



ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΠΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Προβλήματα Κεφαλαίου 2

- 2.1 Σύστημα κινητών επικοινωνιών πρόκειται να παρέχει κατά 90% επιτυχείς επικοινωνίες και στα όρια των κυψελών, όπου υπάρχει διακύμανση της στάθμης λήψης λόγω σκίασης. Η μέση τιμή της διακύμανσης είναι μηδέν και η τυπική απόκλιση είναι 8 dB. Ποιο περιθώριο διαλείψεων απαιτείται;

[Απάντηση: (α) 10.24 dB]

2.2

- (α) Στα συστήματα κινητών επικοινωνιών που χρησιμοποιούν αμφιδρόμηση συχνότητας, η ζώνη με τις χαμηλότερες συχνότητες χρησιμοποιείται για τις ζεύξεις ανόδου. Γιατί;
- (β) Το σύστημα GSM χρησιμοποιεί 124 ραδιοδιαύλους με αριθμούς 1-124 και με τις εξής συχνότητες:

Συχνότητα στη Ζεύξη ανόδου: $890 + \text{Αρ.Ραδιοδιαύλου} \cdot 0.2 \text{ MHz}$

Συχνότητα στη Ζεύξη καθόδου: $925 + \text{Αρ.Ραδιοδιαύλου} \cdot 0.2 \text{ MHz}$

Θεωρώντας απόσταση αναφοράς για διάδοση ελευθέρου χώρου d_0 , βρείτε την διαφορά απωλειών διαδρομής μεταξύ των ζεύξεων ανόδου και καθόδου του ραδιοδιαύλου 30 σε απόσταση d .

[Απάντηση: (α) Μικρότερες απώλειες διαδρομής, γεγονός που είναι ευνοϊκό για τα κινητά τερματικά που έχουν περιορισμένη ισχύ μπαταρίας, (β) 0.35 dB]

2.3

- (α) Στα συστήματα κινητών επικοινωνιών που χρησιμοποιούν αμφιδρόμηση συχνότητας, η ζώνη με τις χαμηλότερες συχνότητες χρησιμοποιείται για τις ζεύξεις ανόδου. Γιατί;
- (β) Το σύστημα DCS χρησιμοποιεί 375 ραδιοδιαύλους με αριθμούς 512-886 και με τις εξής συχνότητες:

Συχνότητα στη Ζεύξη ανόδου: $1710 + (\text{Αρ.Ραδιοδιαύλου} - 511) \cdot 0.2 \text{ MHz}$

Συχνότητα στη Ζεύξη καθόδου: $1805 + (\text{Αρ.Ραδιοδιαύλου} - 511) \cdot 0.2 \text{ MHz}$

Θεωρώντας απόσταση αναφοράς για διάδοση ελευθέρου χώρου d_0 , βρείτε την διαφορά απωλειών διαδρομής μεταξύ των ζεύξεων ανόδου και καθόδου του ραδιοδιαύλου 650 σε απόσταση d .

[Απάντηση: (α) Μικρότερες απώλειες διαδρομής, γεγονός που είναι ευνοϊκό για τα κινητά τερματικά που έχουν περιορισμένη ισχύ μπαταρίας, (β) 0.47 dB]

- 2.4 Η μέση τιμή των απωλειών διαδρομής σε dB συναρτήσει της απόστασης r από τον πομπό σε μια κυψέλη είναι $L = L_0 + 10n \log r_{\text{km}}$, όπου L_0 είναι οι απώλειες διαδρομής σε απόσταση 1 km και $n = 4$ ο εκθέτης απωλειών διαδρομής. Υπάρχει σκίαση με λογαριθμική-κανονική κατανομή και τυπική απόκλιση $\sigma = 6$ dB. Οι κυψέλες σχεδιάζονται για κάλυψη 50% στα όριά τους. Αν γίνει αλλαγή στην αρχική σχεδίαση και αυξηθεί το ποσοστό κάλυψης στα όρια των κυψελών σε 90% διατηρώντας την ίδια ισχύ εκπομπής στους σταθμούς βάσης, πόσο τοις εκατό παραπάνω σταθμοί βάσης θα απαιτηθούν για την κάλυψη της ίδιας περιοχής εξυπηρέτησης;

[Δίνεται ότι: $Q(0) = 0.5$, $Q(1.28) = 0.1$]

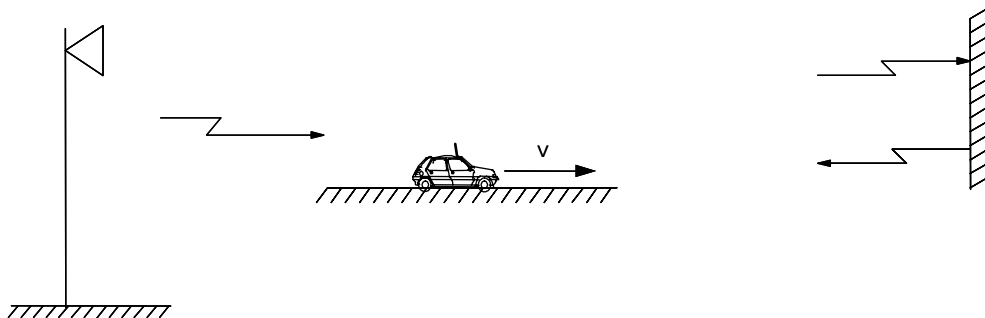
[Απάντηση: 142%]

- 2.5 Κινητό τερματικό ισαπέχει από τρεις όμοιους σταθμούς βάσης δικτύου κινητών επικοινωνιών. Οι κυψέλες θεωρούνται κυκλικές ακτίνας $R = 15$ km και η απόσταση μεταξύ των σταθμών βάσης είναι $D = 30$ km. Ο εκθέτης απωλειών διαδρομής $n = 3$ και λόγω σκίασης υπάρχει διακύμανση της ισχύος στη λήψη με τυπική απόκλιση $\sigma = 12$ dB. Η απόλυτη μέση τιμή των απωλειών διαδρομής σε απόσταση 10 km από τον σταθμό βάσης είναι 127 dB. Η πιθανότητα κάλυψης στα όρια των κυψελών είναι $\Pr[R_r(15) > \gamma] = 0.62$, όπου γ η επιθυμητή στάθμη λήψης στο κινητό τερματικό είναι γ . Υπολογίστε την πιθανότητα κάλυψης κινητού τερματικού στη θέση που ισαπέχει από τους τρεις σταθμούς βάσης.

[Δίνεται ότι: $Q(0.3) = 0.38$ και $Q(0.147) = 0.44$]

[Απάντηση: 91.4 %]

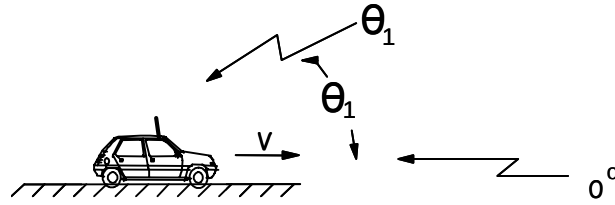
- 2.6 Κινητό τερματικό κινείται με ταχύτητα v κατά μήκος της διαδρομής μεταξύ του σταθμού βάσης και ενός εμποδίου, όπως φαίνεται στο Σχ. 2. Ο σταθμός βάσης εκπέμπει αδιαμόρφωτο φέρον συχνότητας f_c . Να βρεθεί έκφραση για την περιβάλλουσα του σήματος που λαμβάνει το τερματικό.



Σχήμα 2

[Απάντηση: $s_r = 2A \sin(2\pi \frac{v}{\lambda} t)$]

- 2.7 Στην κεραία κινητού τερματικού που κινείται με ταχύτητα v , εισέρχονται δύο ανακλώμενες εκδοχές εκπεμπόμενου αδιαμόρφωτου φέροντος με γωνίες $\theta = 0^\circ$ και $\theta = \theta_1^\circ$, ως προς την κατεύθυνση κίνησης, όπως φαίνεται στο Σχ. 3. Υποθέστε ότι και τα δύο ανακλώμενα κύματα έχουν το ίδιο πλάτος. Να βρεθεί η έκφραση για την περιβάλλουσα του λαμβανόμενου σήματος και να καθοριστεί η συχνότητα των διαλείψεων.



Σχήμα 3

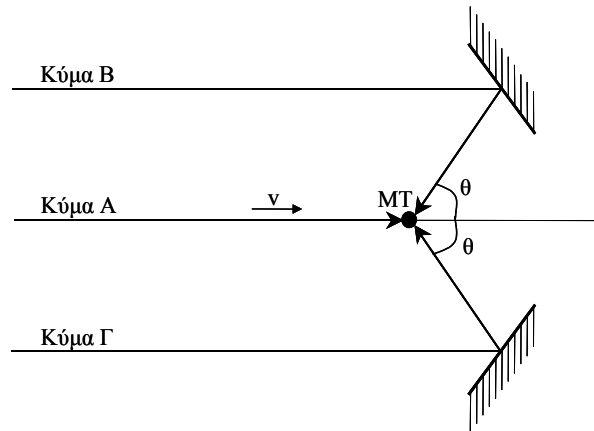
Ποια είναι η έκφραση για τη συχνότητα διαλείψεων, όταν τα δύο σήματα καταφθάνουν στην κεραία του δέκτη με γωνίες θ_1 και θ_2 ;

[Απάντηση: $s_r(t) = 2A \left| \cos\left(\frac{\pi v}{\lambda} - \frac{\pi v}{\lambda} \cos \theta_1\right)t \right|$, $f_d = \frac{v}{2\lambda} (1 - \cos \theta_1)$,

$f_d = \frac{v}{2\lambda} (\cos \theta_2 - \cos \theta_1)$ **]**

- 2.8 Θεωρούμε κινητό τερματικό (ΜΤ) το οποίο κινείται με ταχύτητα v στην περιοχή δύο τοπικών ανακλαστών, όπως φαίνεται στο Σχ. 4. Ο κάθε ανακλαστής έχει συντελεστή ανάκλασης 0.5. Ο συντελεστής ανάκλασης είναι ο λόγος του πλάτους του ηλεκτρικού πεδίου ανακλώμενου προς το πλάτος του ηλεκτρικού πεδίου του προσπίπτοντος κύματος.

- (α) Βρείτε μια έκφραση για το σήμα που λαμβάνεται από το κινητό τερματικό.
 (β) Σχεδιάστε τη μεταβολή του πλάτους του λαμβανόμενου σήματος λόγω διαλείψεων πολλαπλών διαδρομών και υπολογίστε την ολίσθηση Doppler.



Σχήμα 4

[Απάντηση:

(α)

$$\tilde{r}(t) = a(t)e^{-j\phi(t)}$$

$$a(t) = A \{ [\cos \phi_1(t) + 0.5 \cos \phi_2(t) + 0.5 \cos \phi_3(t)]^2 + [\sin \phi_1(t) + 0.5 \sin \phi_2(t) + 0.5 \sin \phi_3(t)]^2 \}^{1/2}$$

$$\phi(t) = \tan^{-1} \left\{ \frac{\sin \phi_1(t) + 0.5 \sin \phi_2(t) + 0.5 \sin \phi_3(t)}{\cos \phi_1(t) + 0.5 \cos \phi_2(t) + 0.5 \cos \phi_3(t)} \right\}$$

$$\phi_i(t) = f_{D,i}t - f_c \tau_i$$

(β) $r(t) = 2A \cos\left[\frac{\pi v}{\lambda} (1 + \cos \theta)t\right]$, $f_D = -\frac{v}{2\lambda} (1 - \cos \theta)$ **]**

- 2.9 Κινητό τερματικό μετακινείται αργά σε εσωτερικό χώρο και λαμβάνει σήμα μέσω πολλαπλών διαδρομών, που καταφθάνουν με τυχαίες γωνίες. Υποθέτουμε ότι δεν υπάρχουν μεταβολές μεγάλης κλίμακας στο σήμα κατά τη διάρκεια της κίνησης του τερματικού. Η ποιότητα της ζεύξης είναι δεκτή, όταν η στάθμη του λαμβανόμενου σήματος πέφτει κάτω από δοθέν κατώφλι μόνο στο 1% του χρόνου. Κατά πόσα dB πρέπει να υπερβαίνει η στάθμη του σήματος το κατώφλι, ώστε να εξασφαλίζεται παραδεκτή ποιότητα του σήματος;

[Απάντηση: 20 dB]

- 2.10 Υπολογίστε τον ρυθμό υπέρβασης στάθμης για στάθμη -20 dB και τη μέση διάρκεια διαλείψεων για σύστημα που λειτουργεί στους 2.2 GHz και για ταχύτητα κινητών τερματικών 100 km/h. Αμελήστε τις επιδράσεις από την κίνηση του περιβάλλοντος. Συγκρίνετε τα αποτελέσματα με εκείνα που λαμβάνονται από προσεγγιστικές εκφράσεις.

[Απάντηση: 50.5 υπερβάσεις/sec (51), 195 μ sec].

- 2.11 Πρόκειται να μετρηθεί η συμπεριφορά ως προς τις διαλείψεις ενός φέροντος συνεχούς κυματομορφής, σε αστική περιοχή. Γίνονται οι ακόλουθες παραδοχές:

- (α) Ο δέκτης χρησιμοποιεί απλό κατακόρυφο μονόπολο ($G_r = 3/2$)
- (β) Αγνοούνται οι διαλείψεις μεγάλης κλίμακας
- (γ) Το κινητό τερματικό δεν έχει οπτική επαφή με τον σταθμό βάσης
- (δ) Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της περιβάλλουσας του σήματος στον δέκτη ακολουθεί κατανομή Rayleigh.
- (1) Να βρεθεί ο λόγος της επιθυμητής στάθμης σήματος προς την στάθμη rms, ο οποίος μεγιστοποιεί τον ρυθμό υπέρβασης στάθμης.
- (2) Υποθέτοντας ότι η μέγιστη ταχύτητα του κινητού είναι 50 km/h και η συχνότητα του φέροντος 900 MHz, καθορίστε τον μέγιστο αριθμό των φορών που η περιβάλλουσα του σήματος θα πέσει κάτω από την ευρεθείσα στο ερώτημα (1) στάθμη κατά τη διάρκεια ενός min.
- (3) Πόσον χρόνο κατά μέσον όρο διαρκεί κάθε διάλειψη στο ερώτημα (2);

[Απάντηση: $\rho = 1/\sqrt{2}$, 2687 φορές, 8.78 msec]

- 2.12 Κινητό τερματικό λαμβάνει σήμα συχνότητας 900 MHz ενώ κινείται με σταθερή ταχύτητα για 10 sec. Η μέση διάρκεια διαλείψεων για στάθμη σήματος 10 dB κάτω από τη στάθμη rms είναι 2 ms. Πόσο διάστημα θα διανύσει το κινητό σε 10 sec; Πόσες διαλείψεις θα εμφανίσει το σήμα στη στάθμη rms στο διάστημα των 10 sec; Υποθέστε ότι ο τοπικός μέσος όρος παραμένει σταθερός κατά τη διάρκεια της κίνησης.

[Απάντηση: 221 m, 476 διαλείψεις]

- 2.13 Από κινητό που μετακινείται με 80 km/h, λαμβάνεται σήμα με κατανομή Rayleigh και επίπεδες διαλείψεις. Η συχνότητα του φέροντος είναι 1.8 GHz.

- (α) Καθορίστε τον αριθμό των υπερβάσεων στάθμης πάνω από την rms τιμή της στάθμης, που παρατηρούνται σε διάστημα 5 sec.
- (β) Καθορίστε τη μέση διάρκεια διαλείψεων κάτω από την rms τιμή της στάθμης.
- (γ) Καθορίστε τη μέση διάρκεια διαλείψεων σε στάθμη 20 dB κάτω από την rms τιμή της στάθμης.

[Απάντηση: (α) 615 υπερβάσεις, (β) 5.14 msec, (γ) 0.3 msec]

2.14 Το τοπικό προφίλ καθυστέρησης ισχύος ενός διαύλου αποτελείται από τρεις συνιστώσες με στάθμες 0 dB, -10 dB και -10 dB, και καθυστερήσεις 0, 1 και 2 μ s αντίστοιχα.

(α) Να βρεθεί η μέση επιπρόσθετη καθυστέρηση και η rms εξάπλωση καθυστέρησης.

