμβάνουν υπόψη την κίνηση λόγω μεταπομπών
 - Η συνολική κίνηση ανά κυψέλη είναι χρονικά μεταβαλλόμενη λόγω χωρικής μετατόπισης των χρηστών
 - Στο Erlang B υποθέσαμε ότι οι χρήστες δεν προσπαθούν ξανά
- ◆ Είναι όμως πολύτιμα εργαλεία για τη σχεδίαση συστημάτων.

Φασματική Απόδοση Κυψελωτών

- ◆ Συνήθης Μονάδα : $Erlang/m^2/Hz$, ή $Erlang/Km^2/MHz$
- ◆ Θεωρούμε κυψελωτό σύστημα με ομοιόμορφη ανάπτυξη κυψελών
 - G_c : η προσφερόμενη κίνηση ανά δίαυλο ($Erlang/Channel$)
 - N_u : ο αριθμός διαύλων ανά κυψέλη
 - W_{sys} : το συνολικό εύρος ζώνης (Hz ή MHz)
 - A : το εμβαδόν ανά κυψέλη (m^2 ή Km^2)
- ◆ Άρα :

$$n_s = \frac{N_u G_c}{W_{sys} A} \quad (\text{Erlangs}/m^2/Hz)$$

Φασματική Απόδοση Κυψελωτών

- ◆ Υποθέτουμε clusters των K κυψελών
- ◆ Υποθέτουμε FDMA σύστημα, και άρα ο αριθμός των διαύλων είναι ίσος με τον αριθμό των φερόντων και

$$N_u = N_c = \frac{(W_{sys} - W_G)}{W_c K}$$

- ◆ W_C : το εύρος του διαύλου
- ◆ W_G : το συχνοτικό διάστημα φύλαξης
- ◆ Αντικαθιστούμε στον τύπο της φασματικής απόδοσης

Φασματική Απόδοση Κυψελωτών

$$n_s = \frac{(W_{sys} - W_G) G_c}{W_{sys} \cdot W_c \cdot N \cdot A} = G_c \frac{(W_{sys} - W_G)}{W_{sys} \cdot W_c} \frac{1}{K \cdot A}$$
$$= n_T \cdot n_B \cdot n_C$$

- ◆ n_T η απόδοση διαύλου
- ◆ n_B η απόδοση εύρους ζώνης
- ◆ n_C η χωρική απόδοση
- ◆ Απαιτείται μεγιστοποίηση όλων των όρων

Φασματική Απόδοση Κυψελωτών

- ◆ Μεγάλη απόδοση στο εύρος ζώνης σημαίνει
 - Χρήση τεχνικών διαμόρφωσης αποδοτικών ως προς το φάσμα
 - Κωδικοποίηση φωνής χαμηλού ρυθμού μετάδοσης
- ◆ Μεγάλη απόδοση διαύλου προκύπτει όταν:
 - μειωθεί ο αριθμός των κυψελών στο cluster, ώστε να έχω το μικρότερο δυνατό κατακερματισμό των διαύλων σε ομάδες.

Φασματική Απόδοση Κυψελωτών

- ◆ Μεγάλη χωρική απόδοση σημαίνει:
 - Μικρό εμβαδόν ανά κυψέλη (μικρή ακτίνα και ισχύ)
 - Μικρό αριθμό κυψελών (K) στο cluster.
- ◆ Όσο μειώνεται το K , τόσο μειώνεται η απόσταση επαναχρησιμοποίησης (D/R) για σταθερό R , μέχρι να ικανοποιηθεί ο λόγος C/I .
- ◆ Δηλαδή πρέπει να ελαχιστοποιηθεί κατά το δυνατόν ο απαιτούμενος λόγος C/I .
- ◆ Αυτό επιτυγχάνεται με τεχνικές κωδικοποίησης ελέγχου σφαλμάτων, με διαφορισιμότητα (**diversity**), με προσαρμοστική εξισορρόπηση (**adaptive equalization**), με τομεοποίηση κυψελών (**cell sectoring**), ή με έλεγχο ισχύος, ή με αποδοτικούς αλγορίθμους μεταπομπής, κλπ.

Φασματική Απόδοση Κυψελωτών

- ♦ Αν το σύστημα συνδυάζει και TDMA, όπως στο GSM

$$N_u = \frac{1}{n} \cdot N_c \cdot (N_{ts} - N_{con})$$

- ♦ n : ο απαιτούμενος αριθμός χρονοσχισμών ανά πλαίσιο για δεδομένη υπηρεσία π.χ. $n=1$ για full rate 13Kbps και $n=0.5$ για half rate κωδικοποίηση
- ♦ N_c όπως πριν
- ♦ N_{ts} : ο αριθμός των χρονοσχισμών στο πλαίσιο (δίαυλοι ανά φέρον)
- ♦ N_{con} : ο αριθμός χρονοσχισμών για σηματοδοσία ελέγχου.

Φασματική Απόδοση Κυψελωτών

- ◆ Ένα άλλο χρησιμοποιούμενο μέγεθος είναι και η χωρητικότητα πληροφορίας (**information capacity**) σε *kbps/cell/MHz*

$$IC = \frac{N_u R_b}{W_{sys}} \quad (\text{kbps} / \text{cell} / \text{MHz})$$

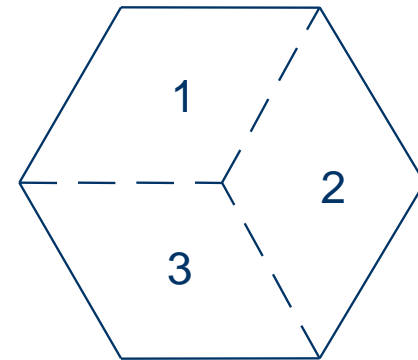
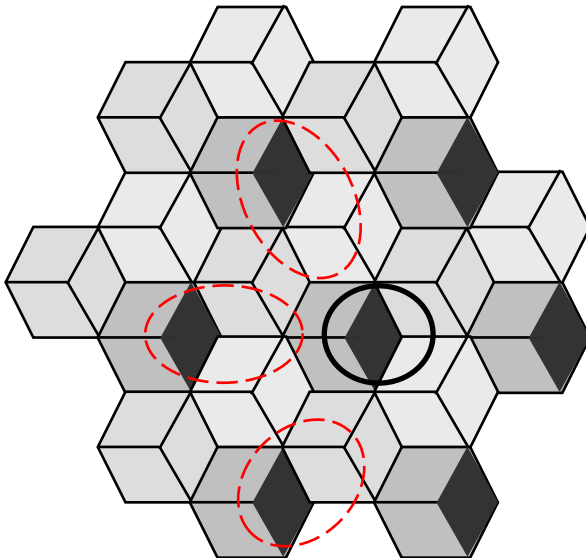
- ◆ όπου N_u ο αριθμός των διαύλων για χρήση ανά κυψέλη και
- ◆ R_b ο ρυθμός μετάδοσης ανά δίαυλο

Βελτίωση της Χωρητικότητας

- ◆ Χωρισμός των κυψελών σε τομείς (cell sectoring)
- ◆ Χρησιμοποίηση περιοχών κάλυψης (coverage zones)-Μικροκυψέλες
- ◆ Διάσπαση των κυψελών (cell splitting)

