

•

•

Οι διαφάνειες στηρίζονται σε υλικό από διαλέξεις του κ. Ρούσκα (Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων Πανεπιστήμιο Πειραιώς) και τα κεφάλαια 2 και 3 του βιβλίου «Δίκτυα Κινητών & Προσωπικών Επικοινωνιών» του Καθηγητή ΕΜΠ κ. Θεολόγου

# Τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα κυψελωτά συστήματα

- Βασικός στόχος στη σχεδίαση των κυψελωτών συστημάτων είναι η δυνατότητα εξυπηρέτησης της τηλεπικοινωνιακής κίνησης
- Μετά τη διαστασιολόγηση του συστήματος, οι ραδιοδίαυλοι κατανέμονται στις κυψέλες λαμβάνοντας υπόψη:
  - την πυκνότητα των χρηστών σε κάθε κυψέλη,
  - την απόσταση επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων
  - το διαθέσιμο φάσμα.

# Τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα κυψελωτά συστήματα

- **Τηλεπικοινωνιακή κίνηση** ή απλά **κίνηση** στα κυψελωτά συστήματα, ορίζεται **το σύνολο**, όσο αφορά το πλήθος και τη διάρκεια, **των κλήσεων από και προς τα κινητά τερματικά**, οι οποίες πραγματοποιούνται μέσω ενός αριθμού διαύλων.
- Η θεωρία της τηλεπικοινωνιακής κίνησης είναι ένα θέμα που έχει μελετηθεί εκτενώς στα **τηλεφωνικά συστήματα**, όπου χρησιμοποιείται η **μεταγωγή κυκλώματος**.
- Ονομάζουμε **κίνηση** το σύνολο των τηλεφωνικών κλήσεων ή κλήσεων μετάδοσης δεδομένων με μεταγωγή κυκλώματος προς κάποιον σταθμό βάσης.

# Τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα κυψελωτά συστήματα

- Θεωρούμε έναν σταθμό βάσης που διαθέτει συγκεκριμένο αριθμό διαύλων για εξυπηρέτηση μεγάλου αριθμού χρηστών.
- Η φορά της πρόσβασης δεν επηρεάζει την ανάλυση της κίνησης με βάση τη θεωρία αναμονής.
- Η θεώρηση της κίνησης δεν εξαρτάται από τον τύπο της ασύρματης πρόσβασης ή τον τύπο της πολυπλεξίας που χρησιμοποιείται στον δίαυλο.

# Τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα κυψελωτά συστήματα

Οι σημαντικότεροι παράγοντες για την εξυπηρέτηση της κίνησης είναι:

- ο ρυθμός άφιξης κλήσεων
- οι διάρκειες κατάληψης των διαύλων για τις επιτυχείς κλήσεις
- ο συνολικός αριθμός των διαθέσιμων διαύλων
- η πιθανότητα αποκλεισμού
- ο τρόπος αντιμετώπισης των αποκλεισμένων κλήσεων

# Τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα κυψελωτά συστήματα

- Η θεωρία της τηλεπικοινωνιακής κίνησης ασχολείται με τα προβλήματα αναμονής ή/και απωλειών κλήσεων στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα.
- Η ανάλυση των προβλημάτων αυτών εξαρτάται τόσο από τις διαδικασίες εισόδου και εξόδου, όσο και από τη δομή του συστήματος.
- Οι απαντήσεις στα προβλήματα δεν μπορεί να είναι ακριβείς. Μπορεί να βρεθούν μόνο πιθανότητες ή μέσες τιμές για τα εξεταζόμενα μεγέθη.

# Ένταση της κίνησης

Υποθέτουμε ότι:

- Ο αριθμός των χρηστών είναι πολύ μεγάλος και ο ρυθμός κλήσεων από κάθε χρήστη είναι μικρός, οπότε οι αφίξεις κλήσεων μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι τυχαίες και ανεξάρτητες και μπορεί να περιγραφούν ως διαδικασίες Poisson.
- Οι διάρκειες κατάληψης των διαύλων είναι τυχαίες και ανεξάρτητες.
- Μελετούμε το σύστημα στη στάσιμη κατάσταση