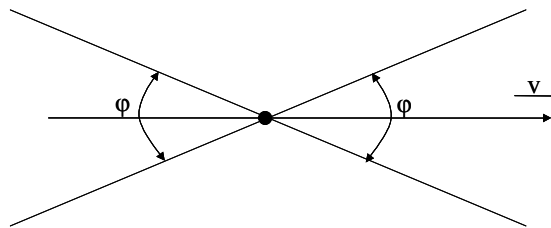
(β) Η μέγιστη επιπρόσθετη καθυστέρηση για στάθμη αναφοράς ισχύος -10 dB.

(γ) Αν ο δίαυλος πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε σχήμα διαμόρφωσης που απαιτεί ισοσταθμιστή όταν η διάρκεια συμβόλου T είναι μικρότερη από $10 T_d$, καθορίστε τον μέγιστο ρυθμό συμβόλων RF που μπορεί να υποστηριχθεί χωρίς να απαιτείται ισοσταθμιστής.

(δ) Αν το κινητό μετακινείται με ταχύτητα 30 km/h και η συχνότητα του φέροντος είναι 1.8 GHz, να καθοριστεί ο χρόνος που ο δίαυλος εμφανίζεται στατικός ή τουλάχιστον με υψηλή συσχέτιση.

[Απάντηση: (α) 0.25 μ sec, 0.59 μ sec, (β) 2 μ sec, (γ) 169.5 ksym-bols/sec, (δ) 3.58 msec]

2.15 Στην περίπτωση που απεικονίζεται στο Σχ. 1, το κινητό τερματικό χρησιμοποιεί κατευθυντική κεραία με εύρος δέσμης φ° . Θεωρούμε ότι το περιβάλλον προκαλεί ιστροπική σκέδαση. Όταν η συχνότητα λήψης είναι 850 MHz, παρατηρείται ολίσθηση Doppler 20 έως 60 Hz. Ποιο είναι το εύρος δέσμης της κεραίας του κινητού τερματικού και ποια η ταχύτητα του κινητού;



Σχήμα 1

[Απάντηση: $\varphi=141^\circ$ και $v=76$ km/h]

2.16 Το προφίλ καθυστέρησης ισχύος ραδιοδιαύλου συστήματος κινητών επικοινωνιών δίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Σχετική καθυστέρηση (μ s)	Μέση ισχύς (dB)
0.0	-1.0
0.5	0.0
1.0	-3.0
1.5	-6.0
2.5	-7.0
5.0	-11.0

Η συχνότητα λειτουργίας του συστήματος είναι 1.8 GHz και η συνάρτηση συσχέτισης των περιβαλλουσών των σημάτων και στο πεδίο συχνότητας και στο πεδίο του χρόνου λαμβάνεται μεγαλύτερη από 0.5. Αν η τεχνική διαμόρφωσης

που χρησιμοποιείται επιτρέπει τη μετάδοση 1 bit/Hz και δεν χρησιμοποιείται ισοσταθμιστής, να καθοριστεί η περιοχή ρυθμών μετάδοσης στην οποία μπορεί να μεταδίδει δεδομένα κινητό τερματικό που μετακινείται με μέση ταχύτητα 60 km/h και εξυπηρετείται από τον υπόψη δίαυλο.

[Απάντηση: $558.6 \text{ bps} \leq R \leq 203 \text{ kbps}$]

- 2.17 Θεωρήστε ασύρματο περιβάλλον όπου το σήμα καταφθάνει στα κινητά τερματικά μέσω δύο διαδρομών. Ένα τερματικό κινείται με ταχύτητα $v = 3 \text{ m/s}$ κατά μήκος του άξονα z . Οι γωνίες άφιξης είναι $\alpha_1 = 0$ και $\alpha_2 = \pi/3$. Τη χρονική στιγμή $t = 0$, ο χρήστης είναι στη θέση $z = 0$ και οι καθυστερήσεις είναι $\tau_1(0) = 1 \mu\text{s}$ και $\tau_2(0) = 2 \mu\text{s}$. Τα κέρδη στις δύο διαδρομές είναι $\alpha_1 = 1$ και $\alpha_2 = 1$ και δεν μεταβάλλονται χρονικά. Το μεταδιδόμενο σήμα είναι $s(t) = f(t)\cos 2\pi f_c t$, όπου $f_c = 2 \text{ GHz}$.

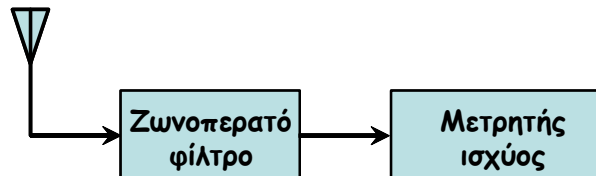
- (α) Ποια είναι η έκφραση για το λαμβανόμενο σήμα τη στιγμή t ;
 (β) Ποιες είναι οι χωρικές συχνότητες για τις δύο διαδρομές;
 (γ) Γιατί μπορούμε να προσεγγίσουμε το $r_i(t)$ με $r_i(0)$ στους όρους του $f(t)$ και όχι στους όρους που περιέχουν συνημίτονο;

[Απάντηση : (α) $r(t) = f(t-t_1(t))\cos[2\pi f_c(t-t_1(t))] + f(t-t_2(t))\cos[2\pi f_c(t-t_2(t))]$, όπου

$\tau_i(t) = \tau_i(0) - \frac{vt}{c} \cos \alpha_i$ **(β)** 1 κύκλος/λ και 0.5 κύκλος/λ, **(γ)** Όταν το κινητό διανύσει

απόσταση 1 m, γεγονός που συμβαίνει σε 1/3 sec, η φάση αλλάζει κατά 6.67 και 3.33 κύκλους αντίστοιχα για κάθε διαδρομή, ενώ η καθυστέρηση μεταβάλλεται μόνο κατά 3.33 ns και 1.67 ns, αντίστοιχα.]

- 2.18 Κινητό τερματικό κινείται σε περιβάλλον όπου η ενέργεια του σήματος είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη στο οριζόντιο επίπεδο και το κέρδος της κεραίας του είναι ίσο με 1. Για τη μέτρηση της ισχύος λήψης ενός ημιτονικού σήματος συχνότητας 900 MHz χρησιμοποιείται ο δέκτης του παρακάτω σχήματος.



Η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος στην έξοδο της κεραίας, πριν το ζωνοπερατό φίλτρο, είναι P . Θεωρούμε ότι μπορεί να χρησιμοποιηθούν δύο ζωνοπερατά φίλτρα με τις εξής αποκρίσεις συχνότητας

$$\text{Φίλτρο 1: } |H_1(f)| = \begin{cases} 1, & |f - f_c| < f_m \\ 0, & \text{αλλού} \end{cases}$$

$$\text{Φίλτρο 2: } |H_2(f)| = \begin{cases} 1, & f_b < |f - f_c| < 2f_m \\ 0, & \text{αλλού} \end{cases}$$

όπου f_m είναι η μέγιστη ολίσθηση Doppler.

- (α) Αν χρησιμοποιείται το φίλτρο 1 και το κινητό κινείται με ταχύτητα v , ποια είναι η έξοδος του φίλτρου συναρτήσει του P ;
 (β) Ποια είναι η απάντηση στο ερώτημα (α), αν η ταχύτητα του κινητού είναι $2v$;

- (γ) Χρησιμοποιείται το φίλτρο 2 ενώ η ταχύτητα του κινητού παραμένει 2ν. Για ποια τιμή του f_b , η λαμβανόμενη ισχύς στην έξοδο του φίλτρου είναι η ίδια με εκείνη του ερωτήματος (α);

[Απάντηση : (α) P, (β) P/3, (γ) $f_b = \sqrt{3}f_m$]

- 2.19 Για κάποια θέση του κινητού τερματικού σε περιβάλλον κινητών επικοινωνιών, η κρουστική απόκριση του διαύλου δίνεται από τη σχέση:

$$h(t) = V_0 \sum_{j=1}^N c_j \delta(t - t_j)$$

και το εκπεμπόμενο σήμα είναι $s(t)\cos 2\pi f t$. Αν $N = 2$, $c_1 = c_2 = 1$, $t_1 = 1 \mu s$ και $t_2 = 2 \mu s$

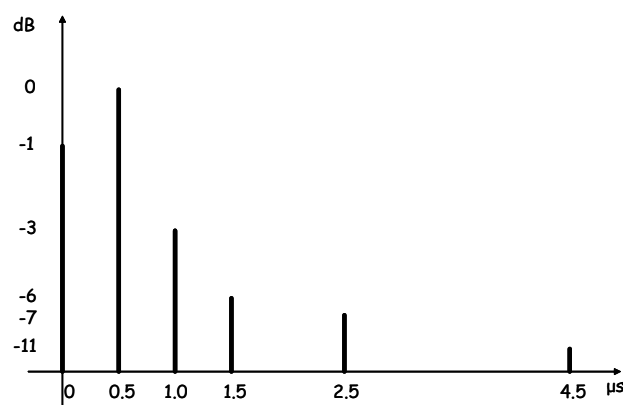
- (α) Βρείτε τη συνάρτηση μεταφοράς $H(f)$ για σταθερή θέση z_0 του τερματικού.
 (β) Ποια είναι η απόσταση μεταξύ των ελαχίστων στην $H(f)$;
 (γ) Υποθέστε ότι το μεταδιδόμενο σήμα $s(t)\cos 2\pi f t$ μπορεί να διακρίνει τη διαδρομή με καθυστέρηση t_1 από τη διαδρομή με καθυστέρηση t_2 . Το κινητό μετακινείται κατά μήκος του άξονα z και η απομάκρυνσή του από τη θέση z_0 έχει ως συνέπεια αλλαγή της φάσης με ρυθμό +1 κύκλο ανά μήκος κύματος για τη διαδρομή με καθυστέρηση t_1 και -1 κύκλο ανά μήκος κύματος για τη διαδρομή με καθυστέρηση t_2 . Ποιες είναι οι γωνίες άφιξης α_1 και α_2 από τις δύο διαδρομές ως προς την κατεύθυνση της κίνησης;

[Απάντηση : (α) $H(f) = 2V_0 e^{-2\pi f_c 1.5 \mu s} \cos(2\pi f_c 0.5 \mu s)$, (β) 1 MHz, (γ) $\alpha_1 = 0^\circ$ και $\alpha_2 = 180^\circ$]

- 2.20 Σχεδιάστε το προφίλ καθυστέρησης ισχύος του παρακάτω διαύλου ευρείας ζώνης. Υπολογίστε τη μέγιστη καθυστέρηση με σχετική στάθμη -10 dB, τη μέση καθυστέρηση και την rms καθυστέρηση. Μπορεί ο δίαυλος να θεωρηθεί δίαυλος ευρείας ζώνης για σύστημα που μεταδίδει με ρυθμό 25 kbps και γιατί;

Σχετική καθυστέρηση (μs)	Μέση σχετική ισχύς (dB)
0.0	-1.0
0.5	0.0
1.0	-3.0
1.5	-6.0
2.5	-7.0
4.5	-11.0

[Απάντηση :



$T_M = 2.5 \mu s$, $T_m = 0.79 \mu s$, $T_d = 0.925 \mu s$, είναι δίαυλος στενής ζώνης διότι $T_s \gg T_d$]

2.21 Το προφίλ καθυστέρησης ισχύος ενός ραδιοδιαύλου είναι το ακόλουθο:

$$D(t) = \delta(t - 3\mu s) + 0.5\delta(t - 8\mu s) + \delta(t - 10\mu s)$$

- (α) Είναι ο δίαυλος επίπεδος ή επιλεκτικός ως προς συχνότητα για σύστημα που μεταδίδει δεδομένα με διάρκεια συμβόλων $T_s = 3 \mu s$ και γιατί;
 (β) Για εύρος ζώνης συνοχής με συσχέτιση 0.5, ποια πρέπει να είναι η διάρκεια των μεταδιδόμενων συμβόλων, ώστε ο δίαυλος να συμπεριφέρεται ως επίπεδος;

Υπενθύμιση: $\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1$ και $\int_{-\infty}^{\infty} f(t) \delta(t - \tau) dt = f(\tau)$

[Απάντηση : (α) Επιλεκτικός ως προς συχνότητα, (β) $T_s > 16.7 \mu s$]

2.22 Στη γεωγραφική θέση Α συστήματος κινητών επικοινωνιών το λαμβανόμενο σήμα $r_1(t)$ είναι

$$r_1(t) = a_0 s(t) + a_1 s(t - \tau_1) + a_2 s(t - \tau_2)$$

όπου $s(t)$ είναι το εκπεμπόμενο σήμα, $|a_0 / a_1| = |a_2 / a_1| = -5 \text{ dB}$, $\tau_1 = 1 \mu s$ και $\tau_2 = 8 \mu s$.

Στη γεωγραφική θέση Β, το λαμβανόμενο σήμα $r_2(t)$ είναι

$$r_2(t) = a_0 s(t) + a_1 s(t - \tau_1) + a_2 s(t - \tau_2) + a_3 s(t - \tau_3)$$

όπου $|a_0 / a_1| = -1 \text{ dB}$, $|a_2 / a_1| = -3 \text{ dB}$, $|a_3 / a_1| = -6 \text{ dB}$, $\tau_1 = 1 \mu s$, $\tau_2 = 3 \mu s$ και $\tau_3 = 6 \mu s$.

- (α) Αν το σύστημα μεταδίδει δεδομένα με διάρκεια συμβόλων $T = 2 \mu s$, τι θα παρατηρείται στον δέκτη στις δύο θέσεις Α και Β;
 (β) Για εύρος ζώνης συνοχής με συσχέτιση 0.5, ποια θέση πρέπει να προτιμήσει ο χρήστης για την απρόσκοπτη μετάδοση των δεδομένων;

[Απάντηση: (α) $\tau_{dA} = 2.9 \mu s > T$ (frequency selective), $\tau_{dB} = 1.8 \mu s < T$, (β) $B_{cA} = 68.96 \text{ kHz}$, $B_{cB} = 111.42 \text{ kHz}$]

2.23 Θεωρούμε γεωγραφική θέση συστήματος κινητών επικοινωνιών όπου το εκπεμπόμενο σήμα $s(t)$ καταφθάνει στον δέκτη μέσω πέντε διαδρομών, οπότε το λαμβανόμενο σήμα $r(t)$ είναι

$$r(t) = a_0 s(t) + a_1 s(t - \tau_1) + a_2 s(t - \tau_2) + a_3 s(t - \tau_3) + a_4 s(t - \tau_4)$$

όπου $|a_0 / a_1| = -1 \text{ dB}$, $|a_2 / a_1| = -3 \text{ dB}$, $|a_3 / a_1| = -6 \text{ dB}$, $|a_4 / a_1| = -7 \text{ dB}$, $\tau_1 = 1 \mu s$ και $\tau_2 = 2 \mu s$, $\tau_3 = 3 \mu s$ και $\tau_4 = 5 \mu s$.

- (α) Είναι ο δίαυλος επίπεδος ή επιλεκτικός ως προς συχνότητα για σύστημα που μεταδίδει δεδομένα με διάρκεια συμβόλων $T_s = 1 \mu s$ και γιατί;
 (β) Για εύρος ζώνης συνοχής με συσχέτιση 0.5, ποια πρέπει να είναι η διάρκεια των μεταδιδόμενων συμβόλων, ώστε ο δίαυλος να συμπεριφέρεται ως επίπεδος;

[Απάντηση: (α) Επιλεκτικός ως προς συχνότητα, $\tau_d = 1.37 \mu s > T_s$, (β) $T_s > 6.85 \mu s$]

2.24 Θεωρούμε γεωγραφική θέση συστήματος κινητών επικοινωνιών όπου το εκπεμπόμενο σήμα $s(t)$ καταφθάνει στον δέκτη μέσω τριών διαδρομών, οπότε το λαμβανόμενο σήμα $r(t)$ είναι

$$r(t) = a_0 s(t) + a_1 s(t - \tau_1) + a_2 s(t - \tau_2)$$

όπου $|a_0 / a_1| = |a_2 / a_1| = -5 \text{ dB}$, $\tau_1 = 1 \mu\text{s}$ και $\tau_2 = 8 \mu\text{s}$.