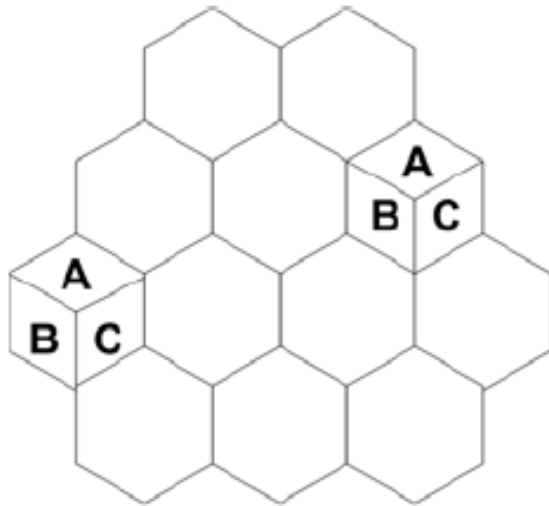
Τομεοποίηση Κυψελών (*Cell Sectoring*)

- ◆ Είναι ένας τρόπος μείωσης της παρεμβολής από ομοιοκαναλικές κυψέλες. Η τομεοποίηση αναφέρεται στην χρήση κατευθυντικών κεραιών αντί ισοτροπικών.
- ◆ Τρεις (3) τομείς των 120° φαίνονται στο παράδειγμα:

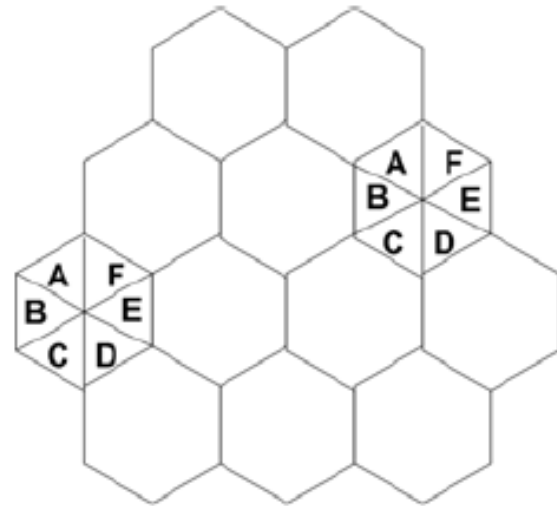


Τομεοποίηση Κυψελών (*Cell Sectoring*)

- ◆ Η τομεοποίηση είναι η πλέον κοινή τεχνική για την μείωση των ομοδιαυλικών παρεμβολών.
- ◆ Κάθε κυψέλη χωρίζεται σε τομείς με τη χρήση κατευθυντικών κεραιών (60° ή 120°).

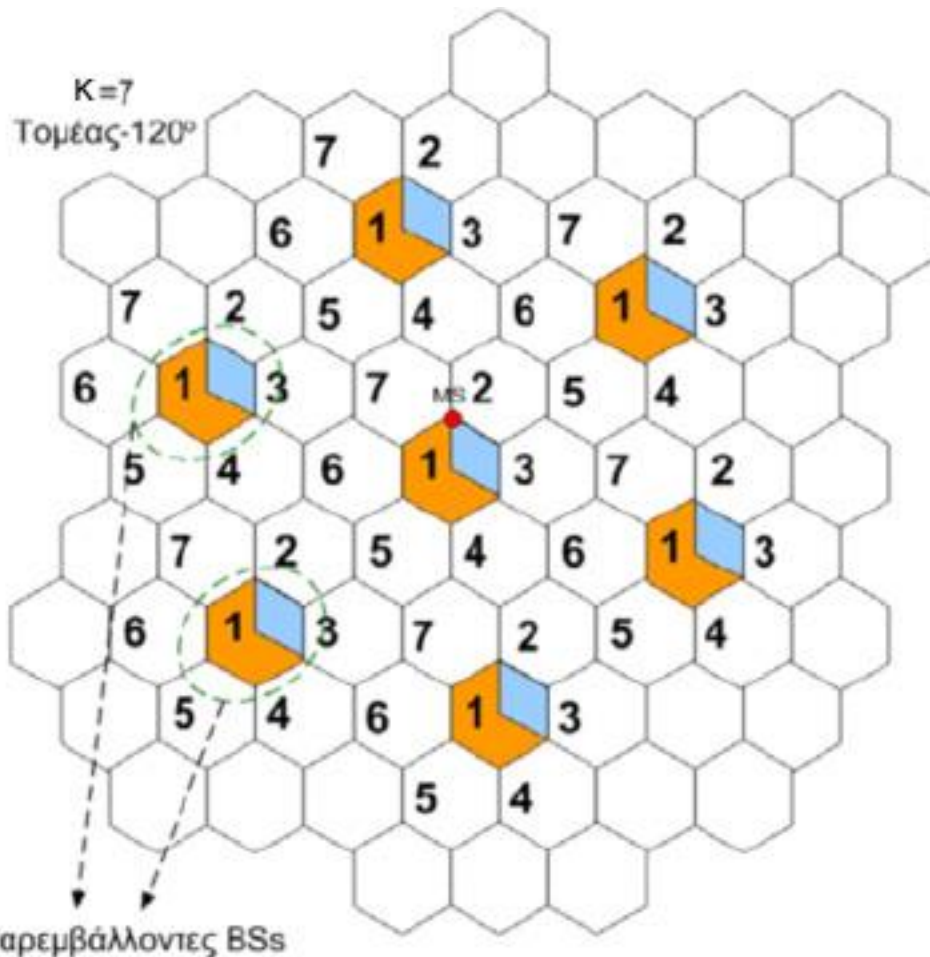


Τομεοποίηση 120°



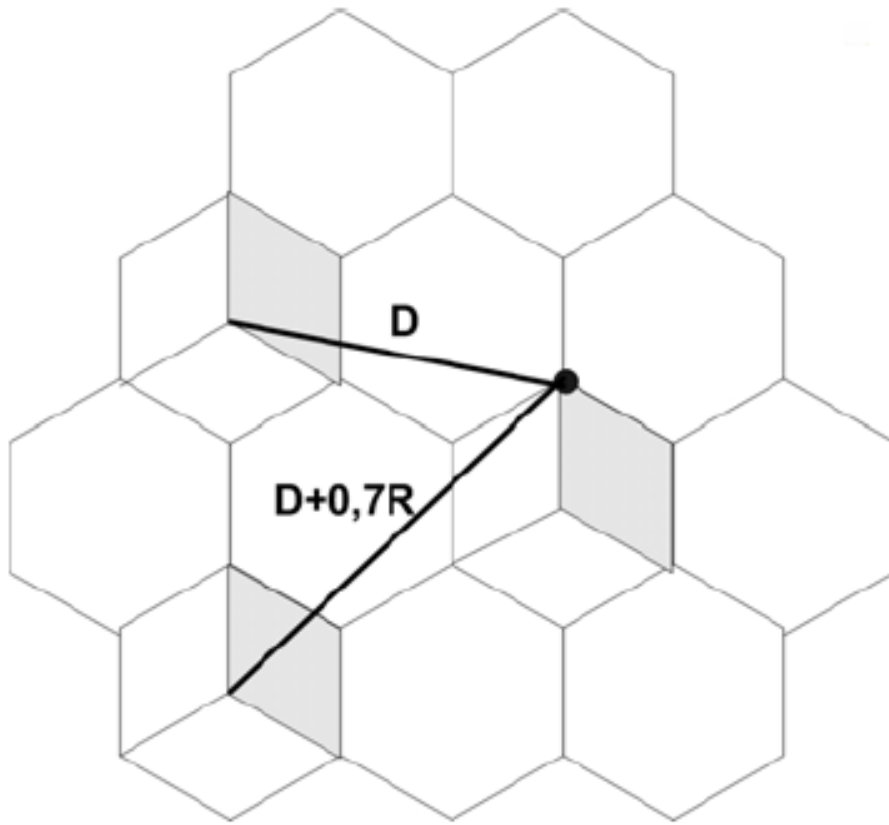
Τομεοποίηση 60°

Τομεοποίηση Κυψελών (*Cell Sectoring*)



- ◆ Οι συχνότητες χωρίζονται σε ομάδες ανά τομέα.
- ◆ Στην περίπτωση $K=7$ και τομείς 120° οι παρεμβάλλοντες ΣΒ είναι 2.