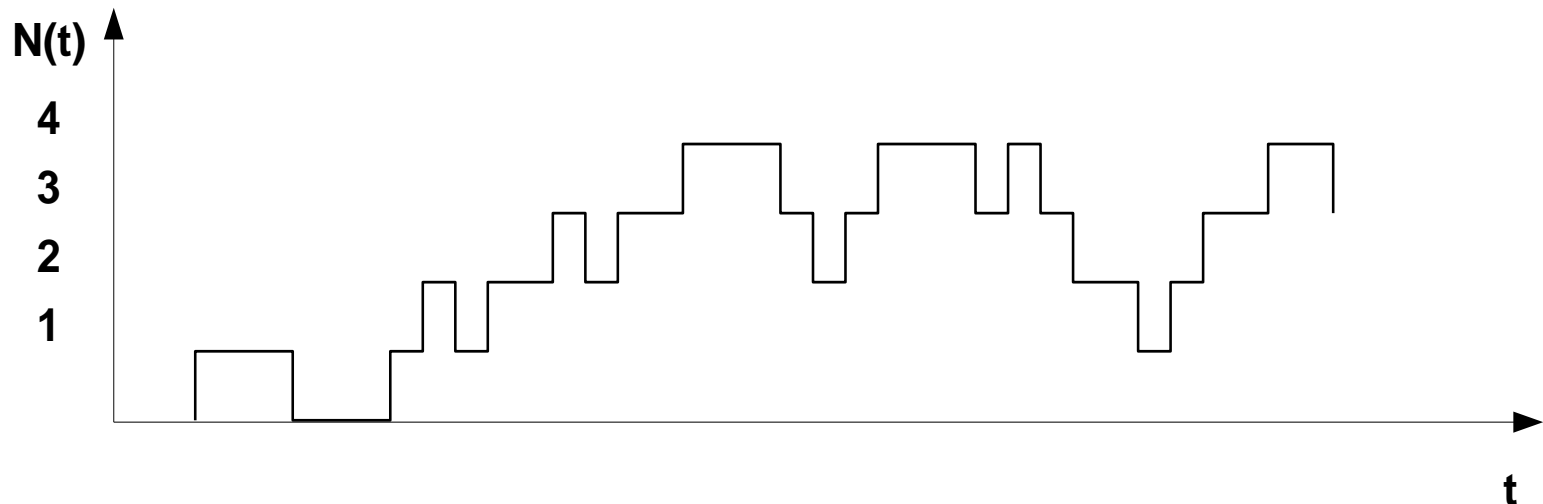
# Συγκέντρωση/Ομαδοποίηση Πόρων

- Τα συστήματα απευθύνονται σε μεγάλο πλήθος χρηστών
- Η συγκέντρωση (trunking) ή αλλιώς ομαδοποίηση των διαθέσιμων καναλιών εκμεταλλεύεται τη στατιστική συμπεριφορά των χρηστών και έτσι επιτρέπει την απο κοινού εξυπηρέτηση μεγάλου αριθμού χρηστών με σχετικά μικρό αριθμό διαύλων
- Μοντέλο λειτουργίας:
  - Αίτηση χρήστη για απόκτηση ραδιοδιάυλου (αναλογικά ) ή χρονοθυρίδας (ψηφιακά)
  - Δέσμευση ραδιοδιαύλου/χρονοθυρίδας από ένα κοινό σύνολο διαθέσιμων ραδιοδιαύλων και εκχώρησή του στον χρήστη
  - Κλήση
  - Αποδέσμευση και επιστροφή ραδιοδιάυλου/χρονοθυρίδας στο σύνολο των διαθέσιμων διαύλων μετά το πέρας της κλήσης



# Συγκέντρωση/Ομαδοποίηση Πόρων

- Εκμετάλλευση της στοχαστικής συμπεριφοράς των χρηστών έτσι ώστε με σταθερό και σχετικά μικρό πλήθος πόρων να εξυπηρετούνται όλοι οι χρήστες μιας κυψέλης
- Όμοια με σταθερή τηλεφωνία – σταθερά τηλεφωνικά κυκλώματα
- Άφιξη νέας κλήσης όταν όλες οι σχισμές είναι πλήρεις (κατειλημμένες) προκαλεί **blocking** (σε κάποια συστήματα υπάρχει ουρά αναμονής κλήσης)



# Ορισμοί Erlang

- Ορισμός ERLANG (1 πόρος)

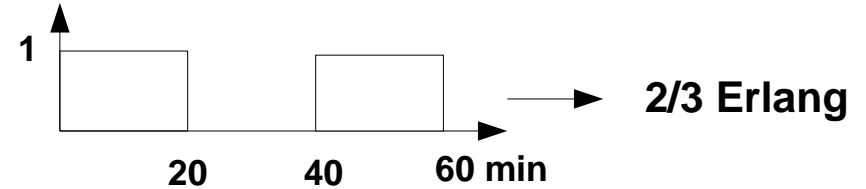
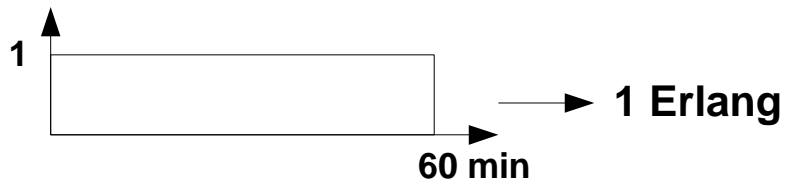
- Ένα *erlang* αντιπροσωπεύει την κίνηση που μεταφέρεται ή εξυπηρετείται από ένα τηλεπικοινωνιακό πόρο (κανάλι / ραδιοδίαυλο / χρονοθυρίδα) που είναι συνεχώς πλήρως κατειλημμένος σε κάποιο χρονικό διάστημα
- Παράδειγμα
  - 1 Erlang = 1 ώρα κλήσης ανά μια ώρα ή 1 λεπτό κλήσης ανά ένα λεπτό
  - Ένα κανάλι που είναι κατειλημμένο 30 λεπτά στη διάρκεια μιας ώρας μεταφέρει κίνηση 0,5 Erlang