- (α) Ποια είναι η διαφορά μήκους μεταξύ της μεγαλύτερης και μικρότερης διαδρομής;
- (β) Για εύρος ζώνης συνοχής με συσχέτιση 0.5, καθορίστε κατά πόσο εμφανίζονται ή όχι διαλείψεις επιλεκτικές ως προς συχνότητα στην υπόψη γεωγραφική θέση, αν χρησιμοποιείται σύστημα με διαύλους εύρους ζώνης 30 kHz, 200 kHz και 1.73 MHz;

[Απάντηση: (α) 2.4 km, (β) $B_c = 69.2 \text{ kHz}$]

2.25 Για κάποια θέση του κινητού τερματικού σε περιβάλλον κινητών επικοινωνιών, η κρουστική απόκριση του διαύλου δίνεται από τη σχέση:

$$h(t) = \delta(t - \tau_1) + \delta(t - \tau_2)$$

όπου $\tau_1 = 2 \mu\text{s}$ και $\tau_2 = 4 \mu\text{s}$.

- (α) Βρείτε τη συνάρτηση μεταφοράς $H(f)$ για σταθερή θέση z_0 του τερματικού.
- (β) Ποια είναι η απόσταση μεταξύ των ελαχίστων στην $H(f)$;
- (γ) Το κινητό μετακινείται κατά μήκος του άξονα z και η απομάκρυνσή του από τη θέση z_0 έχει ως συνέπεια αλλαγή της φάσης με ρυθμό +1 κύκλο ανά μήκος κύματος για τη διαδρομή με καθυστέρηση τ_1 και +1/2 κύκλο ανά μήκος κύματος για τη διαδρομή με καθυστέρηση τ_2 . Ποιες είναι οι γωνίες άφιξης α_1 και α_2 από τις δύο διαδρομές ως προς την κατεύθυνση της κίνησης;

{Υπενθυμίζεται ότι $\mathcal{F}[\delta(t)] = 1$ και $\mathcal{F}[g(t - t_0)] = G(f)e^{-j2\pi f t_0}$ }

[Απάντηση: (α) $H(f) = \mathcal{F}[h(t)] = 2e^{-j2\pi f_c 3\mu\text{s}} \cos(2\pi f_c 1\mu\text{s})$, (β) $\Delta f = 500 \text{ kHz}$,

(γ) $\alpha_1 = 0^\circ$ και $\alpha_2 = \pi/3$]



ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΠΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Προβλήματα Κεφαλαίου 3

- 3.1 Για κυψελωτό σύστημα με $K = 7$, $GOS = 1\%$ και μέση διάρκεια κλήσεων 2 min, βρείτε την απώλεια στην απόδοση συγκέντρωσης, όταν μεταβαίνουμε από ισοτροπικές κεραίες σε κεραίες με τομείς 60° . Ο συνολικός αριθμός των διαύλων του συστήματος είναι 420. Υποθέστε σύστημα Erlang - B και μέσο αριθμό κλήσεων για κάθε χρήστη 1 κλήση ανά ώρα.

[Απάντηση : 36.1%].

- 3.2 Σε σύστημα κινητών επικοινωνιών Erlang-B η ακτίνα κάθε κυψέλης είναι 5 km και η ισχύς εκπομπής των σταθμών βάσης είναι 12 W. Το σύστημα εξυπηρετεί περιοχή με ομοιόμορφη πυκνότητα 5 χρήστες/ km², κάθε χρήστης πραγματοποιεί κατά μέσον όρο την ώρα αιχμής 2 κλήσεις μέσης διάρκειας 2 min και ο βαθμός εξυπηρέτησης είναι 5%. Υποθέστε ότι το σύστημα έχει φθάσει στη μέγιστη χωρητικότητα και κάθε κυψέλη πρέπει να διασπασθεί σε 4 κυψέλες. (α) Ποια η ακτίνα και η ισχύς εκπομπής στις νέες κυψέλες, αν ο εκθέτης απωλειών διαδρομής είναι $n = 4$; (β) Πόσοι δίαυλοι χρειάζονται στις νέες κυψέλες αν ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης του συστήματος να παραμείνει ο ίδιος; (γ) Αν η κίνηση είναι ομοιόμορφα κατανομημένη στο σύστημα, ποια είναι η προσφερόμενη κίνηση σε κάθε νέα κυψέλη; Θα είναι η πιθανότητα αποκλεισμού στις νέες αυτές κυψέλες μικρότερη από 0.1% μετά τη διάσπαση;

[Απάντηση : (α) 2.5 km, 3/4 W, (β) 27 δίαυλοι, (γ) 5.42 erlang, ναι]

- 3.3 Σε σύστημα κινητών επικοινωνιών με έναν σταθμό βάσης κάθε χρήστης κάνει κατά μέσον όρο τρεις κλήσεις την ώρα και κάθε κλήση έχει μέση διάρκεια 5 min.

- α) Ποια είναι η προσφερόμενη κίνηση για κάθε χρήστη;
β) Να βρεθεί ο αριθμός των χρηστών που μπορεί να εξυπηρετήσει το σύστημα με πιθανότητα αποκλεισμού 1%, εάν είναι διαθέσιμος μόνο ένας δίαυλος.
γ) Να βρεθεί ο αριθμός των χρηστών που μπορεί να εξυπηρετήσει το σύστημα με πιθανότητα αποκλεισμού 1%, εάν είναι διαθέσιμοι πέντε δίαυλοι.
δ) Αν ο αριθμός των χρηστών που βρέθηκε στο ερώτημα (γ) διπλασιαστεί ξαφνικά, ποια είναι η πιθανότητα αποκλεισμού στο σύστημα;

[Απάντηση : α) 0.25 erlang, β) 1, γ) 5, δ) 7%]

- 3.4 Εταιρία παροχής κινητών επικοινωνιών απέκτησε άδεια να αναπτύξει κυψελωτό σύστημα σε περιοχή έκτασης 140 km². Η άδεια κόστισε μόνο 2.000 ΕΥΡΩ. Υποθέστε ότι κάθε σταθμός βάσης κοστίζει 500.000 ΕΥΡΩ, και κάθε MSC 1.800.000 ΕΥΡΩ. Χρειάζονται, επίσης 500.000 ΕΥΡΩ για τις διαφημίσεις και την έναρξη λειτουργίας. Η τράπεζα δανείζει στην εταιρία 8.5 εκατομμ. ΕΥΡΩ, με την ιδέα ότι η εταιρία σε τέσσερα χρόνια θα έχει μικτά έσοδα 15 εκατομμ. ΕΥΡΩ και θα αποπληρώσει το δάνειο.

- α) Πόσους σταθμούς βάσης θα μπορέσει να εγκαταστήσει η εταιρία με τα 8.5 εκατομμ. ΕΥΡΩ που διαθέτει;

- β) Υποθέτοντας ότι το έδαφος είναι επίπεδο και οι συνδρομητές ομοιόμορφα κατανομημένοι, ποια υπόθεση μπορεί να γίνει για την περιοχή κάλυψης κάθε σταθμού βάσης; Ποια είναι η μέγιστη ακτίνα κάθε κυψέλης, αν υποτεθεί ότι οι κυψέλες έχουν εξαγωνικό σχήμα;
- γ) Υποθέστε ότι κάθε συνδρομητής θα πληρώνει 50 ΕΥΡΩ τον μήνα επί τέσσερα χρόνια. Υποθέστε επίσης ότι την πρώτη μέρα που λειτουργεί το σύστημα υπάρχει ένας συγκεκριμένος αριθμός χρηστών που παραμένει σταθερός επί έναν χρόνο. Την πρώτη μέρα κάθε νέου έτους ο αριθμός των συνδρομητών διπλασιάζεται και στη συνέχεια παραμένει σταθερός για το υπόλοιπο του έτους. Ποιος είναι ο ελάχιστος αριθμός χρηστών που μπορεί να έχει την πρώτη μέρα λειτουργίας του το σύστημα, ώστε να μπορέσει να έχει έσοδα 15 εκατομμ. ΕΥΡΩ στο τέλος του τέταρτου έτους λειτουργίας;
- δ) Για την απάντησή σας στο ερώτημα (γ), πόσοι χρήστες ανά km² απαιτούνται την πρώτη μέρα λειτουργίας για να επιτευχθεί ο στόχος των 15 εκατομμ. ΕΥΡΩ στο τέλος του τέταρτου έτους;

[Απάντηση : α) 14 BTS, β) 1961 m, γ) 1667 χρ., δ) 12 χρ./km²]

3.5 Πρόκειται να αναπτυχθεί σύστημα κινητών επικοινωνιών στην περιοχή των 1.8 GHz και διατίθεται σ' αυτό φάσμα με εύρος ζώνης 14 MHz ανά κατεύθυνση. Θα χρησιμοποιηθούν ραδιοδίαυλοι εύρους 200 kHz που ο καθένας θα εξυπηρετεί 8 χρήστες χρησιμοποιώντας TDMA. Ο εκθέτης απωλειών διαδρομής είναι $n = 4$ και ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξασφαλίζεται αποδεκτή παρεμβολή είναι $K = 7$.

- α) Πόσοι ραδιοδίαυλοι μπορεί να χρησιμοποιηθούν;
- β) Αν κάθε σταθμός βάσης του συστήματος μπορεί να υποστηρίξει το πολύ 12 ραδιοδίαυλους, πόσοι χρήστες μπορεί να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα από έναν σταθμό βάσης; Ένας δίαυλος σε κάθε σταθμό βάσης χρησιμοποιείται για σηματοδότηση.
- γ) Αν το σύστημα πρόκειται να καλύψει κυκλική περιοχή 2500 km² και οι σταθμοί βάσης εκπέμπουν 2 W με ιστροπικές κεραίες κέρδους 10 dB, καθορίστε τον αριθμό των κυψελών που απαιτούνται να καλύψουν την περιοχή; Υπάρχει σκίαση με λογαριθμική-κανονική κατανομή και τυπική απόκλιση $\sigma = 8$ dB και οι κυψέλες σχεδιάζονται κατά τρόπον ώστε στα όριά τους η στάθμη του σήματος στην έξοδο της κεραίας των κινητών τερματικών να είναι -90 dBm για το 90% των περιπτώσεων. Κάθε κινητό τερματικό έχει κεραία κέρδους 3 dBi και η απόσταση αναφοράς για διάδοση ελευθέρου χώρου είναι $d_0 = 1$ km. [$Q(1.28) = 0.1$].
- δ) Για την απάντησή σας στο (γ), καθορίστε με λεπτομέρεια ένα κατάλληλο σχήμα επαναχρησιμοποίησης για κάθε κυψέλη της πόλης και ορίστε τους δίαυλους που χρησιμοποιούνται σε κάθε κυψέλη. Η απάντηση θα πρέπει να περιλαμβάνει λεπτομέρειες για το πόσους δίαυλους θα χρησιμοποιεί ο κάθε σταθμός βάσης, ποια είναι η ελάχιστη απόσταση επαναχρησιμοποίησης και άλλες λεπτομέρειες που αποσαφηνίζουν το πώς κατανέμονται οι δίαυλοι στην περιοχή κάλυψης του συστήματος.
- ε) Πόσοι συνολικά ραδιοδίαυλοι και πόσοι δίαυλοι χρηστών είναι διαθέσιμοι στην περιοχή κάλυψης του συστήματος, με βάση την απάντηση στο ερώτημα (δ); Ο ολικός αριθμός των δίαυλων ισούται με τη μέγιστη χωρητικότητα του συστήματος και είναι ένα όριο για τον αριθμό των χρηστών που μπορεί να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα την ώρα της πλήρους φόρτισης.
- στ) Αν κάθε σταθμός βάσης κοστίζει 400.000 ΕΥΡΩ και κάθε ραδιοδίαυλος στον σταθμό βάσης 40.000 ΕΥΡΩ, ποιο είναι το κόστος του συστήματος του ερωτήματος (ε); Αυτό είναι το αρχικό κόστος του συστήματος.

ζ) Αν το σύστημα στο (δ) σχεδιάζεται για πιθανότητα αποκλεισμού 5% κατά την έναρξη λειτουργίας, ποιος είναι ο μέγιστος αριθμός συνδρομητών που μπορεί να εξυπηρετηθούν κατά την έναρξη λειτουργίας, αν το προσφερόμενο φορτίο ανά χρήστη είναι 0.1 erlang;

[Απάντηση : α) 70 ραδιοδίαυλοι, β) 95 χρήστες, γ) 38, δ) $D = 23.23 \text{ km}$, 80 δίαυλοι/κυψέλη, ε) 380 ραδιοδίαυλοι, 3002 δίαυλοι χρηστών, στ) 30.4 εκατομμ. ΕΥΡΩ, ζ) 28.404 χρήστες]

- 3.6 Κυψελωτό σύστημα GSM με ιστροπικές κεραίες χρησιμοποιεί 28 ραδιοδιαύλους, καθένας από τους οποίους υποστηρίζει 8 διαύλους χρήστη με διαίρεση χρόνου. Το σύστημα εξυπηρετεί ομοιόμορφη κίνηση, ενώ η πιθανότητα αποκλεισμού την ώρα αιχμής είναι 2%. Ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης είναι $K = 4$ και ένας δίαυλος σε κάθε κυψέλη χρησιμοποιείται για σηματοδότηση. Ο αριθμός των χρηστών του συστήματος αυξάνει με ρυθμό 20% κατ' έτος και η αύξηση της χωρητικότητας αντιμετωπίζεται με διάσπαση των κυψελών.

Ο τηλεπικοινωνιακός φορέας που εκμεταλλεύεται το σύστημα αποφασίζει να καθυστερεί τη διάσπαση των κυψελών, επιτρέποντας την αύξηση της πιθανότητας αποκλεισμού για κάποιο σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα και αυξάνοντας έτσι τον αριθμό των χρηστών εις βάρος της προσφερόμενης ποιότητας υπηρεσίας. Τούτο μπορεί αποτελέσει βιώσιμη εναλλακτική λύση στη διάσπαση των κυψελών, αν μόνο μια ή δύο κυψέλες εμφανίζουν υψηλή πιθανότητα αποκλεισμού την ώρα αιχμής.

Αν η πιθανότητα αποκλεισμού επιτρέπεται να αυξηθεί σε 5%, 10% και 15%, για πόσο χρονικό διάστημα μπορεί να αναβληθεί η διάσπαση των κυψελών για κάθε τιμή της επιτρεπόμενης αυξημένης πιθανότητας αποκλεισμού σε σύγκριση με την κανονική τιμή 2%; Είναι βιώσιμη εναλλακτική λύση; Εξηγείστε την απάντησή σας.

[Απάντηση: 0.51 έτη, 1.12 έτη, 1.66 έτη].

- 3.7 Το εύρος ζώνης που διατίθεται σε κυψελωτό σύστημα με αμφιδρόμηση συχνότητας είναι 25 MHz, ενώ το εύρος ζώνης κάθε διαύλου μιας κατεύθυνσης είναι 30 kHz. Το σύστημα καλύπτει περιοχή 4000 km^2 χρησιμοποιώντας κυψέλες εμβαδού 8 km^2 . Οι χρήστες του συστήματος πραγματοποιούν κατά μέσον όρο την ώρα αιχμής 1.2 κλήσεις / ώρα και η μέση διάρκεια των κλήσεων είναι 100 sec. Ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης είναι $K = 7$ και η πιθανότητα αποκλεισμού των κλήσεων είναι 2%.

Να βρεθεί ο αριθμός των κλήσεων ανά ώρα σε κάθε κυψέλη και η φασματική απόδοση του συστήματος, λαμβανομένου υπόψη ότι ένας δίαυλος σε κάθε κυψέλη είναι δίαυλος ελέγχου.

[Απάντηση : 1418 κλήσεις, $0.468 \text{ erlang/km}^2/\text{MHz}$].

- 3.8 Για την αύξηση της απόδοσης του ανωτέρω συστήματος χρησιμοποιούνται οι ίδιες κυψέλες με τη μόνη διαφορά ότι χωρίζονται σε τομείς των 120° και χρησιμοποιείται συντελεστής επαναχρησιμοποίησης $K = 4$, ώστε να διατηρείται ο ίδιος περίπου λόγος σήματος προς παρεμβολή.

Να βρεθεί η νέα φασματική απόδοση δεδομένου ότι διατηρείται ο ίδιος βαθμός εξυπηρέτησης.

[Απάντηση : $0.724 \text{ erlang/km}^2/\text{MHz}$].