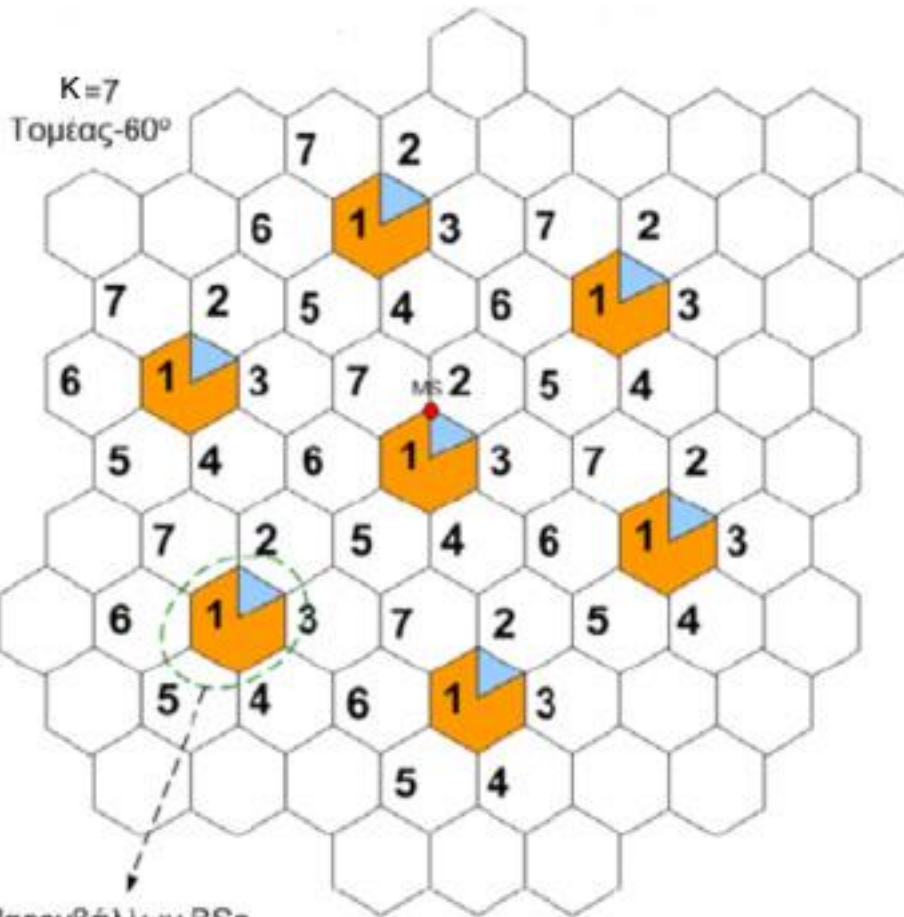
Τομεοποίηση Κυψελών (*Cell Sectoring*)



- ♦ Για $K=7$ και 120° τομείς, ο λόγος C/I γράφεται

$$\begin{aligned}\frac{C}{I} &= \frac{R^{-n}}{D^{-n} + (D + 0.7R)^{-n}} \\ &= \frac{1}{\left(\frac{D}{R}\right)^{-n} + \left(\frac{D}{R} + 0.7\right)^{-n}}\end{aligned}$$

Τομεοποίηση Κυψελών (Cell Sectoring)



- Για $K=7$ και 60° τομείς, ο λόγος C/I γράφεται

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-n}}{(D + 0.7R)^{-n}}$$

$$= \frac{1}{\left(\frac{D}{R} + 0.7\right)^{-n}}$$

Τομεοποίηση Κυψελών (*Cell Sectoring*)

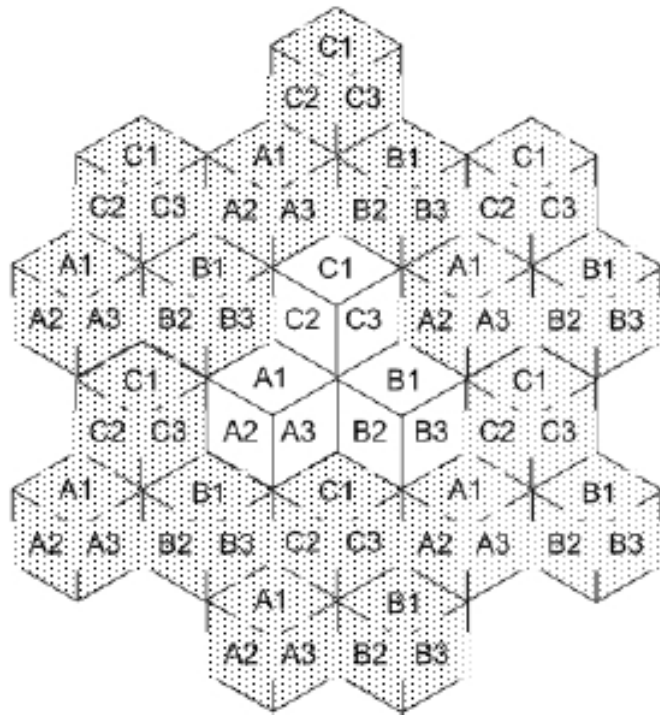
- ◆ Αν συγκρίνουμε τις δύο περιπτώσεις (120° και 60°) με την ομοιοκατευθυντική κεραία, ως προς τον επιτυγχανόμενο C/I , προκύπτει ότι
 - Για $n=4$, χωρίς τομείς και $K=7$, δηλ. $D/R=4.58$, $C/I=53.23$ ή $17.3dB$.
 - Για $n=4$, τομείς 120° και $K=7$, δηλ. $D/R=4.58$, $C/I=280.95$ ή $24.5dB$. Άρα κέρδος $7.2dB$.
 - Για $n=4$, τομείς 60° και $K=7$, δηλ. $D/R=4.58$, $C/I=777.20$ ή $28.9dB$. Άρα κέρδος $11.6dB$.