- Ισοδύναμος ορισμός ERLANG (πλήθος πόρων)

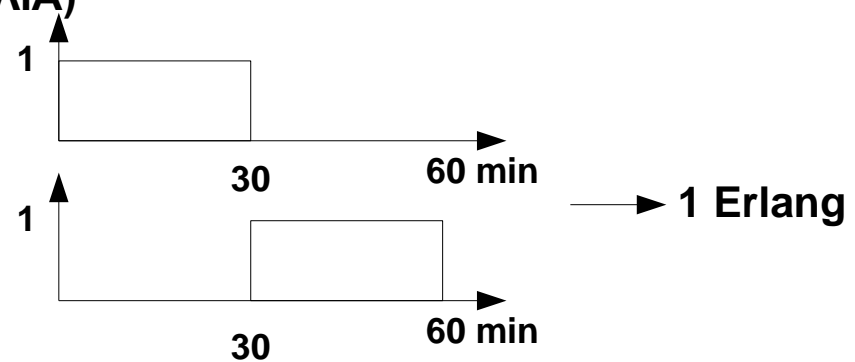
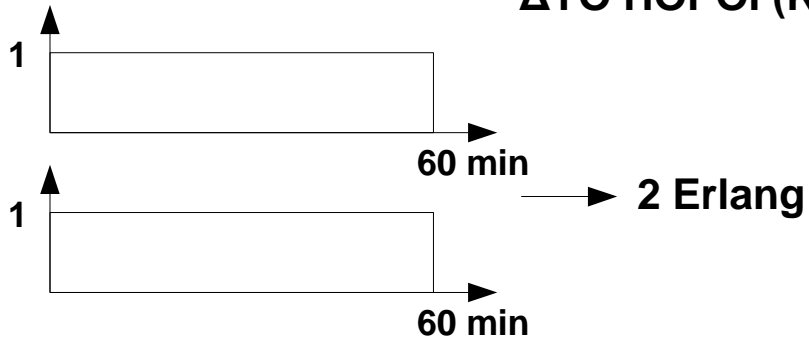
- Κίνηση (σε Erlangs) είναι το μέσο πλήθος κατειλημμένων καναλιών στη διάρκεια χρόνου  $T$  όπου συνήθως  $T$  (χρονικό διάστημα μετρήσεων) = 1 ώρα

# Παραδείγματα

## ΕΝΑΣ ΠΟΡΟΣ (ΚΑΝΑΛΙ)



## ΔΥΟ ΠΟΡΟΙ (ΚΑΝΑΛΙΑ)



# Ορισμοί Erlang (πλήθος πόρων)

- C είναι ο συνολικός αριθμός των διαύλων και  $t_n$  το συνολικό άθροισμα των χρονικών διαστημάτων όπου ο n-οστός δίαυλος είναι κατειλημμένος κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου T (προφανώς ισχύει  $t_n \leq T$ )
- Ο όγκος κίνησης είναι το άθροισμα όλων των χρόνων κατάληψης για την θεωρούμενη χρονική περίοδο T και ισούται με: 
$$\sum_{n=0}^C n \cdot t_n$$
- Η μεταφερόμενη κίνηση ορίζεται ως το πηλίκο του όγκου κίνησης προς τη χρονική περίοδο κατά την οποία μετρείται ο όγκος κίνησης

$$\text{Μεταφερόμενη κίνηση} = \frac{1}{T} \sum_{n=0}^C n \cdot t_n = \sum_{n=0}^C n \cdot \left( \frac{t_n}{T} \right)$$

- Η μεταφερόμενη κίνηση αντιπροσωπεύει ουσιαστικά το μέσο αριθμό των ταυτόχρονων καταλήψεων διαύλων κατά τη διάρκεια μιας καθορισμένης χρονικής περιόδου T (συνήθως T = 1ώρα) και εκφράζεται σε Erlangs