- 3.9 Διατίθεται συνολικό φάσμα 28 MHz σε ψηφιακό κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών, που χρησιμοποιεί αμφιδρόμηση συχνότητας με ραδιοδιαύλους εύρους ζώνης 200 kHz και κάθε ραδιοδίαυλος εξυπηρετεί 8 διαύλους χρήστη, με πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου. Οι κυψέλες θεωρούνται εξαγωνικές ακτίνας $R =$

1 km και ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης είναι $K = 7$. Για την εξυπηρέτηση περιοχών που δεν καλύπτονται από την αρχική διάταξη των κυψελών καθώς και για την εξυπηρέτηση περιστασιακών σημείων συγκέντρωσης χρηστών, αποφασίζεται να χρησιμοποιηθούν υπερκείμενες κυψέλες, με τον ίδιο συντελεστή επαναχρησιμοποίησης και κάθε μία από αυτές θα καλύπτει μια περιοχή επαναχρησιμοποίησης των κάτω κυψελών.

Η πυκνότητα των χρηστών είναι ομοιόμορφη, ο μέσος ρυθμός κλήσεων ανά χρήστη είναι $\lambda = 2$ κλήσεις την ώρα και η μέση διάρκεια κλήσης 3 min. Ο εκθέτης απωλειών διαδρομής είναι $n = 4$.

- (α) Αν P_t είναι η ισχύς εκπομπής των σταθμών βάσης των κάτω κυψελών, να καθοριστεί η ισχύς εκπομπής των υπερκείμενων κυψελών, ώστε να έχουμε την ίδια μέση ισχύ στα όρια των ακραίων κάτω κυψελών και της υπερκείμενης κυψέλης. Αμελείται η σκίαση.
- (β) Αν το 20% των διαύλων διατίθεται στις υπερκείμενες κυψέλες και ο αποδεκτός $GOS = 2\%$, ποια είναι η φασματική απόδοση που επιτυγχάνεται με αυτήν την κατανομή των διαύλων; Ποια θα ήταν η φασματική απόδοση, αν δεν υπήρχαν υπερκείμενες κυψέλες;
- (γ) Πόσοι χρήστες μπορούν να εξυπηρετηθούν ανά μονάδα επιφανείας, και ποιος είναι ο μέγιστος αριθμός χρηστών που μπορεί να εξυπηρετηθεί περιστασιακά σε μια κυψέλη την ώρα αιχμής, όταν διατεθούν σ' αυτήν όλοι οι δίαυλοι της υπερκείμενης κυψέλης;

[Απάντηση: (α) $P'_t = 49P_t$, (β) 1.475 erlang/MHz/km² και 1.85 erlang/MHz/km², (γ) 218.8 χρήστες/km² και 632 χρήστες/κυψέλη].

- 3.10 Τηλεπικοινωνιακή εταιρία παρείχε μονοπωλιακά ασύρματες κινητές επικοινωνίες σε μια περιοχή με σταθμούς βάσης που ο καθένας τους είχε 24 διαύλους, εκ των οποίων ο ένας είναι δίαυλος ελέγχου. Ύστερα από ένστασή τους κατά του μονοπωλίου, μπήκαν στην αγορά ακόμα δύο εταιρίες, οι οποίες αποφασίστηκε να χρησιμοποιούν τις ίδιες εγκαταστάσεις με την πρώτη εταιρία. Οι σταθμοί βάσης παρέμειναν οι ίδιοι με τον ίδιο αριθμό διαύλων, κάθε εταιρία διαθέτει τώρα 8 διαύλους ανά σταθμό βάσης και ένας δίαυλος ανά εταιρία είναι δίαυλος ελέγχου. Υποθέτοντας ότι οι χρήστες κατανεμήθηκαν εξ ίσου σε κάθε εταιρία και ότι οι χρήστες τις μιας εταιρίας δεν έχουν πρόσβαση στους διαύλους των άλλων

- (α) Βρείτε τον λόγο της μεταφερόμενης κίνησης ανά σταθμό βάσης πριν τη διάσπαση προς τη μεταφερόμενη κίνηση μετά τη διάσπαση, για $GOS = 2\%$.
- (β) Ποια είναι η πιθανότητα αποκλεισμού, αν το 1/3 της προσφερόμενης κίνησης πριν τη διάσπαση εξακολουθεί να εξυπηρετείται από την κάθε εταιρία;
- (γ) Τι μέτρα θα συνιστούσατε για την αποκατάσταση του βαθμού εξυπηρέτησης στην αρχική του τιμή; Δώστε αριθμητική απάντηση για κάθε λύση.

[Απάντηση: (α) 1.79, (β) $GOS \cong 14\%$, (γ) 1) Μείωση του μεγέθους των κυψελών, $R' = 0.747R$. 2) Δανεισμός διαύλων μεταξύ εταιριών, όταν χρειάζεται. Τρεις δίαυλοι δανεικοί από εταιρία σε εταιρία, όταν έχουν διαφορετικές ώρες αιχμής].

- 3.11 Κάθε σταθμός βάσης ασύρματου συστήματος επικοινωνιών διαθέτει 23 αμφίδρομους διαύλους για την εξυπηρέτηση των χρηστών. Κατά την ώρα αιχμής, μετρήθηκαν οι εξής παράμετροι στον σταθμό βάσης:

- Η συνολική μεταφερόμενη κίνηση από τους 23 διαύλους ισούται με 15.48 erlang.

- Οι κλήσεις που εισέρχονται από το σταθερό δίκτυο προς κάθε σταθμό βάσης έχουν κατανομή Poisson με μέσο ρυθμό άφιξης $\lambda = 2.5$ κλήσεις/min και μέση διάρκεια $H = 2$ min.

Υποθέστε ότι το σύστημα είναι Erlang-B και ότι η προσφερόμενη κίνηση στους 23 διαύλους είναι το άθροισμα της προσφερόμενης κίνησης από το σταθερό δίκτυο και της προσφερόμενης κίνησης από τα κινητά τερματικά.

- (α) Τι ποσοστό των συνολικών κλήσεων στους 23 διαύλους αποκλείεται;
- (β) Ποια η συνολική προσφερόμενη κίνηση στους 23 διαύλους;
- (γ) Ποια η προσφερόμενη κίνηση στους 23 διαύλους από τα κινητά τερματικά;

[Απάντηση: (α) GoS = 2%, (β) 15.8 erlang, (γ) 10.8 erlang].

3.12 Παρέχεται ασύρματη κινητή τηλεφωνία με 8 διαύλους σε πορθμιακή γραμμή όπου μεταφέρονται 100 επιβάτες και κάθε επιβάτης πραγματοποιεί κατά μέσον όρο μία τρίλεπτη τηλεφωνική κλήση ανά ώρα.

- (α) Ποια είναι η πιθανότητα να βρει κάποιος επιβάτης κατειλημμένες και τις έξι γραμμές;
- (β) Ποια είναι η μέση καθυστέρηση για έναν επιβάτη να αποκτήσει πρόσβαση στη γραμμή;
- (γ) Ποια είναι η πιθανότητα να περιμένει ένας επιβάτης πάνω από 3 min για να αποκτήσει πρόσβαση στη γραμμή;
- (δ) Ποια θα ήταν η μέση καθυστέρηση, αν οι επιβάτες που μεταφέρονται είναι 150;

[Απάντηση: (α) $P_b = 0.07$, (β) 10.02 sec, (γ) $\Pr(\text{delay} > 3\text{min}) = 0.0083$, (δ) 288 sec].

3.13 Διατίθεται εύρος ζώνης 10 MHz ανά κατεύθυνση σε σύστημα κινητής τηλεφωνίας με μία κυψέλη. Υπάρχουν οι ακόλουθες εκδοχές: αναλογικό σύστημα με διαύλους 30 kHz ανά κατεύθυνση, ψηφιακό σύστημα με διαύλους 30 kHz ανά κατεύθυνση σε καθένα από τους οποίους εξυπηρετούνται ταυτόχρονα 3 χρήστες, ή ψηφιακό σύστημα με διαύλους 200 kHz ανά κατεύθυνση σε καθένα από τους οποίους εξυπηρετούνται ταυτόχρονα 8 χρήστες.

- (α) Υπολογίστε για κάθε εκδοχή τον αριθμό των χρηστών που μπορεί να εξυπηρετούνται ταυτόχρονα.
- (β) Ποια είναι η απάντηση στο ερώτημα (α), αν η κυψέλη χωριστεί σε τρεις τομείς των 120° ;
- (γ) Ποια είναι η απάντηση στο ερώτημα (α), όταν αντί για μία υπάρχουν πολλές κυψέλες;
- (δ) Για την ανωτέρω περίπτωση και για αναλογικό σύστημα με συντελεστή επαναχρησιμοποίησης $K = 7$ και τρεις τομείς ανά κυψέλη, υποθέστε ότι επιθυμείτε να εξυπηρετούνται 900 χρήστες ανά κυψέλη. Αν η μέση διάρκεια των κλήσεων είναι $H = 2$ min, ποιος είναι ο μέγιστος ρυθμός κλήσεων που εξασφαλίζει $GoS = 2\%$;

[Απάντηση: (α) 333, 1000, 400 χρήστες, (β) η ίδια απάντηση με την (α), (γ) σε όλες τις περιπτώσεις θα έχουμε επαναχρησιμοποίηση, όποτε ο αριθμός μειώνεται ανάλογα, (δ) 0.584 κλήσεις/h].



ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΠΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Προβλήματα Κεφαλαίου 4

- 4.1 Μονοδιάστατο σύστημα κινητών επικοινωνιών αποτελείται από $2N$ τετραγωνικές κυψέλες διατεταγμένες σε ευθεία γραμμή. Ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης του συστήματος είναι $K \geq N$. Λόγω του φαινομένου της σκίασης, η μέση τιμή της στάθμης ισχύος του σήματος ακολουθεί λογαριθμική-κανονική κατανομή με τυπική απόκλιση $\sigma = 7.07$ dB και απόλυτη μέση τιμή $\hat{S}$, η οποία μεταβάλλεται με την απόσταση με εκθέτη $n = 3$. Οι δέκτες που θα χρησιμοποιηθούν από το σύστημα απαιτούν μέση τιμή σήματος μεγαλύτερη κατά 13.55 dB από τη μέση παρεμβολή. Ποιος είναι ο ελάχιστος απαιτούμενος συντελεστής επαναχρησιμοποίησης K , αν ο λόγος S/I πρέπει να παραμένει πάνω από τα 13.55 dB για το 95% των περιοχών στα όρια των κυψελών; Θεωρήστε το S/I μόνο στη ζεύξη καθόδου. (Δίνεται ότι : $Q(1.645) = 0.05$).

[Απάντηση: $K = 6$]

- 4.2 Στο μονοδιάστατο κυψελωτό σύστημα του Σχ. 1 ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης είναι $K = 2$ και υποθέτουμε ότι παρεμβάλλει μόνο η πρώτη σειρά κυψελών. Ο εκθέτης απωλειών διαδρομής είναι $n = 3$ και δεν λειτουργεί ο μηχανισμός διαπομπής. Τα κινητά επιτρέπεται να εισέρχονται σε γειτονικές κυψέλες και όταν ο λόγος S/I πέσει κάτω από το επιτρεπόμενο κατώφλι, η επικοινωνία διακόπτεται.

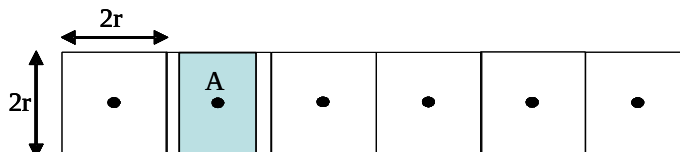
- (α) Πόσο πρέπει ένα τερματικό να απομακρυνθεί από τον σταθμό βάσης A πριν διακοπεί η σύνδεσή του, όταν αυτή διακόπτεται για λόγο $S/I \leq 10$ dB;
- (β) Υποθέστε ότι κάποιο τερματικό είναι στα όρια της κυψέλης του και τα ομοδιαυλικά προς αυτό τερματικά είναι στις πλησιέστερες θέσεις προς τον σταθμό βάσης A . Πόσο πρέπει το δεξιό ευρισκόμενο τερματικό να πλησιάσει τον σταθμό βάσης A πριν ο λόγος S/I λάβει την τιμή των 10 dB;



Σχήμα 1

[Απάντηση: (α) $d = 1.228r$, (β) $d = 2.514r$]

- 4.3 Στο μονοδιάστατο κυψελωτό σύστημα του Σχ. 2, ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης είναι $K = 3$, ο εκθέτης απωλειών διαδρομής είναι $n = 3$ και υποθέτουμε ότι παρεμβάλλει μόνο η πρώτη σειρά κυψελών. Οι κυψέλες θεωρούνται τετραγωνικές πλευράς $2r = 1.5$ km και οι σταθμοί βάσης μπορεί να καλύψουν απόσταση μέχρι 1 km κατά τον άξονα του συστήματος, λόγω κάποιας κατευθυντικότητας των κεραίων.



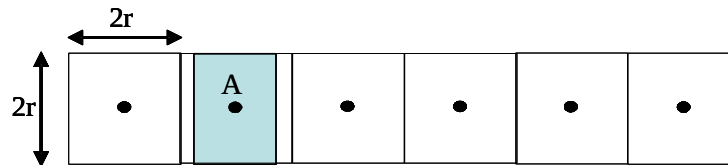
Σχήμα 2

Η πυκνότητα των χρηστών είναι ομοιόμορφη και ίση με $100 \text{ χρήστες}/\text{km}^2$, ο βαθμός εξυπηρέτησης είναι 2% για σύστημα Erlang-B, ο ρυθμός άφιξης κλήσεων $\lambda = 2$ κλήσεις/h και η μέση διάρκειά τους 3 min. Λόγω εκτάκτου γεγονότος, η πυκνότητα των χρηστών στο κεντρικό τμήμα της κυψέλης A, διαστάσεων $1 \times 1.5 \text{ km}$, αυξήθηκε σε $180 \text{ χρήστες}/\text{km}^2$. Για τη μείωση του φορτίου της κυψέλης A, αποφασίζεται να εξυπηρετηθούν μόνο τα κινητά τερματικά στο κεντρικό τμήμα, ενώ τα υπόλοιπα να εξυπηρετηθούν από τις διπλανές κυψέλες μια και η εμβέλεια των σταθμών βάσης μπορεί να τα καλύψει.

- (α) Ποιος ο νέος βαθμός εξυπηρέτησης στην κυψέλη A καθώς και στις γειτονικές της κυψέλες;
 (β) Ποια είναι η επίπτωση στην ποιότητα του σήματος για τα τερματικά των γειτονικών κυψελών που θα βρεθούν στα όρια της περιορισμένων διαστάσεων κυψέλης A; Υπολογίστε την επίπτωση αυτή.

[Απάντηση: (α) GOS = 7% και 6%, (β) Μείωση του S/I κατά 10 dB]

- 4.4 Το μονοδιάστατο κυψελωτό σύστημα του Σχ. 3 είναι GSM και χρησιμοποιεί συνολικό εύρος ζώνης 4.8 MHz. Ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης είναι $K = 3$ και ένας δίαυλος σε κάθε κυψέλη χρησιμοποιείται για σηματοδότηση. Ο εκθέτης απωλειών διαδρομής είναι $n = 3$. Οι κυψέλες θεωρούνται τετραγωνικές πλευράς $2r = 1.5 \text{ km}$ και υπάρχει επικάλυψη των κυψελών κατά τον άξονα του συστήματος, λόγω κάποιας κατευθυντικότητας των κεραιών. Η μέση στάθμη λήψης σε απόσταση 250 m από τον σταθμό βάσης είναι -82 dBm



Σχήμα 3

Η πυκνότητα των χρηστών είναι ομοιόμορφη και ίση με $100 \text{ χρήστες}/\text{km}^2$ και κάθε χρήστης πραγματοποιεί 2 κλήσεις/h με μέση διάρκεια 3 min. Λόγω εκτάκτου γεγονότος, η πυκνότητα των χρηστών στην κυψέλη A αυξήθηκε σε $150 \text{ χρήστες}/\text{km}^2$. Για τη μείωση του φορτίου της κυψέλης A, αποφασίζεται να εξυπηρετηθούν μόνο τα κινητά τερματικά που βρίσκονται πλησιέστερα προς τον σταθμό βάσης, ενώ τα υπόλοιπα να εξυπηρετηθούν από τις διπλανές κυψέλες μια και η εμβέλεια των σταθμών βάσης μπορεί να τα καλύψει. Προς τούτο καθορίζεται να δοκιμάζουν πρόσβαση στον σταθμό βάσης μόνο τα κινητά τερματικά που έχουν μέση στάθμη λήψης μέχρι -92 dBm.