Τομεοποίηση Κυψελών (*Cell Sectoring*)

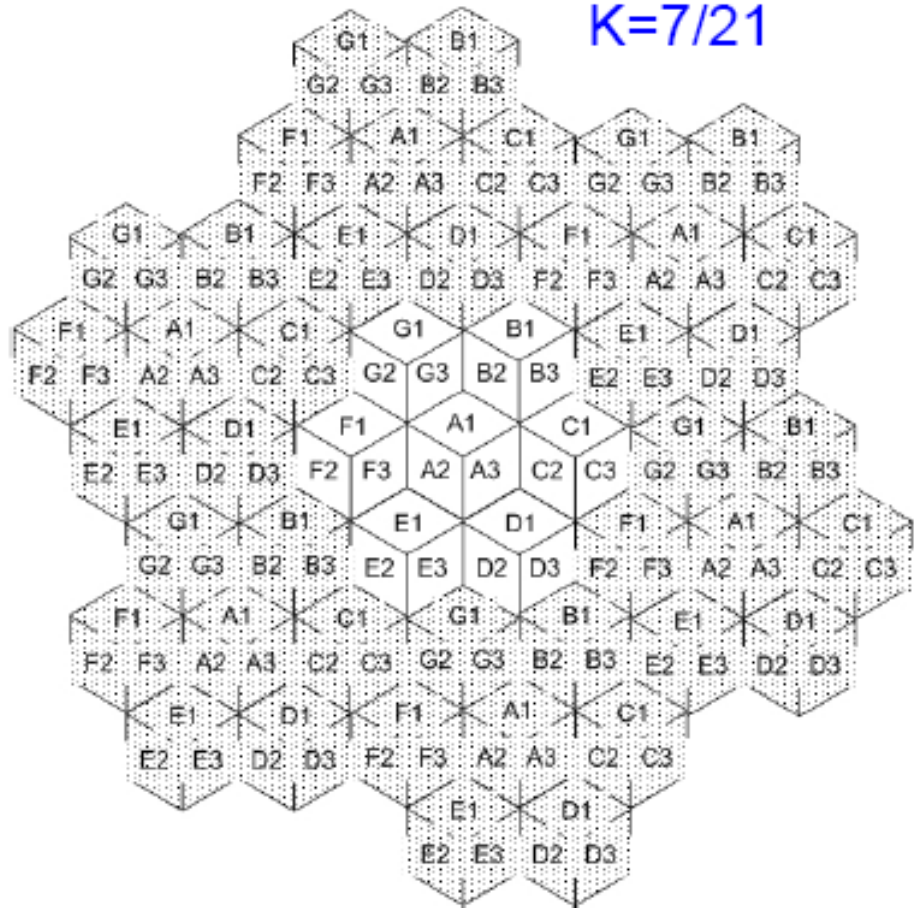
- ◆ Μειονεκτήματα τομεοποίησης
 - Αυξανόμενος αριθμός κεραιών στο ΣΒ
 - Αυξανόμενος αριθμός μεταπομπών
 - Μειωμένος βαθμός χρησιμοποίησης των διαύλων (αποδοτικότητα διαύλων σε Erlangs/channel)
- ◆ Συνήθως συμβολίζουμε τα συστήματα ως εξής : $K=A/B$, όπου K ο παράγοντας επαναχρησιμοποίησης, A ο αριθμός των ΣΒ στο cluster και B ο αριθμός των ομάδων συχνοτήτων στο cluster.
- ◆ Βέβαια (B/A) είναι ο αριθμός των κυψελών στο ΣΒ (ή τομείς, sectors).
- ◆ Άρα μπορεί να έχουμε συστήματα $K=3/3, 3/9, 3/18, 4/12, 7/7, 7/21$, κλπ.

Τομεοποίηση Κυψελών (*Cell Sectoring*)

$K=3/9$



$K=7/21$



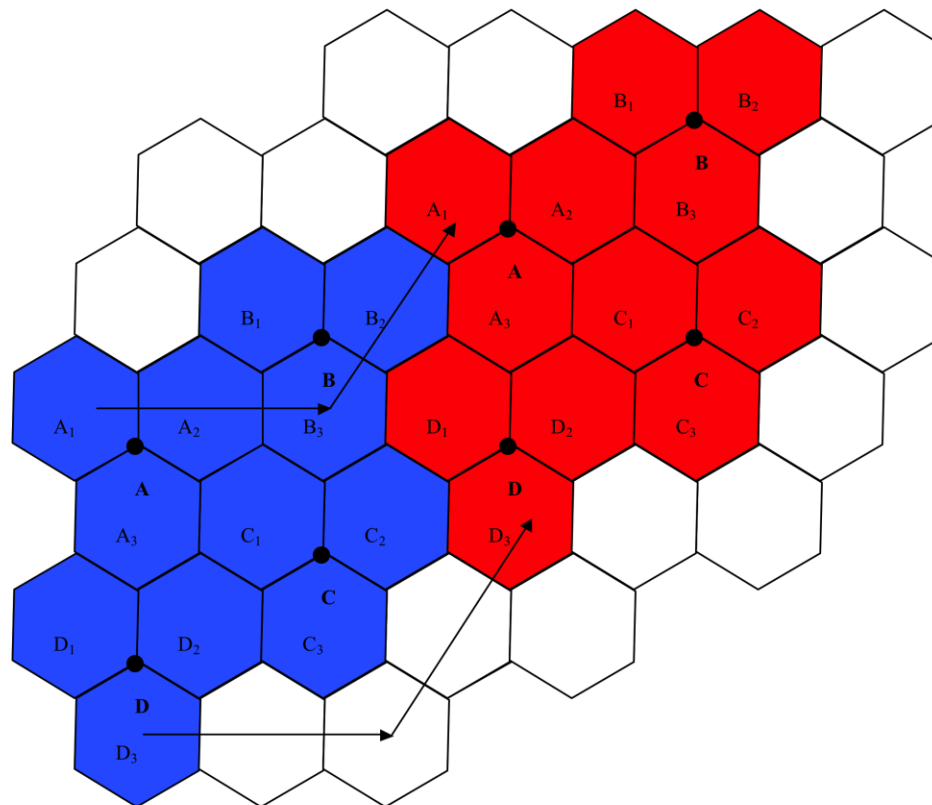
Απόδοση καναλιών στο cluster

- ◆ Δε χρησιμοποιώ διπλανά ή ίδια κανάλια σε διπλανές κυψέλες.
- ◆ Παράδειγμα: Σε σύστημα GSM 4/12 (δηλ. 4 BS και 12 κυψέλες στο cluster) υπολογίστε τα κανάλια στο cluster (cell pattern) για 36 κανάλια.

#Ομάδας	A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2	A3	B3	C3	D3
Συχνότητες	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Κανάλια	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	Cell-1 Sect- 1	Cell-1 Sect- 2	Cell-1 Sect- 3	Cell-1 Sect- 4	Cell-2 Sect- 1	Cell-2 Sect- 2	Cell-2 Sect- 3	Cell-2 Sect- 4	Cell-3 Sect- 1	Cell-3 Sect- 2	Cell-3 Sect- 3	Cell-3 Sect- 4

Επιλογή καναλιών στο cluster

- ♦ Για $K=12$ ισχύει $i=2, j=2$. ($K = i^2 + ij + j^2$)



Μικροζώνες

- ◆ Με την τομεοποίηση, κάθε τομέας είναι απλά μία νέα κυψέλη. Χρειάζεται μεταπομπή μεταξύ τομέων.
- ◆ Οι κατευθυντικές κεραίες των BS τοποθετούνται συνήθως στις παρυφές των κυψελών.
- ◆ Και οι τρεις κεραίες των τομέων λαμβάνουν τα σήματα που εκπέμπει ένα κινητό.
- ◆ Ο BS χρησιμοποιεί την κεραία με την καλύτερη λήψη για να εκπέμπει το σήμα.
- ◆ Η χρήση κατευθυντικών κεραιών για την εκπομπή μειώνει την παρεμβολή στις άλλες κυψέλες.

Παράδειγμα

$H = 2 \text{ min}$, $GoS = 1\%$, $K = 7$, $C = 395$ κανάλια/ομάδα, $395/7 = 57$ κανάλια /κυψέλη.