# Ορισμοί (συνέχεια)

- Οι υπολογισμοί που γίνονται στη θεωρία τηλεπικοινωνιακής κίνησης βασίζονται στη γνώση της προσφερόμενης κίνησης
- Η *προσφερόμενη κίνηση* δημιουργείται από τις κλήσεις που φθάνουν στο σύστημα, άσχετα από τη μετέπειτα τύχη τους και ορίζεται ως ο μέσος αριθμός αφίξεων στο σύστημα κατά τη διάρκεια του μέσου χρόνου κατάληψης (εκφράζεται σε Erlang)
- Αν  $\lambda$  είναι ο ρυθμός άφιξης κλήσεων και  $H$  η μέση διάρκεια κλήσεων, τότε:

$$\text{προσφερόμενη κίνηση} = \lambda H$$

- Η διαφορά μεταξύ προσφερόμενης και μεταφερόμενης κίνησης ονομάζεται αποκλειόμενη κίνηση και εξαρτάται από το βαθμό εξυπηρέτησης

# Ορισμοί (συνέχεια)

- Συμφόρηση (congestion  $C$ )  $P_c$  : το ποσοστό του χρόνου στο οποίο κανένα κανάλι δεν είναι ελεύθερο (όλα τα κανάλια είναι κατειλημμένα)
- Πιθανότητα απώλειας κλήσης (Blocking)  $P_b$  : Είναι η πιθανότητα μια εισερχόμενη κλήση να βρει όλα τα κανάλια κατειλημμένα
- Στην πράξη ισχύει  $P_b < P_c$  , καθώς για να υπάρξει blocking πρέπει να έχουμε συμφόρηση και άφιξη κλήσης ( $P_b = \text{Pr}[\text{άφιξη κλήσης} | \text{συμφόρηση}]$ )

# Βαθμός Υπηρεσίας-Grade of Service (GoS)

- Μετρά τη δυνατότητα των χρηστών να έχουν πρόσβαση σε ένα σύστημα με συγκέντρωση κατά την ώρα μέγιστης αιχμής
- Η ώρα μέγιστης αιχμής καθορίζεται από τη μέγιστη ζήτηση σε κάποια χρονική περίοδο (ημέρα, εβδομάδα)
  - Κατά τη διάρκεια της ημέρας υπάρχουν 2 μέγιστα: πχ 12.00-13.00 & 20.00-21.00
  - Κατά τη διάρκεια της εβδομάδας υπάρχει ένα μέγιστο: πχ Παρασκευή 21.00-10.00 (εκτός εκτάκτων περιπτώσεων)
- Μέτρα βαθμού υπηρεσίας:
  - Πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων κατά την ώρα αιχμής
  - Πιθανότητα συμφόρησης κατά την ώρα αιχμής (αυστηρότερο)
- Η σχεδίαση κυψελωτών συστημάτων 2<sup>ης</sup> γενιάς βασίζεται συνήθως σε  $GoS=2\%$  ή λιγότερο κατά την ώρα μέγιστης αιχμής, που ανάλογα με το μέτρο που έχει επιλεγεί σημαίνει ότι κατά μέσο όρο
  - ένας χρήστης θα βρίσκει διαθέσιμο δίαυλο στο 98% των προσπαθειών του κατά τη διάρκεια της ώρας μέγιστης αιχμής
  - Το σύστημα θα βρίσκεται σε κατάσταση συμφόρησης το 2% του χρόνου λειτουργίας κατά τη διάρκεια της ώρας μέγιστης αιχμής

# Διαδικασία Αφίξεων Poisson

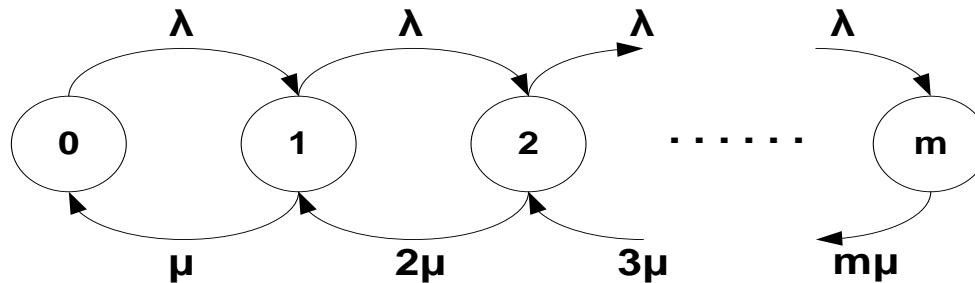
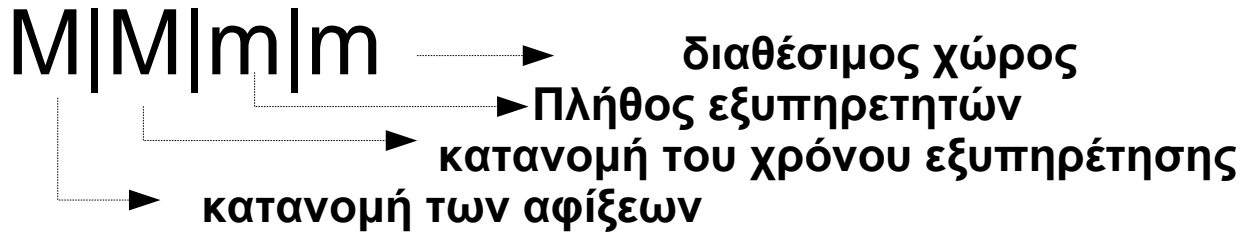
- Είναι διαδικασία απαρίθμησης γεγονότων
- Ανεξαρτησία μεταξύ αυξήσεων
- $\Pr[N(t+s) - N(s) = k] = e^{-\lambda t} \cdot \frac{(\lambda t)^k}{k!}$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots$  και  $\lambda$ : μέσος ρυθμός αφίξεων
- Μέσο πλήθος αφίξεων στο χρόνο  $(0, t)$ :