- (α) Ποιος ο νέος βαθμός εξυπηρέτησης στην κυψέλη A καθώς και στις γειτονικές της κυψέλες, αν το σύστημα είναι Erlang-B;
 (β) Ποια είναι η μέση στάθμη λήψης στα κινητά τερματικά που βρίσκονται στα νέα όρια της A και εξυπηρετούνται από τις γειτονικές κυψέλες.
 (γ) Αν σε απόσταση r παρατηρείται ο αποδεκτός λόγος σήματος προς παρεμβολή του συστήματος, κατά πόσα dB πρέπει να μπορούν τα τερματικά να βελτιώνουν τον λόγο σήματος προς παρεμβολή ώστε να παραμένει η ίδια ποιότητα σήματος στα κινητά τερματικά που βρίσκονται στα νέα όρια της A και εξυπηρετούνται από τις γειτονικές κυψέλες; Υποθέτουμε ότι παρεμβάλλει μόνο η πρώτη σειρά κυψελών.

[Απάντηση: (α) GOS = 1.8 και 8.5%, (β) -100 dBm, (γ) 4.3 dB]

- 4.5 Πρόκειται να κατασκευασθεί μονοδιάστατο ασύρματο κυψελωτό σύστημα για την εξυπηρέτηση αυτοκινητόδρομου ταχείας κυκλοφορίας. Ο αυτοκινητόδρομος είναι κατασκευασμένος σε ανοικτή και επίπεδη περιοχή και δεν υπάρχουν κτίρια κοντά του, οπότε έχουμε διάδοση πάνω από επίπεδη και τελείως αγωγίμη επιφάνεια. Η περιοχή

κάλυψης κάθε κυψέλης θεωρείται ορθογωνική με μήκος ℓ και πλάτος $w = 160$ m. Οι σταθμοί βάσης θα τοποθετηθούν στο κέντρα των κυψελών και θα απέχουν μεταξύ τους ℓ m.

Η προσφερόμενη κίνηση κατά μήκος του αυτοκινητόδρομου είναι $\rho_A = 16 \times 10^{-6}$ erlang/m² και ο επιτρεπόμενος $GOS = 0.01$ για σύστημα Erlang-B. Διατίθενται συνολικά 200 δίαυλοι και ο επιτρεπόμενος λόγος $S/I = 15$ dB και για τις δύο κατευθύνσεις. Αμελείται η σκίαση και η μέγιστη απόσταση μεταξύ των σταθμών βάσης, για να παρέχουν τον κατάλληλο λόγο S/I στα τερματικά, είναι 60 km.

(α) Βρείτε τη μέγιστη απόσταση μεταξύ των σταθμών βάσης, ώστε να υποστηρίζεται η προσφερόμενη κίνηση με τον δεκτό βαθμό εξυπηρέτησης. Ο απαιτούμενος λόγος S/I πρέπει να εξασφαλίζεται για κάθε θέση των χρηστών και στη ζεύξη ανόδου και στη ζεύξη καθόδου.

(β) Μετά τη συμπλήρωση της σχεδίασης, αποφασίζεται να μειωθεί το ύψος των κεραιών στο 1/8 του αρχικά σχεδιασθέντος. Ποια θα είναι στην περίπτωση αυτή η μέγιστη απόσταση μεταξύ των σταθμών βάσης και ποιο το απαιτούμενο φάσμα (αριθμός διαύλων) για την εξυπηρέτηση του αυτοκινητοδρόμου; Θεωρήστε, ότι σε κάθε κυψέλη δύο δίαυλοι χρησιμοποιούνται για σηματοδосία.

[Απάντηση: (α) $\ell = 32.11$ km, (β) $\ell' = 21.21$ km και $C_{oA} = 140$ δίαυλοι]

- 4.6 Θεωρούμε κυψελωτό σύστημα με ιστροπικές κεραιές και συνολικό αριθμό διαύλων 395, το οποίο εξυπηρετεί ομοιόμορφη κίνηση με μέση διάρκεια κλήσεων $H = 120$ sec, ενώ η πιθανότητα αποκλεισμού την ώρα αιχμής είναι 2%. Αν ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης είναι $K = 7$ και ο εκθέτης απωλειών διαδρομής $n = 4$, να βρεθεί ο μέσος αριθμός των κλήσεων ανά ώρα και ανά κυψέλη καθώς και ο λόγος σήματος προς παρεμβολή με την παραδοχή ότι παρεμβάλλει η πρώτη σειρά κυψελών.

[Απάντηση: α) 1376 κλήσεις/κυψέλη/ώρα, β) 18.7 dB].

- 4.7 Πάροχος κυψελωτού συστήματος αποφασίζει να χρησιμοποιήσει ψηφιακή TDMA, για την οποία ο δεκτός λόγος σήματος προς παρεμβολή είναι 15 dB στη χειρότερη περίπτωση. Βρείτε τη βέλτιστη τιμή του K για (α) ιστροπικές κεραιές, (β) τομείς 120° και (γ) τομείς 60°. Θα χρησιμοποιηθεί χωρισμός των κυψελών σε τομείς; Αν ναι, ποιος χωρισμός (60° ή 120°) θα χρησιμοποιηθεί;

Θεωρήστε εκθέτη απωλειών διαδρομής $n = 4$ και λάβετε υπόψη την απόδοση συγκέντρωσης.

[Απάντηση : $K = 3$, τομείς 120°].

- 4.8 Μια πιο συστηματική διαδικασία μετρήσεων απέδειξε ότι ο εκθέτης απωλειών διαδρομής για το σύστημα της προηγούμενης άσκησης είναι $n = 3$ και όχι 4. Ποια θα είναι η νέα σχεδίαση;

[Απάντηση : $K = 4$, τομείς 60°]

- 4.9 Σε κυψελωτό σύστημα που εξυπηρετεί αστική περιοχή η στάθμη λήψης σε απόσταση $d = d_0 = 1$ m από τον σταθμό βάσης είναι 1mW. Για να μετριάσθούν τα φαινόμενα της ομοδιαυλικής παρεμβολής, απαιτείται όπως το σήμα που λαμβάνεται από οποιοδήποτε τερματικό και οφείλεται σε άλλον σταθμό βάσης είναι κάτω από -100 dBm. Από μετρήσεις που έγιναν βρέθηκε ότι ο εκθέτης απωλειών διαδρομής είναι $n = 3$.

(α) Καθορίστε τη μέγιστη ακτίνα κάθε κυψέλης, εάν ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης είναι $K = 7$.

(β) Ποια είναι η μέγιστη ακτίνα αν ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης είναι $K = 4$;

(γ) Το σύστημα του ερωτήματος (α) λειτουργεί με 660 διαύλους από τους οποίους οι 30 είναι δίαυλοι ελέγχου. Αν η αναμενόμενη πυκνότητα χρηστών στο σύστημα είναι

7800 χρήστες/km² και κάθε χρήστης πραγματοποιεί κατά μέσο όρο μία κλήση ανά ώρα με μέση διάρκεια $H = 1$ min κατά την ώρα αιχμής, καθορίστε την πιθανότητα να αντιμετωπίζει κάποιος χρήστης καθυστέρηση μεγαλύτερη από 20 sec, όταν οι κλήσεις μπαίνουν σε ουρά αναμονής.

[Απάντηση : (α) 470 m, (β) 623 m, (γ) 2.96×10^{-4}].

- 4.10 Δείξτε ότι, αν $n = 4$, μια κυψέλη μπορεί να διασπασθεί σε τέσσερις μικρότερες κυψέλες με μισή ακτίνα την καθεμία και $1/16$ της ισχύος του πομπού της αρχικής κυψέλης. Αν ο εκθέτης απωλειών διαδρομής είναι $n = 3$, πόσο πρέπει να αλλάξει η ισχύς του πομπού για να διασπασθεί η κυψέλη σε τέσσερις μικρότερες κυψέλες; Ποια επίδραση θα έχει το γεγονός αυτό στη γεωμετρία της κυψελωτής δομής; Εξηγήστε την απάντησή σας και δείξτε πώς οι νέες κυψέλες θα ταιριάζουν μέσα στις αρχικές μακροκυψέλες. Για απλότητα χρησιμοποιήστε ιστροπικές κεραίες.

[Απάντηση : $P_t / 8$].

- 4.11 Κυψελωτό σύστημα κινητής τηλεφωνίας έχει 378 διαύλους. Ο αποδεκτός λόγος $S/I = 18$ dB και ο αποδεκτός $GOS = 2\%$ για σύστημα Erlang-B. Ποια είναι η μεγαλύτερη πυκνότητα χρηστών ανά km² που μπορεί να υποστηριχθεί, με ποιον συντελεστή επαναχρησιμοποίησης επιτυγχάνεται και με ποια εσωτερική διαμόρφωση των κυψελών; Ποιος είναι ο λόγος S/I στην περίπτωση αυτή; Η ακτίνα των κυψελών είναι $R = 3$ km και η διάδοση στην περιοχή που θα καλύψει το σύστημα χαρακτηρίζεται από εκθέτη $n = 4$. Κάθε χρήστης θεωρείται ότι πραγματοποιεί ή δέχεται δύο κλήσεις την ώρα, η μέση διάρκεια των κλήσεων είναι $H = 3$ min και το σύστημα είναι Erlang-B.

Θεωρούμε ότι, σε κάθε κυψέλη ή τομέα κυψέλης, ο ένας από τους διατιθέμενους διαύλους είναι δίαυλος ελέγχου. Για τον υπολογισμό του λόγου S/I θεωρήστε ότι παρεμβάλει μόνο η πρώτη σειρά ομοδιαυλικών κυψελών.

[Απάντηση : 33.85 χρήστες/km², $K = 3$ και 6 τομείς, 20.07 dB]

- 4.12 Σε ψηφιακό κυψελωτό σύστημα ο δεκτός λόγος σήματος προς παρεμβολή είναι 16 dB, στη χειρότερη περίπτωση. Για την ανάπτυξη του συστήματος, υπάρχει δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν (α) κυψέλες με ιστροπικές κεραίες, (β) κυψέλες με τομείς 120° και (γ) με τομείς 60°.

(α) Ποια διάταξη θα χρησιμοποιηθεί, ώστε να επιτευχθεί βέλτιστη τιμή του συντελεστή επαναχρησιμοποίησης K ; Υποθέστε συντελεστή απωλειών διαδρομής $n = 4$ και λάβετε υπόψη την απόδοση συγκέντρωσης. Ποια θα ήταν η σχεδιαστική λύση, αν η καλυπτόμενη περιοχή είχε $n = 3$;

(β) Για να μετριάσθούν τα φαινόμενα της ομοδιαυλικής παρεμβολής, η ακτίνα των κυψελών της πρώτης λύσης είναι τέτοια, ώστε το σήμα που λαμβάνεται από οποιοδήποτε τερματικό και οφείλεται σε άλλον σταθμό βάσης να είναι κάτω από -150 dBm. Αν κάθε δέκτης λαμβάνει σήμα 1mW σε απόσταση $d = d_0 = 1$ m από τον πομπό, να καθοριστεί η μέγιστη ακτίνα των κυψελών στη λύση αυτή. Ποιος θα πρέπει να είναι ο περιορισμός για την παρεμβολή στη δεύτερη λύση, ώστε να έχουν οι κυψέλες την ίδια μέγιστη ακτίνα;

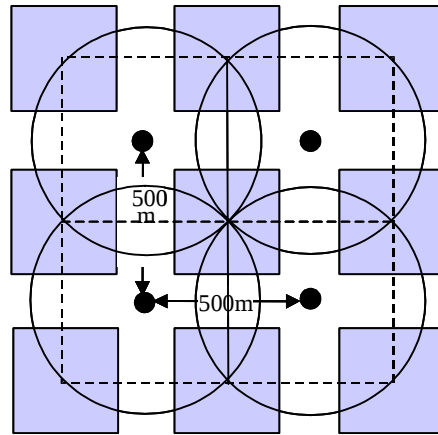
(γ) Αν ο συνολικός αριθμός των διαθέσιμων διαύλων είναι 504, πόσους χρήστες ανά km² μπορεί να εξυπηρετήσει το σύστημα με βαθμό εξυπηρέτησης 2%, αν κάθε χρήστης πραγματοποιεί κατά μέσο όρο 3 κλήσεις / ώρα με μέση διάρκεια $H = 120$ sec;

[Απάντηση : (α) $K=3$ και 60°, και $K=4$ και 60°, (β) 1496m, (γ) 207 χρήστες/km²]

- 4.13 Πρόκειται να εγκατασταθεί ψηφιακό σύστημα κινητών επικοινωνιών σε αστική περιοχή της μορφής που φαίνεται στο Σχ. 4. Οι σταθμοί βάσης θα τοποθετηθούν στις διασταυρώσεις των δρόμων, ο ελάχιστος επιτρεπόμενος λόγος $S/I = 21$ dB και ο επιθυμητός $GOS = 1\%$.

Το διατιθέμενο συνολικό εύρος ζώνης στο σύστημα είναι 25.6 MHz, χρησιμοποιείται αμφιδρόμηση συχνότητας με ραδιοδιαύλους εύρους ζώνης 200 kHz, καθένας από τους οποίους υποστηρίζει 8 διαύλους χρήστη με διαίρεση χρόνου. Ένας διάυλος σε κάθε κυψέλη χρησιμοποιείται για σηματοδότηση.

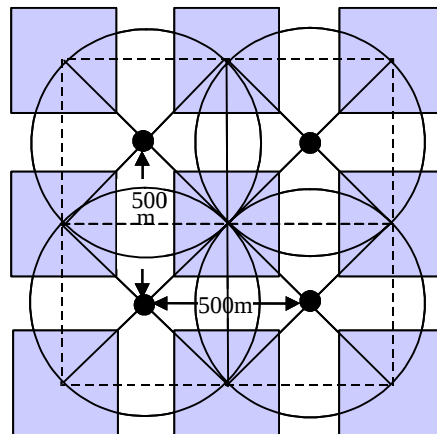
Να βρεθεί η φασματική απόδοση του συστήματος. Θεωρήστε ότι έχουμε περίπου τετραγωνικές κυψέλες, παρεμβάλλουν οι 4 πλησιέστερες ομοδιαυλικές κυψέλες και ότι $n = 4$.



Σχήμα 4

[Απάντηση : 6.56 erlang/km²/Hz]

- 4.14 Στο σύστημα του προηγούμενου προβλήματος, λόγω της αύξησης του αριθμού των χρηστών, αποφασίζεται να χωρισθεί κάθε κυψέλη σε τέσσερις τομείς των 90°, όπως φαίνεται στο Σχ. 5. Να βρεθεί πόσο θα αυξηθεί η φασματική απόδοση του συστήματος σε σχέση με εκείνη που επιτυγχάνεται με τις ισοτροπικές κεραίες.



Σχήμα 5

[Απάντηση: 19.66 erlang/MHz/km²]

- 4.15 Ψηφιακό κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών με εξαγωνικές κυψέλες, που λειτουργεί στην περιοχή των 1800 MHz, παρέχει τηλεφωνία και μετάδοση δεδομένων χαμηλού ρυθμού, υπηρεσίες για τις οποίες απαιτείται λόγος $S/I = 12$ dB στη δυσμενέστερη περίπτωση. Προκειμένου να εξυπηρετηθεί μετάδοση δεδομένων υψηλού ρυθμού, αποφασίζεται να παρέχεται η υπηρεσία αυτή σε κυψέλες μικρότερης ακτίνας ομόκεντρες των αρχικών και με τον ίδιο συντελεστή επαναχρησιμοποίησης. Να υπολογιστεί η ακτίνα των εσωτερικών κυψελών, αν οι αρχικές κυψέλες έχουν ακτίνα $R = 2$ km, η απαίτηση για τις υπηρεσίες δεδομένων υψηλού ρυθμού είναι $S/I = 20$ dB στη δυσμενέστερη περίπτωση και ο εκθέτης απωλειών διαδρομής είναι $n = 3$. Αμελείται η σκίαση.

Ποια θα πρέπει να είναι η ισχύς εκπομπής των σταθμών βάσης, αν στα όρια των εσωτερικών κυψελών απαιτείται να μην έχουμε περισσότερες από 60 υπερβάσεις στάθμης ανά sec για ευαισθησία δεκτών -100 dBm και ταχύτητα κινητών τερματικών 45 km/h; Να χρησιμοποιηθεί ο προσεγγιστικός τύπος. Δίνεται ότι η απόσταση για την οποία ισχύει διάδοση οπτικής επαφής είναι $d_0 = 100$ m.