Μπλοκάρισμα κλήσεων κατά το μοντέλο Erlang-B.

- ♦ Για ένα σύστημα χωρίς τομεοποίηση με $GoS = 0.01$ και 57 κανάλια
Από τον χάρτη Erlang-B, βγαίνει A περίπου 45 Erlangs
 $A = \lambda H$ ή $\lambda = A / H$
 $\lambda = 45 \text{ calls} / 2\text{min} = 45 \times 30 \text{ calls/hr} = 1350 \text{ calls/hr}$.
- ♦ Με τομεοποίηση ~ 1200 κανάλια/ομάδα, $57/3 = 19$ κανάλια ανά τομέα.
Από τον χάρτη Erlang-B με $GoS = 0.01$ και 19 κανάλια έχουμε
 A περίπου 11 Erlangs, και για τους 3 τομείς, 33 Erlangs ανά κυψέλη.
 $\lambda = 33 \text{ calls} / 2\text{min} = 33 \times 30 \text{ calls/hr} = 990 \text{ calls/hr}$.

Έτσι επιτυγχάνουμε βελτίωση του $SIR = C/I$ αλλά εις βάρος της απόδοσης της συγκανάλωσης (trunking).

Διάσπαση Κυψελών (*Cell Splitting*)

- ◆ Προκειμένου να αυξήσουμε τη χωρητικότητα ενός συστήματος προβαίνουμε στη διάσπαση των κυψελών.
- ◆ Χωρίζουμε την αρχική κυψέλη σε μικρότερες, εισάγοντας νέους ΣΒ σε προκαθορισμένες θέσεις της αρχικής κυψέλης.
- ◆ Η ισχύς των νέων κυψελών είναι περιορισμένη ώστε να προκύψουν μικρότερες σε ακτίνα κυψέλες και να αυξηθεί η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων.
- ◆ Με τη διάσπαση απαιτούνται και άλλα clusters για να καλύψουν την ίδια γεωγραφική περιοχή και άρα αυξάνεται ο διαθέσιμος αριθμός διαύλων.

Διάσπαση Κυψελών (*Cell Splitting*)

- ◆ Διαίρεση κυψελών (*cell splitting*) είναι η υποδιαίρεση της κυψέλης σε μικρότερα κυψέλες. Αυτό αυξάνει τον αριθμό των φορών που επαναχρησιμοποιούνται τα κανάλια. Για παράδειγμα, μείωση της ακτίνας στο $\frac{1}{2}$ αυξάνει τον αριθμό των κυψελών 4 φορές (υποδιαίρεση σε 4 κυψέλες).



Διάσπαση Κυψελών (*Cell Splitting*)

- ♦ Για να μην διαταραχθεί η ισορροπία του συστήματος και για να διατηρηθεί η τιμή του λόγου σήματος προς παρεμβολή C/I, πρέπει να ελαττωθεί η ισχύς εκπομπής.
- ♦ Ισχύς λήψεως [στο σύνορο της παλαιάς κυψέλης] $\sim P_{t1}R^{-n}$
- ♦ Ισχύς λήψεως [στο σύνορο της νέας κυψέλης] $\sim P_{t2}(R/2)^{-n}$
- ♦ Η ισχύς λήψεως πρέπει να είναι ίση για να έχουμε τις ίδιες επιδόσεις
 $P_{t2} = P_{t1}/2^n$

Π.χ. για $n=4$, $P_{t2} = P_{t1} / 16$.

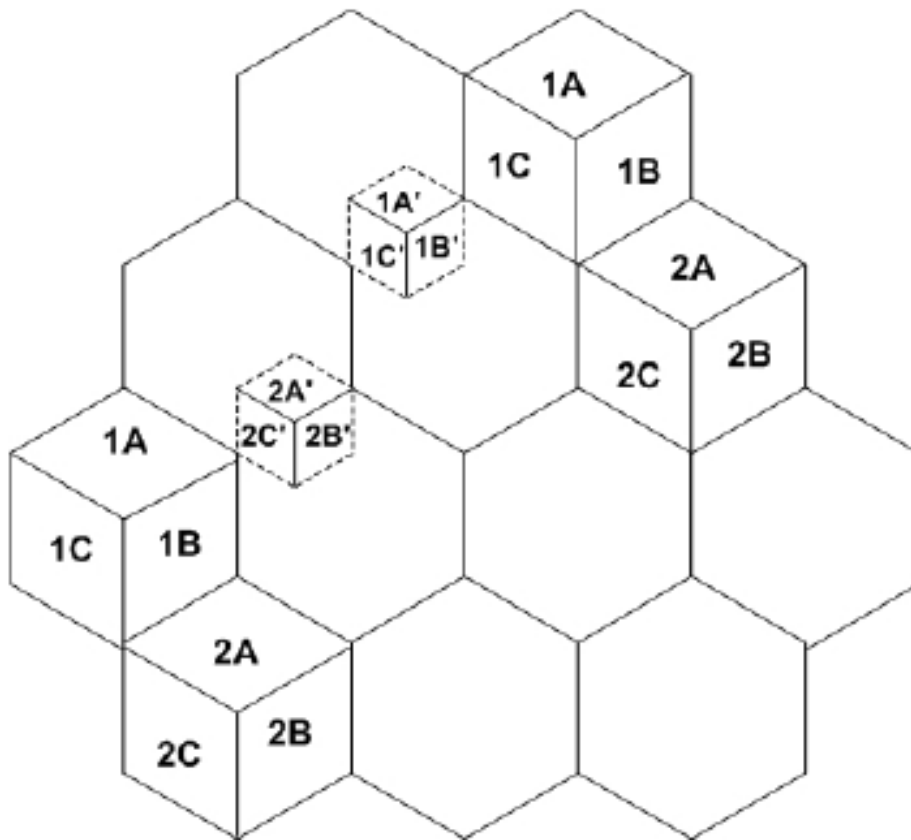
Διάσπαση Κυψελών (*Cell Splitting*)

- ♦ Η λαμβανόμενη ισχύς στα όρια της αρχικής κυψέλης είναι ανάλογη της εκπεμπόμενης ισχύος $\Omega(R_o) = AP_oR_o^{-n}$
- ♦ Ενώ στα όρια της νέας κυψέλης $\Omega(R_s) = AP_sR_s^{-n}$
- ♦ Αν π.χ. $n=3.5$ και θέλουμε $R_s=R_o/2$, τότε για να διατηρήσουμε τη λαμβανόμενη ισχύ σταθερή πρέπει να μειώσω την εκπεμπόμενη ισχύ κατά $10.5dB$