$$E[N(t)] = \sum_{k=0}^{\infty} k \cdot \Pr[N(t) = k] = \lambda \cdot t$$

- Χρόνος μεταξύ διαδοχικών αφίξεων: εκθετικά κατανομημένος



# Μοντέλο M/M/m



- $k$  : κατάσταση του συστήματος = πλήθος πελατών στο σύστημα
- $\lambda$  : ρυθμός αφίξεων Poisson
- $1/\mu$  : μέσος χρόνος εξυπηρέτησης εκθετικά κατανομημένος
- $P_k$ : η πιθανότητα να υπάρχουν  $k$  πελάτες στο σύστημα

# Υπολογισμός βαθμού εξυπηρέτησης για τα διάφορα συστήματα

- Ανάλογα με τον τρόπο που το κάθε σύστημα αντιμετωπίζει τις κλήσεις που βρίσκουν κατά την άφιξή τους όλους τους διαύλους κατειλημμένους προκύπτουν διαφορετικοί μαθηματικοί τύποι
  - Τύπος Erlang B: οι αποκλειόμενες κλήσεις απορρίπτονται από το σύστημα και δεν επανεμφανίζονται. (Υπόθεση: αγνοούνται οι σχετιζόμενες επαναπροσπάθειες των αποκλειόμενων κλήσεων)
  - Τύπος Erlang C: οι αποκλειόμενες κλήσεις μπαίνουν σε ουρά αναμονής και περιμένουν να εξυπηρετηθούν ανάλογα με την σειρά άφιξής τους

# Τύπος Erlang B

- Υποθέτοντας πολύ μεγάλο πληθυσμό χρηστών και κατανομή αφίξεων Poisson:
  - Η πιθανότητα συμφόρησης ισούται με την πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων (Ιδιότητα *PASTA*: Poisson Arrivals See Time Averages, δηλαδή, οι αφίξεις Poisson βλέπουν τους μέσους χρόνους παραμονής σε μια κατάσταση)
- Για πεπερασμένο πληθυσμό χρηστών η ισότητα αυτή δεν ισχύει. Γίνεται πάντως η παραδοχή ότι η ισότητα ισχύει προκειμένου να διευκολύνουμε την επίλυση του προβλήματος

# Παράδειγμα 1

- Σε μια κυψέλη έχουμε 4 συχνότητες. Έγιναν μετρήσεις διάρκειας 1 λεπτού σε διάρκεια 10 ωρών μέγιστης αιχμής και παρατηρήθηκε ότι
  - 0 ραδιοδίαυλοι κατειλημμένοι σε 89 παρατηρήσεις
  - 1 ραδιοδίαυλος κατειλημμένος σε 164 παρατηρήσεις
  - 2 ραδιοδίαυλοι κατειλημμένοι σε 173 παρατηρήσεις
  - 3 ραδιοδίαυλοι κατειλημμένοι σε 114 παρατηρήσεις
  - 4 ραδιοδίαυλοι κατειλημμένοι σε 60 παρατηρήσεις
- Ο συνολικός αριθμός των κλήσεων που έφθασαν και δεν εξυπηρετήθηκαν (απωλεσθείσες κλήσεις) είναι 34
- Υποθέτοντας ότι  $P(\text{συμφόρησης}) = P(\text{αποκλεισμού})$  και χωρίς τη χρήση του τύπου του Erlang να εκτιμηθούν
  1. Η μεταφερόμενη κίνηση
  2. Το προσφερόμενο φορτίο
  3. Η μέση διάρκεια της κλήσης

# Παράδειγμα 1

- Σύνολο παρατηρήσεων:

60 παρατηρήσεις/ώρα επί 10 ώρες = 600 παρατηρήσεις

1. *Μεταφερόμενη κίνηση* = Μέσος όρος κατειλημμένων καναλιών

$$\begin{aligned} A_C &= 0 \cdot \frac{89}{600} + 1 \cdot \frac{164}{600} + 2 \cdot \frac{173}{600} + 3 \cdot \frac{114}{600} + 4 \cdot \frac{60}{600} \\ &= \frac{164 + 346 + 342 + 240}{600} = \frac{1092}{600} = 1.82 \end{aligned}$$

2. Αν  $A_0$  είναι το προσφερόμενο φορτίο τότε το φορτίο που δεν εξυπηρετείται δίνεται από τον τύπο:

$$A_0 - A_C = A_0 p_4, A_0 > A_C \text{ γιατί } P(\text{συμφόρησης}) = P(\text{αποκλεισμού})$$

# Παράδειγμα 1

$$\Rightarrow A_0 = \frac{A_c}{1 - p_4} = \frac{1.82}{1 - \frac{60}{600}} = \frac{1.82}{0.9} = 2.02 \text{erlang}$$

3. Όλοι οι ραδιοδίαυλοι είναι κατειλημμένοι σε 60 περιπτώσεις (παρατηρήσεις) δηλ σε 60 λεπτά και οι απωλεσθείσες κλήσεις είναι 34

Άρα ο ρυθμός άφιξης κλήσεων είναι:  $\lambda = \frac{34}{60} = 0.567$  κλήσεις/λεπτό

Ξέρουμε επίσης ότι το προσφερόμενο φορτίο δίνεται από τον τύπο

$$A_0 = \lambda H$$

$$\text{Άρα } H = \frac{A_0}{\lambda} = \frac{2.02}{0.567} = 3.57$$

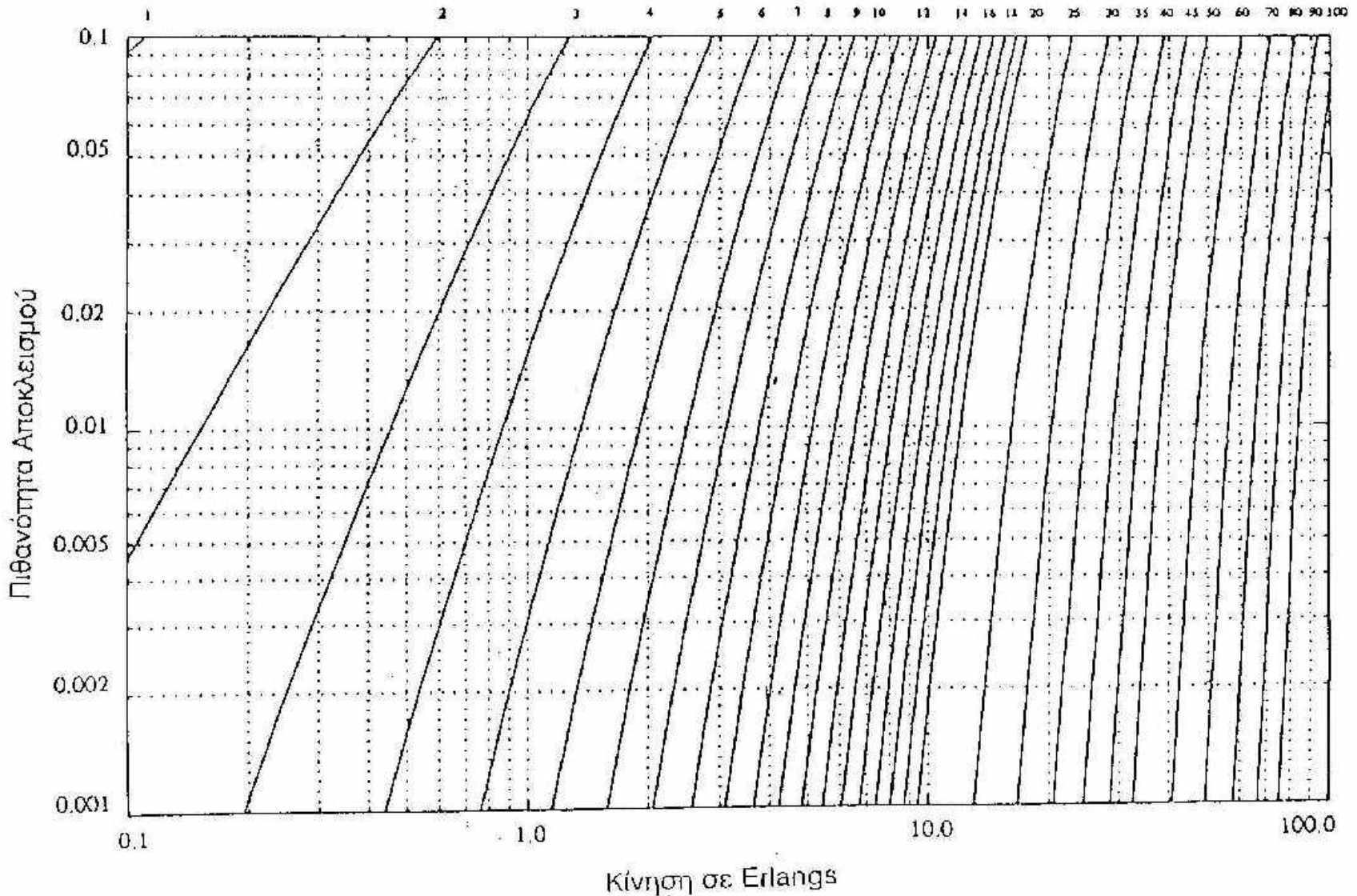
Οπότε η μέση διάρκεια κλήσης είναι περίπου 3.57 λεπτά