Σχολιάστε την επίδραση που θα έχει η διάταξη με τα δύο είδη κυψελών στην απόδοση φάσματος, δεδομένου ότι ένας συγκεκριμένος αριθμός από τους διαύλους της αρχικής κυψέλης θα χρησιμοποιείται μόνο στην εσωτερική κυψέλη και για τις δύο υπηρεσίες.

[Απάντηση: (α) $R=1272$ m, $P_t=117$ mW]

- 4.16 Πάροχος κινητών επικοινωνιών πρόκειται να αγοράσει φάσμα 24 MHz στην περιοχή των 1.8 GHz για να το χρησιμοποιήσει σε ψηφιακό κυψελωτό δίκτυο, το οποίο θα καλύπτει αστική περιοχή έκτασης 15000 km^2 και θα εξυπηρετούνται 500000 χρήστες ομοιόμορφα κατανεμημένοι σε όλη την περιοχή εξυπηρέτησης. Οι κυψέλες θα είναι εξαγωνικές και καθεμιά θα χωρίζεται σε τρεις τομείς των 120° . Το σύστημα θα χρησιμοποιεί αμφιδρόμηση συχνότητας, το εύρος ζώνης των ραδιοδιαύλων ανά κατεύθυνση είναι $W = 200$ kHz και σε κάθε ραδιοδίαυλο πολυπλέκονται με διαίρεση χρόνου 8 δίαυλοι. Από τον συνολικό αριθμό διαύλων κάθε τομέα κυψέλης, 2 δίαυλοι χρησιμοποιούνται για σηματοδότηση. Ο απαιτούμενος λόγος $S/I = 19$ dB στη δυσμενέστερη περίπτωση και επιδιώκεται η βέλτιστη επαναχρησιμοποίηση. Η περιοχή εξυπηρέτησης του συστήματος θα είναι. Κάθε χρήστης πραγματοποιεί κατά μέσο όρο 2 κλήσεις την ώρα, μέσης διάρκειας $H = 3$ min, ο απαιτούμενος βαθμός εξυπηρέτησης είναι $GOS = 2\%$ και το σύστημα είναι Erlang-B. Η απόσταση για την οποία ισχύει διάδοση οπτικής επαφής είναι $d_0 = 100$ m και ο εκθέτης απωλειών διαδρομής είναι $n = 4$ (αμελείται η σκίαση).

Ποια θα πρέπει να είναι η ισχύς εκπομπής των σταθμών βάσης, αν η ελάχιστη στάθμη λειτουργίας του κινητού είναι - 103 dBm και τα κέρδη των κεραιών σταθμών βάσης και τερματικών είναι μοναδιαία;

[Απάντηση: 2.85 W]

- 4.17 Ψηφιακό κυψελωτό δίκτυο κινητών επικοινωνιών που λειτουργεί στην περιοχή των 1.8 GHz πρόκειται να εξυπηρετήσει αστική περιοχή εκτάσεως 15600 km^2 με 1500 σταθμούς βάσης ομοιόμορφα κατανεμημένους. Ο απαιτούμενος λόγος $S/I = 19$ dB στη δυσμενέστερη περίπτωση. Το εύρος ζώνης των ραδιοδιαύλων του δικτύου είναι 200 kHz και σε κάθε ραδιοδίαυλο πολυπλέκονται με διαίρεση χρόνου 8 δίαυλοι. Από τον συνολικό αριθμό διαύλων κάθε κυψέλης ή τομέα κυψέλης, 2 δίαυλοι χρησιμοποιούνται για σηματοδότηση και επιδιώκεται η βέλτιστη επαναχρησιμοποίηση. Στόχος του παρόχου του δικτύου είναι να εξυπηρετούνται 1560000 χρήστες ομοιόμορφα κατανεμημένοι σε όλη την περιοχή εξυπηρέτησης με $GOS = 2\%$ σε σύστημα Erlang-B, θεωρείται δε ότι κάθε χρήστης θα πραγματοποιεί κατά μέσον όρο κατά την ώρα αιχμής 2 κλήσεις την ώρα, μέσης διάρκειας $H = 3$ min. Η απόσταση για την οποία ισχύει διάδοση οπτικής επαφής είναι $d_0 = 100$ m και ο εκθέτης απωλειών διαδρομής είναι $n = 4$ (αμελείται η σκίαση). Οι κυψέλες θεωρείται ότι έχουν εξαγωνικό σχήμα.

(α) Ποια θα πρέπει να είναι η ισχύς εκπομπής των σταθμών βάσης, αν η ελάχιστη στάθμη λειτουργίας των κινητών τερματικών είναι - 103 dBm και τα κέρδη των κεραιών σταθμών βάσης και τερματικών είναι μοναδιαία;

(β) Ποιο είναι το ελάχιστο εύρος ζώνης του φάσματος που απαιτείται για το υπόψη δίκτυο;

[Απάντηση: 452 mW, 28.8 MHz]

- 4.18 Ψηφιακό κυψελωτό δίκτυο κινητών επικοινωνιών χρησιμοποιεί φάσμα 22.4 MHz στην περιοχή των 1.8 GHz και καλύπτει αστική περιοχή με 100 σταθμούς βάσης ισχύος 460 mW. Ο εκθέτης απωλειών διαδρομής για την υπόψη περιοχή είναι $n = 4$, η απόσταση για την οποία ισχύει διάδοση οπτικής επαφής $d_0 = 100$ m και αμελείται η σκίαση. Το

δίκτυο χρησιμοποιεί αμφιδρόμηση συχνότητας, το εύρος ζώνης των ραδιοδιαύλων ανά κατεύθυνση είναι 200 kHz και σε κάθε ραδιοδίαυλο πολυπλέκονται χρονικά 8 δίαυλοι επικοινωνίας. Σε κάθε κυψέλη, ένας δίαυλος επικοινωνίας ανά δύο ραδιοδιαύλους χρησιμοποιείται για σηματοδότηση. Για τις υπηρεσίες που προσφέρει το δίκτυο, ο δεκτός λόγος $S/I = 15$ dB, ο επιθυμητός βαθμός εξυπηρέτησης είναι $GOS=2\%$ και το σύστημα είναι Erlang-B. Οι χρήστες που θα εξυπηρετηθούν κάνουν κατά μέσον όρο 2 κλήσεις την ώρα μέσης διάρκειας $H = 3$ min και θεωρείται ότι χρησιμοποιούν δέκτες με ευαισθησία-103 dBm.

Να βρεθεί ο αριθμός των χρηστών που μπορεί να εξυπηρετήσει το δίκτυο με ιστροπικές κεραίες και η φασματική απόδοση του συστήματος.

[Απάντηση: 49600 χρήστες, 0.418 erlang/MHz/km²]

- 4.19 Ψηφιακό κυψελωτό δίκτυο κινητών επικοινωνιών χρησιμοποιεί φάσμα 14.4 MHz στην περιοχή των 900 MHz και καλύπτει αστική περιοχή εκτάσεως 1560 km² με 150 σταθμούς βάσης κατά τρόπον που να επιτυγχάνει την μεγαλύτερη πυκνότητα χρηστών ανά km². Παρέχονται από το δίκτυο υπηρεσίες φωνής και δεδομένων, οπότε είναι επιθυμητό η μέση διάρκεια των διαλείψεων στα όρια των κυψελών να μην υπερβαίνει τα 3 msec, για κινητά που κινούνται με μέση ταχύτητα 50 km/h. Για τις υπηρεσίες που παρέχει το δίκτυο, ο ελάχιστος λόγος $S/I = 19$ dB και ο επιθυμητός βαθμός εξυπηρέτησης είναι $GOS=2\%$ (σύστημα Erlang-B). Ο εκθέτης απωλειών διαδρομής για την υπόψη περιοχή είναι $n = 4$ και η απόσταση για την οποία ισχύει διάδοση οπτικής επαφής $d_0 = 100$ m, ενώ αμελείται η σκίαση. Το δίκτυο εφαρμόζει αμφιδρόμηση συχνότητας, το εύρος ζώνης των ραδιοδιαύλων ανά κατεύθυνση είναι $W = 200$ kHz και σε κάθε ραδιοδίαυλο πολυπλέκονται χρονικά 8 δίαυλοι επικοινωνίας. Σε κάθε κυψέλη ή τομέα κυψέλης, ένας δίαυλος επικοινωνίας χρησιμοποιείται για σηματοδότηση. Οι χρήστες πραγματοποιούν την ώρα αιχμής κατά μέσον όρο 2 κλήσεις φωνής την ώρα μέσης διάρκειας 3 min και 3 κλήσεις δεδομένων μεταγωγής κυκλώματος μέσης διάρκειας 1 min. Η ευαισθησία των χρησιμοποιούμενων δεκτών είναι -100 dBm.

Να βρεθεί η ισχύς των πομπών των σταθμών βάσης, η μέγιστη πυκνότητα χρηστών που μπορεί να επιτευχθεί και η φασματική απόδοση του συστήματος σ' αυτήν την περίπτωση.

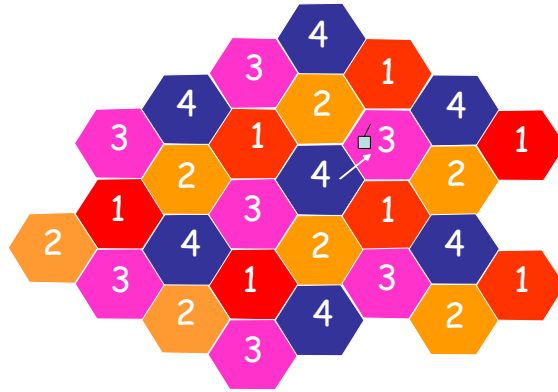
[Απάντηση: 2.27 W, 34.65 χρήστες/km², 0.707 erlang/MHz/km²]

- 4.20 Θεωρούμε διάταξη με εξαγωνικές κυψέλες, στην οποία οι σταθμοί βάσης είναι τοποθετημένοι στα κέντρα των κυψελών και έχουν ιστροπικές κεραίες. Ο εκθέτης απωλειών διαδρομής είναι $n = 4$ και υποτίθεται ότι παρεμβάλλει μόνο η πρώτη σειρά ομοδιαυλικών κυψελών. Μελετάται η εφαρμογή δύο συστημάτων στην υπόψη διάταξη κυψελών. Το ένα σύστημα δεν διαθέτει κωδικοποίηση για τη διόρθωση λαθών, ενώ το άλλο διαθέτει. Το σύστημα με την κωδικοποίηση απαιτεί εύρος ζώνης 1.5 φορές μεγαλύτερο ανά δίαυλο, όμως το κέρδος κωδικοποίησης του χρησιμοποιούμενου κώδικα είναι 6dB (δηλ. μπορεί το σύστημα να αντιμετωπίσει S/I χαμηλότερο κατά 6dB). Αν το διατιθέμενο εύρος ζώνης είναι το ίδιο και για τα δύο συστήματα, ποιο κάνει καλύτερη χρήση του ασύρματου φάσματος, δηλαδή, παρέχει περισσότερους διαύλους ανά κυψέλη;

[Απάντηση: Το σύστημα με κωδικοποίηση παρέχει 1.3 φορές περισσότερους διαύλους ανά κυψέλη]

- 4.21 Στο κυψελωτό σύστημα του Σχ. 6, επτά κινητά τερματικά (ένα τερματικό στην κεντρική κυψέλη 4 και άλλα έξι στις ομοδιαυλικές κυψέλες της 4) χρησιμοποιούν ταυτόχρονα τον ίδιο δίαυλο. Λόγω βλάβης στον μηχανισμό διαπομπής το κινητό της κεντρικής κυψέλης 4 εισέρχεται στην 3 χωρίς να γίνει διαπομπή, ενώ η ισχύς εκπομπής του αυξάνει χωρίς έλεγχο καθώς τούτο απομακρύνεται από τον σταθμό βάσης και συνεχίζει να παραμένει συνδεδεμένο σ' αυτόν, με αποτέλεσμα η ισχύς

εκπομπής του να είναι διπλάσια της ισχύος των υπολοίπων έξι ομοδιαυλικών τερματικών.



Σχήμα 6

Καθορίστε την παρεμβολή που προκαλεί το υπόψη τερματικό στα υπόλοιπα έξι, στη δυσμενέστερη περίπτωση (να ελεγχθούν τα τρία χειρότερα). Μπορείτε να προσεγγίσετε τις αποστάσεις των τερματικών από το παρεμβάλλον τερματικό, με τις αποστάσεις τους από το κέντρο της 3 στην οποία βρίσκεται το παρεμβάλλον τερματικό. Αν το κατώφλι λειτουργίας, όσο αφορά τον λόγο S/I , είναι 10 dB και ο εκθέτης απωλειών διαδρομής $n = 4$, σε ποια απόσταση του πρέπει να πλησιάσει το παρεμβάλλον τερματικό τον αντίστοιχο σταθμό βάσης για να διακοπεί η λειτουργία του πλησιέστερα ευρισκόμενου από τα έξι τερματικά;

[Απάντηση: $SIR_1 = 6.5 \text{ dB}$, $SIR_{2,3} = 16 \text{ dB}$, $x = 2.11R$]

- 4.22 Θεωρούμε δύο ομοδιαυλικούς σταθμούς βάσης A και B που απέχουν μεταξύ τους απόσταση D . Κινητό τερματικό m_1 που εξυπηρετείται από τον A απέχει από αυτόν απόσταση d , ενώ ένα άλλο m_2 που εξυπηρετείται από τον B βρίσκεται κοντά σ' αυτόν. Και τα δύο τερματικά βρίσκονται μέσα σε σπίτια. Η κεραία του σταθμού βάσης έχει 6dB μεγαλύτερο κέρδος από εκείνο του κινητού τερματικού, ενώ η εκπεμπόμενη ισχύς από τους σταθμούς βάσης είναι 6dB μεγαλύτερη από εκείνη των κινητών τερματικών.

Ο συντελεστής απωλειών διαδρομής είναι $n = 4$. Η μέση τιμή της ισχύος έχει λογαριθμική-κανονική κατανομή με τυπική απόκλιση $\sigma = 10 \text{ dB}$. Κινητό τερματικό που βρίσκεται μέσα σε σπίτι αντιμετωπίζει επιπλέον εξασθένιση 6dB. Για παρασχεθεί παραδεκτή ποιότητα υπηρεσίας, απαιτείται η μέση στάθμη του σήματος να είναι κατά 16 dB μεγαλύτερη από τη μέση τιμή των παρεμβολών. Το σύστημα χρησιμοποιεί αμφιδρόμηση χρόνου (TDD).

Θεωρούμε τον λόγο της μέσης τιμής του σήματος προς τη μέση τιμή της παρεμβολής στον σταθμό βάσης A. Πρέπει να βρεθεί η μέγιστη απόσταση d που πρέπει ένα τερματικό να απέχει από τον A, ώστε ο δέκτης του A να λαμβάνει $S/I \geq 16 \text{ dB}$ με πιθανότητα 90%. Δίνεται ότι: $Q(1.28) = 0.1$.

- (α) Θεωρήστε ότι υπάρχει τέτοιος συγχρονισμός, ώστε τα τερματικά α και β μεταδίδουν την ίδια χρονοσχισμή. Ποια είναι η μέγιστη απόσταση d συναρτήσει του D ;
- (β) Θεωρήστε ότι ο χρονισμός είναι τέτοιος, ώστε το τερματικό α και ο σταθμός βάσης B μεταδίδουν την ίδια χρονοσχισμή. Ποια είναι η μέγιστη απόσταση d συναρτήσει του D ;
- (γ) Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των (α) και (β), προτείνεται λύση για τον χρονισμό.

[Απάντηση: (α) $d = 0.14D$, (β) $d' = 0.05D$, (γ) ο συγχρονισμός πρέπει να είναι τέτοιος, ώστε όλοι οι σταθμοί βάσης να λαμβάνουν ή να εκπέμπουν ταυτόχρονα.]