$$P_s = P_o \left(\frac{R_s}{R_o} \right)^n = \frac{P_o}{\sqrt{128}}$$

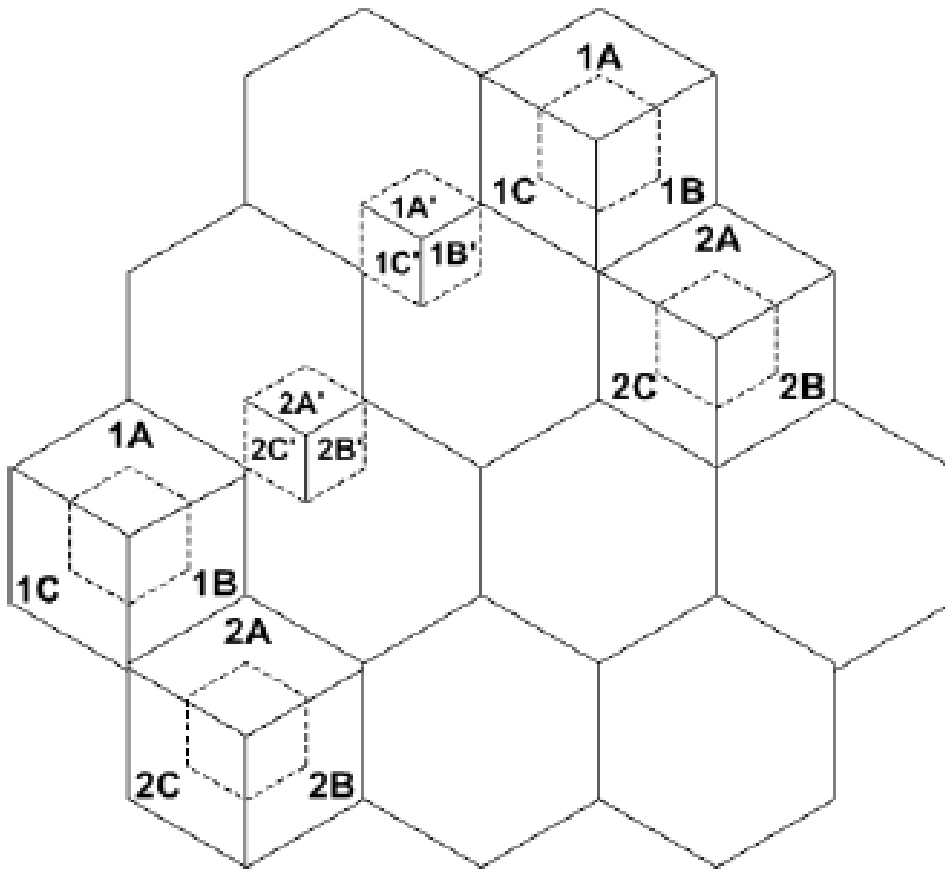
- ♦ Είναι προφανές ότι αν δεν διασπασθούν όλες οι κυψέλες υπάρχει πρόβλημα προσδιορισμού της ισχύος εκπομπής και της απόδοσης συχνοτήτων.

Διάσπαση Κυψελών (*Cell Splitting*)



- ◆ Η λύση στο πρόβλημα είναι η διαίρεση των συχνοτήτων σε δύο ομάδες. Μια αποδίδεται στις μικρές κυψέλες και μια στις μεγάλες (αρχικές). Μειώνεται βέβαια η αποδοτικότητα των διαύλων.

Διάσπαση Κυψελών (*Cell Splitting*)



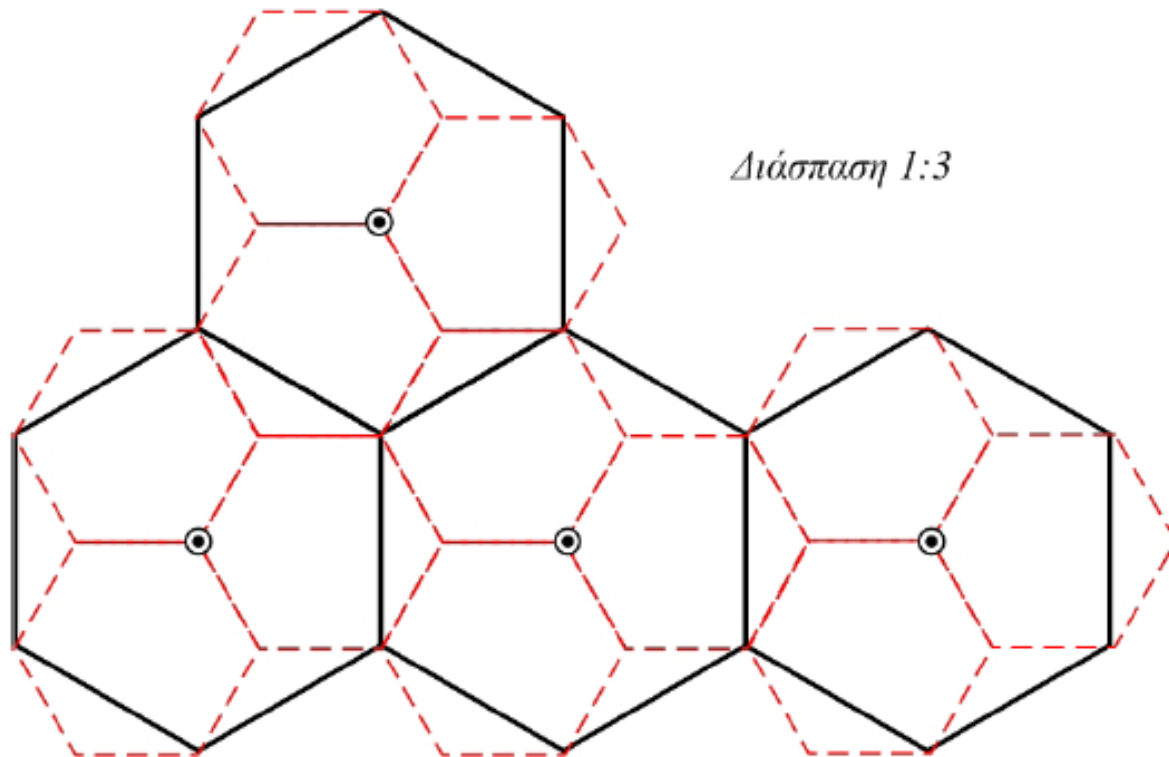
- ♦ Μια πιο αποδοτική λύση είναι η υπέρθεση νέων κυψελών πάνω στις αρχικές, οι οποίες εξυπηρετούνται από τους ίδιους ΣΒ. Οι διάυλοι πάλι διαιρούνται σε δύο ομάδες.

Διάσπαση Κυψελών (*Cell Splitting*)

- ◆ Στην πράξη ο σχεδιαστής επιθυμεί αρχικά να χρησιμοποιήσει μεγάλη ακτίνα κυψελών.
- ◆ Όταν παραστεί ανάγκη να αυξηθεί η χωρητικότητα, θα ακολουθεί συνήθως δύο στάδια
 - Πρώτα τομεοποίηση (διατήρηση ΣΒ και χρήση κατευθυντικών κεραιών για τροφοδοσία των κυψελών από τα άκρα)
 - Στη συνέχεια διάσπαση (1:3 ή 1:4) με εισαγωγή νέων ΣΒ και μείωση της ισχύος.
- ◆ **Προσοχή** : Στην τομεοποίηση αλλάζουμε το σχήμα επαναχρησιμοποίησης π.χ. από 3/3 σε 3/9, ενώ στη διάσπαση παραμένει το ίδιο μετά την τομεοποίηση.