# Χωρητικότητα συστήματος Erlang B

Αριθμός Διαύλων	Χωρητικότητα (erlang) για <i>GOS</i>			
	= 0.01	= 0.005	= 0.002	= 0.001
2	0.153	0.105	0.065	0.046
4	0.869	0.701	0.535	0.439
5	1.36	1.13	0.900	0.762
10	4.46	3.96	3.43	3.09
20	12.0	11.1	10.1	9.41
24	15.3	14.2	13.0	12.2
40	29.0	27.3	25.7	24.5
70	56.1	53.7	51.0	49.2
100	84.1	80.9	77.4	75.2

# Χωρητικότητα συστήματος Erlang B

Αριθμός Διαύλων (C)





# Παράδειγμα 2

- Πόσοι χρήστες μπορούν να εξυπηρετηθούν με πιθανότητα αποκλεισμού 0.5% με τους παρακάτω αναφερόμενους διαύλους: (α) C = 2 (β) C = 10

Υποθέτουμε ότι κάθε χρήστης παράγει 0.1 erlang

- Από το διάγραμμα για τον τύπο Erlang B, βρίσκουμε το συνολικό προσφερόμενο φορτίο σε erlang για GOS = 0.005. Χρησιμοποιώντας τη σχέση  $A = N_u A_u$  μπορούμε να βρούμε τον αριθμό των χρηστών που εξυπηρετούνται, δεδομένου ότι  $A_u = 0.1$

- (α) C = 2

Από τον πίνακα βρίσκουμε ότι για GOS = 0.005, A = 0.105 erlang, οπότε

$$N_u = \left\lfloor \frac{A}{A_u} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{0.105}{0.1} \right\rfloor = 1 \text{ χρήστης}$$

- (β) C = 10

Από τον πίνακα βρίσκουμε ότι για GOS = 0.005, A = 3.96 erlang, οπότε

$$N_u = \left\lfloor \frac{A}{A_u} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{3.96}{0.1} \right\rfloor = 39 \text{ χρήστες}$$

# Τύπος Erlang C

- Παρόμοιες υποθέσεις με τύπο B με το εξής επιπρόσθετο όρο
  - Ένα εισερχόμενη κλήση δεν βρίσκει ελεύθερο δίαυλο τοποθετείται σε ουρά αναμονής με άπειρο μήκος
- Άρα μας ενδιαφέρουν δύο μεγέθη
  - Πιθανότητα μια κλήση να καθυστερήσει πάνω από  $t$  sec
  - Πιθανότητα μια καθυστερημένη κλήση να έχει καθυστέρηση πάνω από  $t$  sec
- $\Pr[delay > 1] = \Pr[delay > 0] * \Pr[delay > t | delay > 0] =$   
 $\Pr[delay > 0] * e^{\frac{-(C-A)t}{H}}$ 
  - C : αριθμός διαύλων ανά κυψέλη
  - A : Συνολικό φορτίο κίνηση
  - H : Μέση διάρκεια κλήσης
- Ο πρώτος παράγοντας από πίνακες
- Ο δεύτερος παράγοντας υπολογιστικά

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

# Διαστασιοποίηση κάθε κυψέλης

- Εύρεση πλήθους συχνοτήτων έτσι ώστε να ικανοποιείται ο βαθμός υπηρεσίας κατά τις ώρες αιχμής.
- Υπολογισμός προσφερομένου φορτίου.
  - Μετριοούνται οι προσπάθειες για κλήση  $N_{\text{εισ}}$
  - Μετριέται η μέση διάρκεια κλήσεων σε minutes (των επιτυχημένων κλήσεων)  $t_{\text{avg}}$ .
- ΟΠΟΤΕ : Εκτιμώμενο  $A = N_{\text{εισ}} \times t_{\text{avg}}(\text{min})/60\text{min}$
- Αρχικά γίνεται εκτίμηση για το προσφερόμενο φορτίο, συνήθως υπερεκτίμηση, και αφού το σύστημα μπει σε λειτουργία υπάρχει δυνατότητα υπολογισμού του ρυθμού αφίξεων  $\lambda$  και του μέσου χρόνου εξυπηρέτησης  $1/\mu$  (δηλαδή της μέσης διάρκεια κλήσεων )  
Στη συνέχεια γίνεται ενδεχόμενη αναπροσαρμογή.