- 4.23 Θεωρούμε δύο ομοδιαυλικούς σταθμούς βάσης A και B που απέχουν μεταξύ τους απόσταση D . Κινητό τερματικό m_1 που εξυπηρετείται από τον A απέχει απόσταση d από τον A, ενώ ένα άλλο m_2 που εξυπηρετείται από τον B βρίσκεται κοντά στον B. Και τα δύο τερματικά βρίσκονται μέσα σε σπίτια. Τα ύψη των κεραιών των σταθμών βάσης είναι 10 m και των κινητών 2 m. Η κεραία του σταθμού βάσης έχει 6dB μεγαλύτερο κέρδος από εκείνο του κινητού τερματικού, ενώ η εκπεμπόμενη ισχύς από τους σταθμούς βάσης είναι 6dB μεγαλύτερη από εκείνη των κινητών τερματικών.

Ο συντελεστής απωλειών διαδρομής είναι $n = 3$ και υπάρχει επιπλέον συνιστώσα εξαρτώμενη από το H^2 , όπου H είναι ο λόγος των υψών των κεραιών. Η μέση τιμή της ισχύος έχει λογαριθμική-κανονική κατανομή με τυπική απόκλιση $\sigma = 7$ dB. Κινητό τερματικό που βρίσκεται μέσα σε σπίτι αντιμετωπίζει επιπλέον εξασθένιση 6dB. Για παρασχεθεί παραδεκτή ποιότητα υπηρεσίας, απαιτείται η μέση στάθμη του σήματος να είναι κατά 16 dB μεγαλύτερη από τη μέση τιμή των παρεμβολών. Το σύστημα χρησιμοποιεί αμφιδρόμηση χρόνου (TDD).

Θεωρούμε τον λόγο της μέσης τιμής του σήματος προς τη μέση τιμή της παρεμβολής στον σταθμό βάσης A. Πρέπει να βρεθεί η μέγιστη απόσταση d' που πρέπει ένα τερματικό να απέχει από τον A, ώστε ο δέκτης του A να λαμβάνει $S/I \geq 15$ dB με πιθανότητα 95%.

- (α) Αν υπάρχει τέτοιος συγχρονισμός, ώστε τα τερματικά m_1 και m_2 μεταδίδουν την ίδια χρονοσχισμή, ποια είναι η μέγιστη απόσταση d' συναρτήσει του D ;
 (β) Αν ο χρονισμός είναι τέτοιος, ώστε το τερματικό m_1 και ο σταθμός βάσης B μεταδίδουν την ίδια χρονοσχισμή. Ποια είναι η μέγιστη απόσταση d' συναρτήσει του D ;

Δίνεται ότι: $Q(1.64) = 0.05$.

[Απάντηση: (α) $d = 0.09 D$, (β) $d' = 7.8 \times 10^{-3} D$]

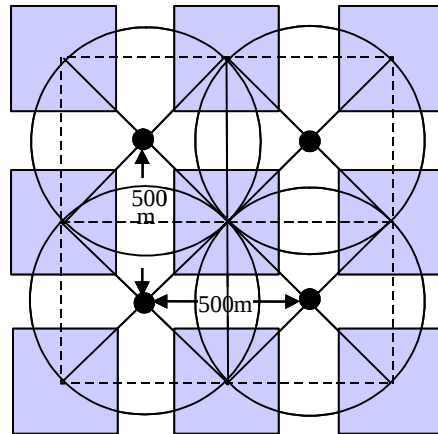
- 4.24 Κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών χρησιμοποιεί εξαγωνικές κυψέλες χωρισμένες σε τομείς των 60° . Λόγω του φαινομένου της σκίασης, η μέση τιμή της στάθμης ισχύος του σήματος ακολουθεί λογαριθμική-κανονική κατανομή με τυπική απόκλιση $\sigma = 8$ dB και απόλυτη μέση τιμή $\hat{s}$, η οποία μεταβάλλεται με την απόσταση με εκθέτη $n = 4$. Οι δέκτες που χρησιμοποιούνται από το σύστημα απαιτούν μέση τιμή σήματος μεγαλύτερη κατά 15 dB από τη μέση παρεμβολή. Ποιος είναι ο ελάχιστος απαιτούμενος συντελεστής επαναχρησιμοποίησης K , αν ο λόγος S/I πρέπει να παραμένει πάνω από τα 15 dB για το 95% των περιοχών στα όρια των κυψελών; Θεωρήστε το S/I μόνο στη ζεύξη καθόδου υποθέτοντας ότι παρεμβάλλει μόνο η πρώτη σειρά κυψελών. (Δίνεται ότι : $Q(1.645) = 0.05$).

[Απάντηση: $K = 13$]

- 4.25 Ψηφιακό σύστημα κινητών επικοινωνιών είναι εγκατεστημένο στην αστική περιοχή που φαίνεται στο Σχ. 7. Οι σταθμοί βάσης είναι τοποθετημένοι στις διασταυρώσεις των δρόμων και χρησιμοποιούν κεραιές με τέσσερις τομείς των 90° . Το διατιθέμενο συνολικό εύρος ζώνης στο σύστημα είναι $B_s = 25.6$ MHz, χρησιμοποιείται αμφιδρόμηση συχνότητας με ραδιοδιαύλους εύρους ζώνης $W = 200$ kHz, καθένας από τους οποίους υποστηρίζει 8 διαύλους χρήστη με διαίρεση χρόνου. Θεωρήστε ότι έχουμε περίπου τετραγωνικές κυψέλες και παρεμβάλλουν οι 4 πλησιέστερες ομοδιαυλικές κυψέλες.

Λόγω του φαινομένου της σκίασης, η μέση τιμή της στάθμης ισχύος του σήματος ακολουθεί λογαριθμική-κανονική κατανομή με τυπική απόκλιση $\sigma = 8$ dB και απόλυτη μέση τιμή $\hat{s}$, η οποία μεταβάλλεται με την απόσταση με εκθέτη $n = 4$. Οι δέκτες που χρησιμοποιούνται από το σύστημα απαιτούν μέση τιμή σήματος μεγαλύτερη κατά 12 dB από τη μέση παρεμβολή στη χειρότερη περίπτωση. Ποια είναι η απόδοση φάσματος, αν ο λόγος S/I πρέπει να παραμένει πάνω από τα 12 dB για το 95% των περιοχών στα όρια των κυψελών και $GOS = 0.02$; Θεωρήστε τον λόγο S/I μόνο στη ζεύξη καθόδου

υποθέτοντας ότι παρεμβάλλει μόνο η πρώτη σειρά κυψελών. Σε κάθε τομέα ο ένας δίαυλος χρήστη χρησιμοποιείται για σηματοδότηση. (Δίνεται ότι : $Q(1.645) = 0.05$).



Σχήμα 7

[Απάντηση: 3.6 erlang/MHz/km²]



ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΠΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Προβλήματα 5^{ου} Κεφαλαίου

- 5.1 Σε κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών με εξαγωνικές κυψέλες ακτίνας $R = 2$ km και συντελεστή επαναχρησιμοποίησης $K = 7$, πρόκειται να επιτραπεί ο δανεισμός διαύλων μεταξύ γειτονικών κυψελών. Ο συνολικός αριθμός διαύλων του συστήματος είναι 660, η πυκνότητα χρηστών είναι ομοιόμορφη και ίση με $\rho = 75$ χρήστες / km², ο μέσος όρος κλήσεων ανά χρήστη $\lambda = 2$ κλήσεις την ώρα και η μέση διάρκεια κλήσεων 3 min. Για να μη χειροτερέψει ο λόγος σήματος προς παρεμβολή κατά τον δανεισμό, οι δίαυλοι που εκχωρούνται με δανεισμό θα χρησιμοποιούνται μόνο σε μικροκυψέλες ομόκεντρες κάθε κυψέλης, ακτίνας R_1 .
- (α) Να καθοριστεί η ακτίνα των μικροκυψελών, ώστε να διατηρείται ο ίδιος συντελεστής μείωσης της ομοδιαυλικής παρεμβολής και μετά τον δανεισμό.
 - (β) Πόσοι δίαυλοι πρέπει να εκχωρηθούν στο εξωτερικό τμήμα της κυψέλης, ώστε να διατηρηθεί ο ίδιος GOS;
 - (γ) Πόσοι δίαυλοι πρέπει να χορηγούνται με δανεισμό την ώρα αιχμής στο εσωτερικό τμήμα της κυψέλης, ώστε τούτο να έχει την ώρα αιχμής τον ίδιο βαθμό εξυπηρέτησης με το εξωτερικό τμήμα;

Σε κάθε κυψέλη ή μικροκυψέλη, ένας από τους διαύλους είναι δίαυλος ελέγχου.

[Απάντηση: (α) $R_1 = 1.31$ km, (β) 59 δίαυλοι, (γ) 11 δίαυλοι].

- 5.2 Σε κυψελωτό σύστημα με συντελεστή επαναχρησιμοποίησης $K = 7$, 60 διαύλους ανά κυψέλη και $GOS = 2\%$ αποφασίζεται ο δανεισμός διαύλων από γειτονικές κυψέλες για την αντιμετώπιση συμφόρησης όποτε χρειαστεί. Επειδή αυξάνει πολύ ο λόγος σήματος προς παρεμβολή, αποφασίζεται ο χωρισμός των κυψελών σε τομείς 120° και ο δανεισμός μόνο μεταξύ τομέων του ίδιου προσανατολισμού.
- (α) Πόσο βελτιώνεται η παρεμβολή, στη χειρότερη περίπτωση, στις κυψέλες που χρησιμοποιούν δανεικούς διαύλους και πόσο χειροτερεύει ο GOS στις υπόλοιπες κυψέλες, αν η προσφερόμενη κίνηση παραμένει ίδια;
 - (β) Ποιος είναι ο απαιτούμενος αριθμός διαύλων ανά κυψέλη με τη νέα διάταξη, ώστε να έχουμε τον ίδιο GOS;

Να ληφθεί υπόψη ότι σε κάθε κυψέλη ή τομέα κυψέλης, ο ένας από τους διαύλους είναι δίαυλος ελέγχου. Επίσης, θεωρείστε ότι $n = 4$ και ότι παρεμβάλλει μόνο η πρώτη σειρά ομοδιαυλικών κυψελών.

[Απάντηση: (α) S/I : 13.53 dB $\rightarrow$ 26.76 dB, GOS: 2% $\rightarrow$ 9%, (β) 75 δίαυλοι]

- 5.3 Σε κυψελωτό σύστημα με εξαγωνικές κυψέλες εφαρμόζεται αποκεντρωμένη δυναμική κατανομή διαύλων. Δίαυλος που χρησιμοποιείται σε κάποια κυψέλη δεν μπορεί να χρησιμοποιείται σε περιοχή που καλύπτεται από N ομόκεντρους δακτύλιους κυψελών γύρω από την υπόψη κυψέλη. Βρείτε την ελάχιστη και τη μέγιστη πυκνότητα κορεσμού ενός διαύλου.

[Απάντηση: $C_{\min} = 3/[1+6N(2N+1)]$, $C_{\max} = 3/[1+3(N+1)^2]$ ή $C_{\max} = 4/[3(N+1)^2]$]

- 5.4 Να υπολογιστεί το κέρδος επεξεργασίας (κέρδος εξάπλωσης) συστήματος DS/CDMA, το οποίο έχει ρυθμό chip 10 Mcps και τα σήματα πληροφορίας έχουν ρυθμό bit 4.8 kbps. Πόσο βελτιώνεται το κέρδος επεξεργασίας αν ο ρυθμός chip γίνει 50 Mcps; Υπάρχει πλεονέκτημα κατά τη μετάβαση σε υψηλότερους ρυθμούς chip, όταν ο ρυθμός bit των σημάτων πληροφορίας παραμένει 4.8 kbps;

[Απάντηση: Για 10 Mcps: $G_s=33.2$ dB, για 50 Mcps έχουμε μόνο 7 dB βελτίωση]

- 5.5 Διατίθενται 25 MHz ανά κατεύθυνση σε σύστημα CDMA, στο οποίο κάθε ραδιοδίαυλος έχει εύρος 1.25 MHz ανά κατεύθυνση. Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων από τους χρήστες είναι $R_b = 9.6$ kbps. Αν ο ελάχιστος αποδεκτός λόγος $E_b/N_0 = 6$ dB, να καθοριστεί η χωρητικότητα του συστήματος όταν:

- (α) χρησιμοποιούνται ιστροπικές κεραιές και δεν υπάρχει ανίχνευση ενεργότητας φωνής
- (β) οι σταθμοί βάσης έχουν κεραιές με τρεις τομείς και χρησιμοποιείται ανίχνευση ενεργότητας φωνής με $\kappa = 3/8$.

Η στάθμη του λαμβανόμενου σήματος είναι 10 pW και η φασματική πυκνότητα θορύβου 10^{-5} pW/Hz. Αγνοήστε την επίδραση της παρεμβολής από άλλες κυψέλες.

[Απάντηση : (α) 640 χρήστες/κυψέλη, (β) 5080 χρήστες/κυψέλη]

- 5.6 Το κέρδος εξάπλωσης στο σύστημα WCDMA είναι 512.

- (α) Πόσοι χρήστες με συντελεστή ενεργότητας φωνής $\kappa = 0.4$ μπορεί να συνυπάρχουν σε σύστημα με μία κυψέλη, όταν η επαρκής επίδοση απαιτεί λόγον σήματος προς παρεμβολή ίσον με 3 dB; Θεωρούμε τη ζεύξη ανόδου και όλοι οι χρήστες λαμβάνονται από τον σταθμό βάσης με την ίδια στάθμη.
- (β) Ο αυτόματος έλεγχος ισχύος δεν λειτουργεί για κάποιον χρήστη, ο οποίος κινούμενος προς τον σταθμό βάσης συνεχίζει να μεταδίδει με την ισχύ που αντιστοιχεί στα όρια της κυψέλης. Πόσο κοντά στον σταθμό βάσης μπορεί να πλησιάσει ο υπόψη χρήστης χωρίς να περιορίσει περισσότερο από το μισό τον αριθμό των ταυτόχρονα εξυπηρετούμενων χρηστών που υπολογίστηκε στο ερώτημα (α); Ο εκθέτης απωλειών διαδρομής $n = 3.5$ και αμελούνται η σκίαση και οι βραχύχρονες διαλείψεις.