Διάσπαση Κυψελών (*Cell Splitting*)

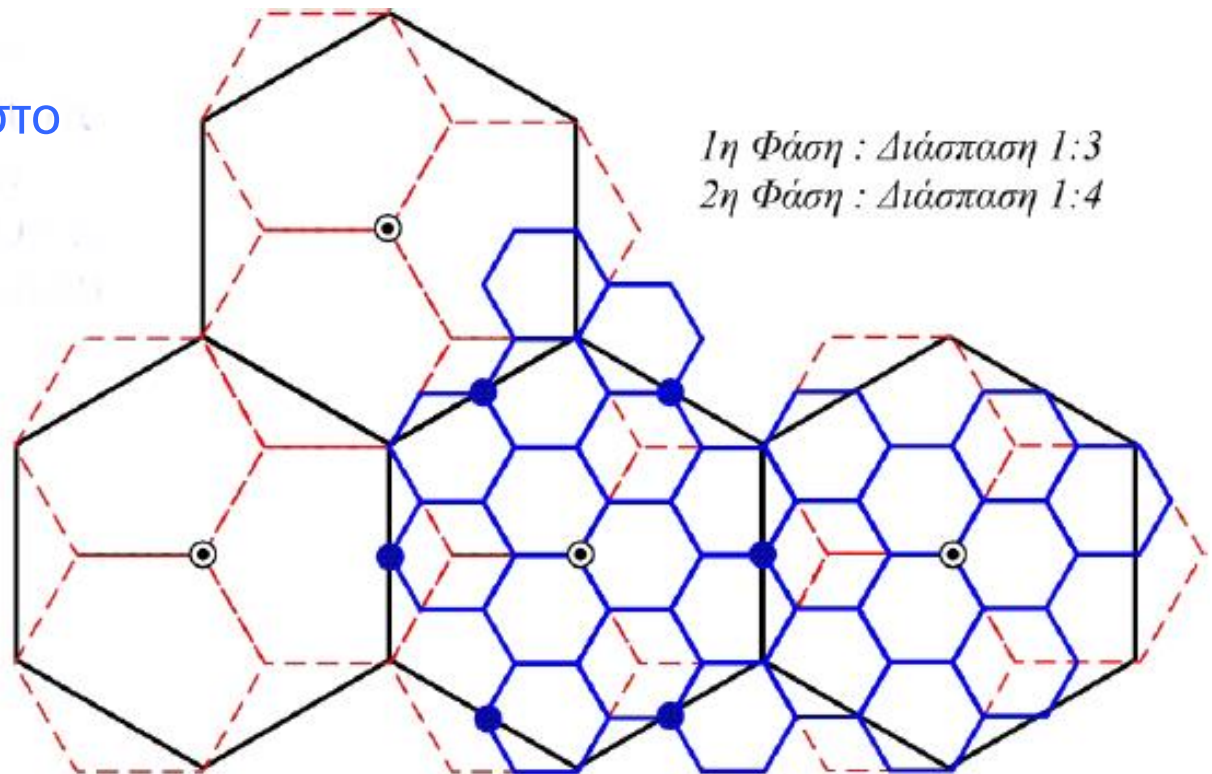
- ◆ Πρώτη Φάση : Τομεοποίηση (120°)



Διάσπαση Κυψελών (*Cell Splitting*)

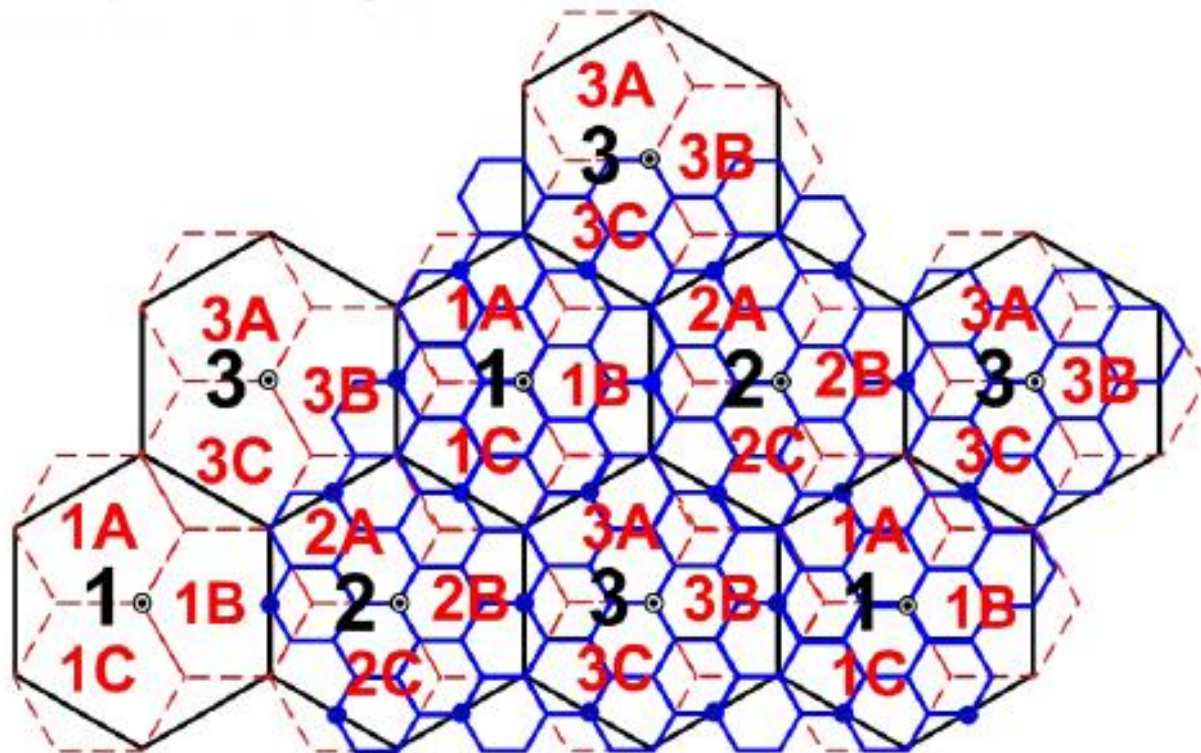
- ◆ Δεύτερη Φάση : Διάσπαση 1:4

Οι νέοι ΣΒ
τοποθετούνται στο
μέσον κάθε
πλευράς του
εξαγώνου



Διάσπαση Κυψελών (*Cell Splitting*)