# Επίδραση διάσπασης κυψελών

- Η ομαδοποίηση δίαυλων (διαχωρισμός του συνολικού πλήθους δίαυλων σε ομάδες) μειώνει την αποτελεσματικότητα του συστήματος, δηλαδή μειώνει τη χωρητικότητα

- π.χ. όπως μπορούμε να δούμε από τον πίνακα erlang B ότι

για  $GOS = 1$  και  $C = 10 : A_{10} = 4.46 \text{ Erlang}$ , ενώ

για  $GOS = 1$  και  $C = 5 : A_5 = 1.36 \text{ Erlang}$

- Παρατηρούμε ότι:

$$A_{2 \times 5} = 2 \cdot A_5 = 2.72 \text{ Erlang} < A_{10} = 4.46 \text{ Erlang}$$

# Επίδραση διάσπασης κυψελών

- Στόχος αρχικής εγκατάστασης συστήματος (λίγοι χρήστες) είναι η γρήγορη γεωγραφική κάλυψη για παροχή υπηρεσιών
- Αύξηση χωρητικότητας με διάσπαση κυψελών
  - Παράλληλη λειτουργία παλαιάς και νέων κυψελών
  - Πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική
- Μείωση μεγέθους ισοδυναμεί με μείωση ισχύος. Στα όρια πχ παλαιάς (R) και νέας κυψέλης (R/2):

$$\begin{aligned} & - P_r \propto P_t R^{-n} \quad P_r' \propto P_t' (R/2)^{-n} \\ & - \text{Αν } n=4 \text{ τότε για } P_r = P_r' \Rightarrow P_r' = \frac{P_r}{16} \quad \text{ή } P_{t'|dB} = P_{t|dB} - 12dB \end{aligned}$$

# Φασματική απόδοση κυψελωτών συστημάτων

- Φάσμα: κεφάλαιο
- Μεταφερόμενο φορτίο: εισπράξεις
- Για να μεγιστοποιήσει μια εταιρία τα κέρδη της:
  - Αυξάνει τον αριθμό των χρηστών
  - Αυξάνει τη διάρκεια κλήσεων των υπαρχόντων χρηστών
- $B_T$ : Εύρος ζώνης συχνοτήτων ραδιοδιαύλου (π.χ. GSM = 200KHz)
- $C$ : Πλήθος διαύλων ανά κυψέλη
- $K$ : Μέγεθος cluster

Το ολικό εύρος φάσματος  $B_S$  προκύπτει από τον τύπο:

$$B_S = C \cdot K \cdot B_T$$

# Φασματική απόδοση κυψελωτών συστημάτων

- $S_c$  : εμβαδόν κυψελών
- $A_C$  : η μεταφερόμενη κίνηση

Υπολογίζουμε τη φασματική απόδοση  $\eta$  του συστήματος:

$$\eta = \frac{A_C}{B_S \cdot S_C} \frac{\text{erlang}}{\text{MHz} \cdot \text{Km}^2}$$

*Ερμηνεία:* ρυθμός δημιουργίας εσόδων σε σχέση με το εύρος ζώνης και την περιοχή κάλυψης => πόσο καλά χρησιμοποιεί η εταιρία το κεφάλαιο που επενδύθηκε

- Αντικαθιστώντας το  $B_S$ , προκύπτει: 
$$\eta = \frac{A_C}{C \cdot K \cdot B_T \cdot S_C}$$
  - Μειώνοντας το  $K$ , αυξάνεται το  $\eta$ 
    - Για  $K = 1 \rightarrow \eta$ : μέγιστο
  - Με λίγα λόγια όταν το cluster έχει μόνο μια κυψέλη δηλαδή επαναχρησιμοποιώντας ολόκληρο το φάσμα σε κάθε κυψέλη.
  - Πράγμα αδύνατο λόγω παρεμβολών



# Αλληλοσυγκρουόμενοι στόχοι

- Συνολική χωρητικότητα =  $\min(A, B, C)$ 
  - A: χωρητικότητα ασύρματου μέρους (κυψέλης)
  - B: χωρητικότητα από κυψέλη έως κέντρο μεταγωγής
  - C: χωρητικότητα κέντρου μεταγωγής (δυνατότητα μεταγωγών/χρόνο)
- Συνήθως το A καθορίζει και τη συνολική χωρητικότητα
- Για την αύξηση του A μικραίνουμε το μέγεθος των κυψελών → αυξάνουμε το πλήθος των μεταγωγών δηλαδή μειώνουμε το C (συγκρουόμενοι στόχοι).