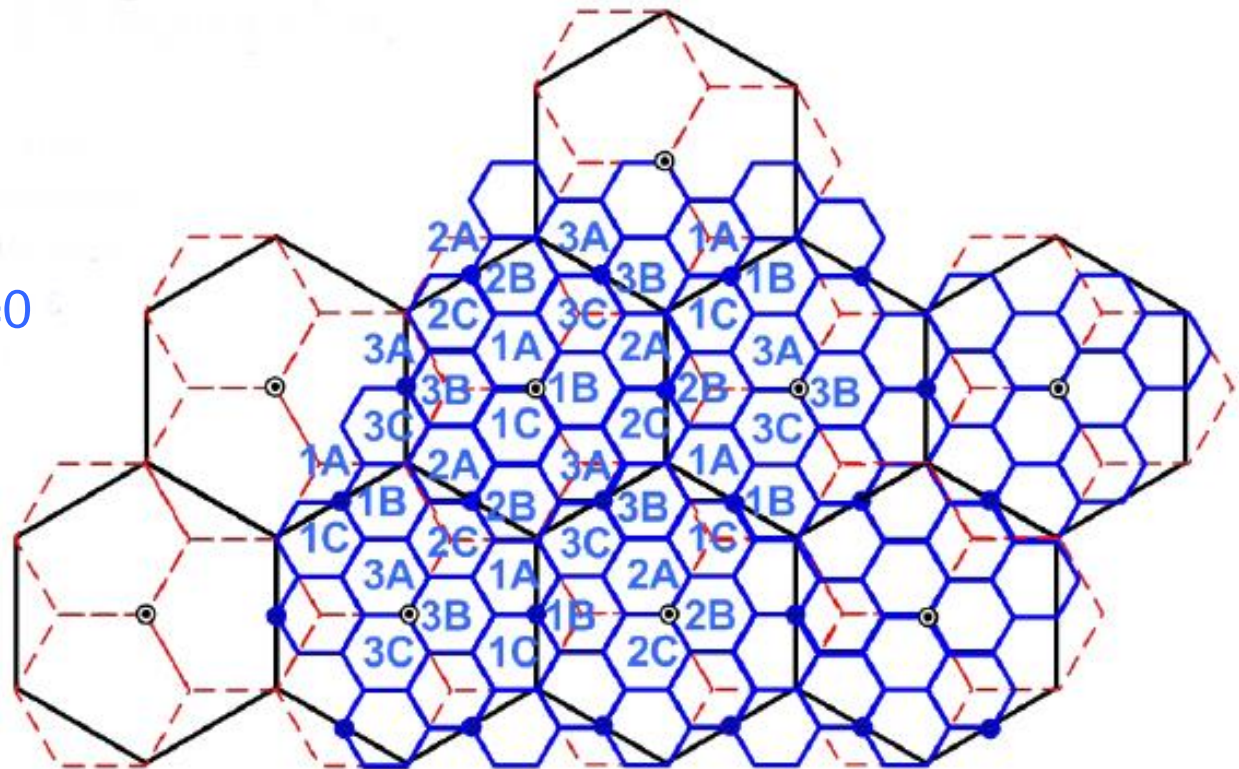
- ♦ Απόδοση διαύλων στην 1η Φάση : από $K=3$ περνάμε σε $K=3/9$



Διάσπαση Κυψελών (*Cell Splitting*)

- ♦ Απόδοση διαύλων στην 2η Φάση : το σχήμα $K=3/9$ διατηρείται

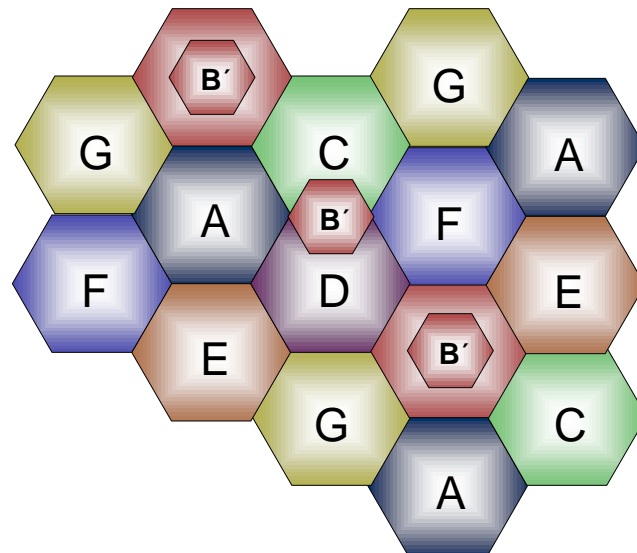
Η θέση των
ομοδιαυλικών
υπολογίζεται
εύκολα με $i=3, j=0$



Επικάλυψη κυψελών (*cell overlay*)

- ◆ Ξεχωρίζουμε από ένα σύνολο καναλιών, π.χ. το B ένα υποσύνολο το B' .

Τα κανάλια του B' τα διαθέτουμε σε μία κυψέλη B μονάχα σε απόσταση $R/2$ από το σταθμό βάσης.



Τεχνικές Κατανομής Καναλιών

- ◆ Για να είναι ευχαριστημένοι οι χρήστες, πρέπει να τους δίδεται ένα κανάλι μόλις το ζητήσουν.
- ◆ Μια αποδεκτή πιθανότητα μη αποδοχής κλήσης (call blocking, grade of service - GoS) είναι 2%.
- ◆ Η GoS μεταβάλλεται με τον χρόνο και την τοποθεσία.
- ◆ Ο στόχος είναι να διατηρηθεί ομοιόμορφη GoS σε όλο το σύστημα.
- ◆ Υπάρχουν τρεις τύποι αλγόριθμων για διάθεση καναλιών:
 - Στατική διάθεση καναλιών [*Fixed channel allocation –FCA*]
 - Δυναμική διάθεση καναλιών [*Dynamic channel allocation –DCA*]
 - Δανεισμός καναλιών [*Channel borrowing*]

Στατική κατανομή καναλιών

Το διαθέσιμο φάσμα έχει εύρος W Hz και κάθε κανάλι καταλαμβάνει εύρος B Hz. Ο συνολικός αριθμός των καναλιών είναι:

$$N_c = W/B$$

Για ομάδα μεγέθους K , ο αριθμός των καναλιών ανά κυψέλη είναι:

$$C_c = N_c/K$$

Για ελαχιστοποίηση της παρεμβολής ACI (*adjacent channel interference*), γειτονικά σε συχνότητα κανάλια διατίθενται σε διαφορετικές κυψέλες.

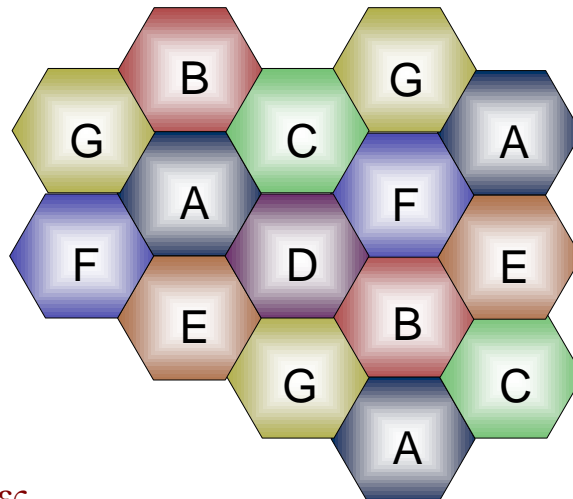
Η FCA είναι η βέλτιστη μέθοδος κατανομής καναλιών για ομοιόμορφη κίνηση σε όλες τις κυψέλες.

Μια μη ομοιόμορφη FCA στρατηγική, είναι ακόμα πιο αποτελεσματική αν είναι δυνατόν να διαπιστωθεί ο βαθμός εξυπηρέτησης (GoS) σε πραγματικό χρόνο και να ρυθμισθεί η διάθεση των καναλιών σύμφωνα μ' αυτόν.

Αυτό απαιτεί την χρησιμοποίηση πολύπλοκου αλγόριθμου κατανομής καναλιών.

Δανεισμός καναλιών

- ◆ Γίνεται προσωρινός δανεισμός συχνοτήτων από κυψέλες μικρής κυκλοφορίας σε κυψέλες με μεγάλη κυκλοφορία.
- ◆ *Προσωρινός δανεισμός* : Το κανάλι επιστρέφει μόλις περατωθεί η σχετική κλήση.
- ◆ Αν η κυψέλη D δανειστεί κανάλια από τη κυψέλη A, οι γειτονικές κυψέλες A δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτά τα κανάλια



Δυναμική κατανομή καναλιών

- ♦ Όλα τα κανάλια μπαίνουν σε μια κοινή δεξαμενή, και διατίθενται στις νέες κλήσεις σύμφωνα με ένα σχέδιο επαναχρησιμοποίησης. Το κανάλι επιστρέφει στην δεξαμενή μόλις περατωθεί η κλήση.