[Απάντηση : (α) 641 χρήστες/κυψέλη, (β) $r/R = 0.192$]



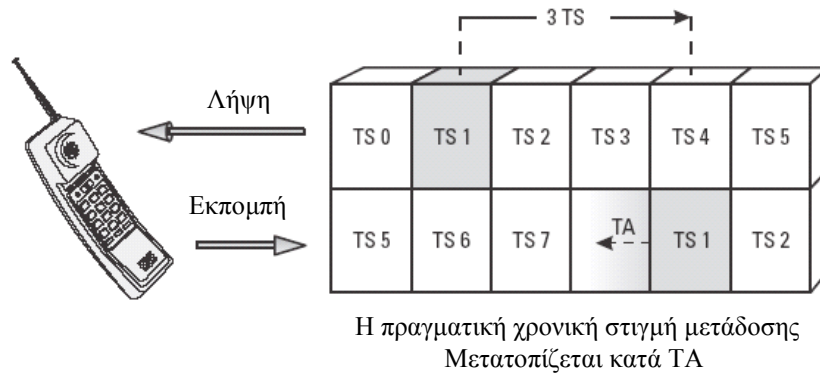
ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΠΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Προβλήματα Κεφαλαίου 6

- 6.1 Σύστημα κινητών επικοινωνιών GSM εξυπηρετεί περιοχή με 4 κυψέλες και κάθε σταθμός βάσης χρησιμοποιεί τρεις ραδιοδιαύλους. Ένας από τους 24 διαύλους κάθε κυψέλης χρησιμοποιείται για σηματοδосία. Η διάταξη αυτή εξυπηρετεί την ομοιόμορφη κατανομή της κίνησης με βαθμό εξυπηρέτησης $GOS = 1\%$. Η κίνηση, όμως, στις κυψέλες παρουσιάζει διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας, δεδομένου ότι υπάρχουν αρκετά σημεία υψηλής συγκέντρωσης (high spots) στην περιοχή. Το πρόβλημα του δανεισμού διαύλων λόγω της συχνότητας των μεταβολών δεν είναι αποτελεσματικό και ο κάτοχος του δικτύου θέλει να λύσει το πρόβλημα. Δεν διαθέτει άλλες συχνότητες και έχει επιτευχθεί ήδη ο μικρότερος συντελεστής επαναχρησιμοποίησης.
- (α) Υποδείξτε την οικονομικότερη λύση που θα εξασφαλίζει τη μέση κίνηση σε κάθε κυψέλη και ταυτόχρονα θα παρέχει τη δυνατότητα κάλυψης των διακυμάνσεων του φορτίου στις κυψέλες. Λάβετε υπόψη ότι οι πομποδέκτες των σταθμών βάσης μπορούν να υποστηρίξουν το πολύ οκτώ ραδιοδιαύλους.
- (β) Με τη λύση που προτείνετε, πόση αύξηση φορτίου ανά κυψέλη μπορεί να καλυφθεί;
- [Απάντηση: (α) Εγκατάσταση μακροκυψέλης που χρησιμοποιεί 2 ραδιοδιαύλους από κάθε μικροκυψέλη, (β) 256%].**
- 6.2 Κυψελωτό σύστημα διαθέτει συνολικά $N_c = 100$ κυψέλες, φάσμα $B_s = 14.8$ MHz και χρησιμοποιεί αμφίδρομους ραδιοδιαύλους εύρους ζώνης $w = 200$ kHz ανά κατεύθυνση. Σε κάθε ραδιοδιάυλο πολυπλέκονται χρονικά 8 διαύλοι. Ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης των ραδιοδιαύλων είναι $K = 7$.
- (α) Να βρεθεί ο μέγιστος αριθμός των κινητών τερματικών που μπορεί να εξυπηρετούνται ταυτόχρονα από το σύστημα, αν σε κάθε κυψέλη δύο από τους διαύλους δεσμεύονται για σηματοδосία.
- (β) Για την επέκταση του δικτύου, αποφασίζεται να χρησιμοποιηθεί επιμερισμός της επαναχρησιμοποίησης, όπου οι εσωτερικές κυψέλες θα έχουν συντελεστή επαναχρησιμοποίησης $K = 3$. Βρείτε τον αριθμό των διαύλων που θα χρησιμοποιηθούν σε κάθε κυψέλη, ώστε να διατηρηθεί μια ομοιόμορφη πυκνότητα κίνησης σε όλη την περιοχή κάλυψης του συστήματος.
- (γ) Ποια είναι η απάντηση στο ερώτημα (α) με τη νέα διάταξη;
- [Απάντηση: (α) 3800 ΜΤ, (β) 3×3 και 7×4, (γ) 5200 χρήστες].**
- 6.3 Ποιες τρεις κύριες λειτουργίες πρέπει να υπάρχουν επιπλέον στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών σε σχέση με τα ενσύρματα δίκτυα και γιατί;
- [Απάντηση: Λειτουργίες διαχείρισης κινητικότητας, διαχείριση ασύρματων πόρων, ασφάλειας].**
- 6.4 Το TDMA δίκτυο GSM χρειάζεται συγχρονισμό μεταξύ του σταθμού βάσης και των κινητών τερματικών. Ο συγχρονισμός απαιτεί το σήμα στη ζεύξη ανόδου να φτάνει στον σταθμό βάσης μετά από 3 χρονοσχισμές, σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα. Για να επιτευχθεί αυτός ο συγχρονισμός για πληθώρα αποστάσεων, το κινητό τερματικό ολισθαί-

νει την εκπομπή του κατά αέρας πολλαπλάσια της διάρκειας μετάδοσης του bit. Η τιμή αυτή είναι γνωστή ως Time Advance (TA) με διαθέσιμες τιμές από 0 -63 και αφορά τον χρόνο μετάβασης και επιστροφής του σήματος από τον σταθμό βάσης μέχρι το κινητό τερματικό. Βρείτε ποια είναι η τιμή του TA που πρέπει να χρησιμοποιήσει ένα κινητό τερματικό που βρίσκεται σε απόσταση 10 Km από τον σταθμό βάσης.

Ο ρυθμός μετάδοσης στον ραδιοδιάλογο είναι 270.8333 kbps.



[Απάντηση:].

- 6.5 Αναφέρατε περιπτώσεις όπου μεταφέρεται πληροφορία ελέγχου από και προς ένα κινητό τηλέφωνο που λειτουργεί σε κυψελωτό σύστημα, ενώ δεν απαιτείται να γίνεται κάτι τέτοιο στο σταθερό τηλεφωνικό σύστημα. Γιατί τα κυψελωτά συστήματα έχουν χωριστούς διαύλους ελέγχου και κίνησης;
- 6.6 Γιατί μερικές φορές ένα σύστημα κινητών και προσωπικών επικοινωνιών απορρίπτει την εξυπηρέτηση προς τερματικό που επιχειρεί να εγκαταστήσει μια κλήση; Αναφέρετε μερικά κριτήρια σύμφωνα με τα οποία το δίκτυο επιτρέπει στο τερματικό να αρχίσει μια κλήση.
- 6.7 Αν επρόκειτο να εγκαταστήσετε ένα σύστημα κινητών επικοινωνιών ως πάροχος, ποια είναι κατά τη γνώμη σας τα στοιχεία που θα βαρύνουν περισσότερο την άποψή σας για την επιλογή του συστήματος που θα εγκαταστήσετε;
- 6.8 Κυψελωτό σύστημα GSM διαθέτει φάσμα $B_s = 18.8$ MHz και καλύπτει την περιοχή εξυπηρέτησης με 96 κυψέλες. Ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης των ραδιοδιαύλων είναι $K = 7$. Προκειμένου να αυξηθεί η χωρητικότητα του συστήματος υπάρχει το ενδεχόμενο να χρησιμοποιηθεί επιμερισμός επαναχρησιμοποίησης όπου οι εσωτερικές κυψέλες θα έχουν συντελεστή επαναχρησιμοποίησης $K = 3$, ή μικροκυψέλες με τις κεραίες στα άκρα τους.
 - (α) Να βρεθεί ο μέγιστος αριθμός των κινητών τερματικών που μπορεί να εξυπηρετούνται ταυτόχρονα από το σύστημα με την κάθε λύση, ώστε να διατηρηθεί ομοιόμορφη πυκνότητα κίνησης. Σε κάθε κυψέλη δύο από τους διαύλους χρήστη δεσμεύονται για σηματοδότηση.
 - (β) Ποια η σχέση του ρυθμού των διαπομπών για κάθε προτεινόμενη λύση, σε σύγκριση με το αρχικό σύστημα, για την ίδια πυκνότητα χρηστών και την ίδια μέση ταχύτητα;

[Απάντηση: (α) 6528 και 8256, (β) μεγαλύτερος ρυθμός στον επιμερισμό επαναχρησιμοποίησης, ίδιος ρυθμός με τις μικροκυψέλες].

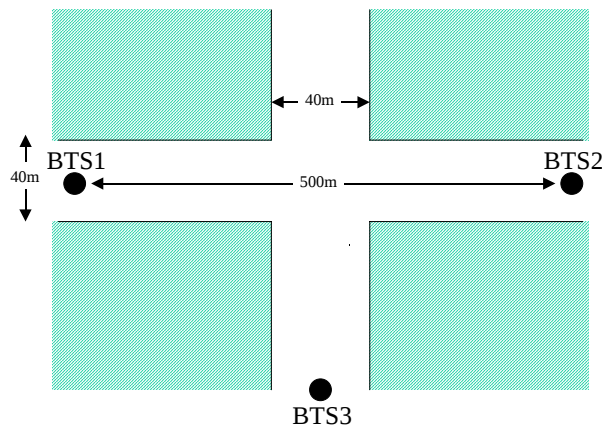
- 6.9 Πώς επηρεάζει η τιμή του εκθέτη απωλειών διαδρομής η τα χαρακτηριστικά ενός κυψελωτού συστήματος κινητών επικοινωνιών; Πότε ένα σύστημα ευνοείται από την υψηλή τιμή του n ; Πότε η χαμηλή τιμή του εκθέτη είναι χρήσιμη;
- 6.10 Απαριθμήστε τεχνικές που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την αύξηση του αριθμού των χρηστών σε συστήματα κινητών επικοινωνιών, όταν το διατιθέμενο φάσμα συχνοτήτων είναι σταθερό (δηλ. αύξηση της φασματικής απόδοσης).
- 6.11 Η προσφερόμενη κίνηση σε κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών μπορεί να καθοριστεί από τη μέση διάρκεια κλήσεων H και τον ρυθμό κλήσεων λ . Οι ποσότητες H και λ περιγράφουν αρκετά καλά την προσφερόμενη κίνηση σε μια κυψέλη, αν υποτεθεί ότι τα κινητά τερματικά δεν διασχίζουν τα όρια της κυψέλης. Περιγράψτε την επίδραση της διέλευσης των κινητών τερματικών από τα όρια της κυψέλης τόσο στη μέση διάρκεια των κλήσεων όσο και στον ρυθμό κλήσεων.



ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΠΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Προβλήματα 8^{ου} Κεφαλαίου

- Αυτοκινητόδρομος ταχείας κυκλοφορίας (90 km/h) διέρχεται από το κέντρο μεγάλης πόλης. Αν η μέση διάρκεια των κλήσεων είναι 3 min, πόσες διαπομπές ανά κλήση κατά μέσον όρο κάνουν τα κινητά τερματικά που κινούνται στον αυτοκινητόδρομο
(α) Αν το κυψελωτό σύστημα έχει κυψέλες ακτίνας 12 km με ισοτροπικές κεραίες;
(β) Αν οι κυψέλες έχουν ακτίνα 1.5 km είναι χωρισμένες σε τρεις τομείς;
[Απάντηση : (α) 0.19 διαπομπές, (β) 3 διαπομπές].
- Σε σύστημα κινητών επικοινωνιών που εξυπηρετεί το κέντρο μιας μεγαλούπολης, η διάταξη των σταθμών βάσης είναι όπως στο Σχ. 1. Η απόφαση για διαπομπή βασίζεται στη στάθμη του σήματος T (σε dBm), που λαμβάνεται από το τερματικό και η διαπομπή εκτελείται σύμφωνα με τον παρακάτω αλγόριθμο: Αν $T \leq T_1$ dBm, το σύστημα προσπαθεί να κάνει διαπομπή σε σταθμό βάσης, για τον οποίο η στάθμη του λαμβανόμενου σήματος από το κινητό είναι μεγαλύτερη της τρέχουσας κατά H dB. Αν $T \leq T_2$ dBm, το σύστημα διαπέμπει την κλήση σε οποιονδήποτε σταθμό βάσης παρέχει στο κινητό τερματικό στάθμη $> T$. Δίδεται επίσης ότι η στάθμη λήψης σε απόσταση 1.5 m από τον σταθμό βάσης είναι -10 dBm, ο εκθέτης απωλειών διαδρομής $n = 4$ και αμελείται η σκίαση.



Σχήμα 1

Να προσδιοριστούν τα T_1 , H και T_2 , ώστε αφενός για τα κινητά που κινούνται προς τον BTS2 να μη γίνεται άσκοπη διαπομπή στον BTS3, αφετέρου, για τα κινητά που στρίβουν στη γωνία και κατευθύνονται προς τον BTS3, να μη γίνεται διακοπή κλήσης μέχρι και ταχύτητα 50 km/h.

Σημειώστε ότι, λόγω του φαινομένου γωνίας δρόμου, η στάθμη λήψεως από τον BTS1 μειώνεται με ρυθμό 0.15 dB/m, ο απαιτούμενος χρόνος προετοιμασίας διαπομπής είναι 1 sec και η ευαισθησία του δέκτη του κινητού τερματικού είναι -103 dBm.

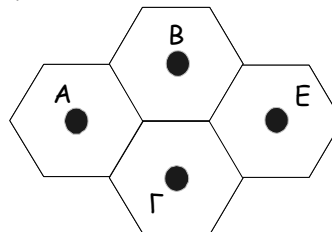
[Απάντηση : $T_1 = -97.4$ dBm, $H = 2.8$ dB, $T_2 = -100.9$ dBm].

3. Σε κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών με εξαγωνικές κυψέλες που λειτουργεί στα 1800 MHz, η ακτίνα των κυψελών είναι $R = 1.2$ km, η ισχύς εκπομπής των σταθμών βάσης $P_t = 741$ mW, ο εκθέτης απωλειών διαδρομής $n = 3.5$ και η απόσταση για την οποία ισχύει διάδοση οπτικής επαφής $d_0 = 100$ m. Αμελείται η σκίαση.

Η ευαισθησία δεκτών είναι -100 dBm, και είναι επιθυμητό να μην έχουμε περισσότερες από 60 υπερβάσεις της ανωτέρω στάθμης ανά sec στα όρια των κυψελών, για μέση ταχύτητα κινητών τερματικών $v = 45$ km/h. Ο αλγόριθμος διαπομπής που χρησιμοποιείται στο σύστημα βασίζεται στη στάθμη του σήματος T (σε dBm) που λαμβάνεται από το τερματικό. Αν $T \leq T_1$ dBm, το σύστημα προσπαθεί να κάνει διαπομπή σε σταθμό βάσης, για τον οποίο η στάθμη του λαμβανόμενου σήματος από το κινητό είναι μεγαλύτερη κατά H dB. Αν T_1 είναι η μέση στάθμη στα όρια της κυψέλης και είναι επιθυμητή η μέγιστη δυνατή διεύθυνση στην άλλη κυψέλη χωρίς να παραβιάζεται η συνθήκη που αφορά τις υπερβάσεις στάθμης, ποιο κατώφλι H πρέπει να τεθεί; Πραγματοποιήστε τους υπολογισμούς στην ευθεία που ενώνει τα κέντρα δύο κυψελών.

[Απάντηση : $H = 7.76$ dB]

4. Στο κυψελωτό σύστημα του Σχ. 2, οι κυψέλες έχουν ακτίνα $R = 5$ km και ο εκθέτης απωλειών διαδρομής είναι $n = 4$.



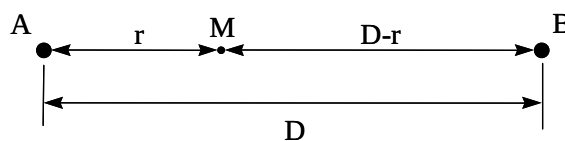
Σχήμα 2

Η απόφαση για διαπομπή βασίζεται στη στάθμη του σήματος T (σε dBm), που λαμβάνεται από το τερματικό και η διαπομπή εκτελείται σύμφωνα με τον παρακάτω αλγόριθμο: Αν $T \leq T_1$ dBm, το σύστημα προσπαθεί να κάνει διαπομπή σε σταθμό βάσης, για τον οποίο η στάθμη του λαμβανόμενου σήματος από το κινητό είναι $T \geq T_2$ dBm. Αν $T \leq T_3$ dBm, το σύστημα διαπέμπει την κλήση σε οποιονδήποτε σταθμό βάσης παρέχει στο κινητό τερματικό στάθμη $> T$.

Κατά μήκος της ευθείας που ενώνει τους σταθμούς βάσης A και E διέρχεται αυτοκινητόδρομος ταχείας κυκλοφορίας και θεωρείται σκόπιμο να αποφεύγονται οι διαπομπές προς τις κυψέλες B και Γ από τα κινητά που κινούνται στον αυτοκινητόδρομο. Να προσδιοριστούν οι στάθμες T_1 , T_2 και T_3 για τις οποίες επιτυγχάνεται η ανωτέρω συνθήκη, λαμβάνοντας υπόψη ότι η στάθμη λήψης σε απόσταση 3 km από τον σταθμό βάσης A είναι -80 dBm και η ελάχιστη στάθμη λειτουργίας του κινητού είναι -103 dBm. Αμελείται η σκίαση.

[Απάντηση : $T_1 = -88.8$ dBm, $T_2 = -86$ dBm και $T_3 = -101$ dBm]

5. Υποθέστε ότι ένα κινητό τερματικό κινείται κατά μήκος ευθείας διαδρομής από τον σταθμό βάσης A προς τον B, όπως φαίνεται στο Σχ. 3. Η απόσταση μεταξύ των σταθμών βάσης είναι D και το κινητό απέχει r από τον A. Αγνοήστε το φαινόμενο των διαλείψεων και υποθέστε ότι τα λαμβανόμενα σήματα από τους δύο σταθμούς βάσης εμφανίζουν, ανεξάρτητα μεταξύ τους, σκίαση με λογαριθμική-κανονική κατανομή μηδενικής μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης σ (dB). Η απόσταση αναφοράς για την οποία ισχύει διάδοση οπτικής επαφής είναι d_0 και ο δείκτης απωλειών διαδρομής είναι n .



Σχήμα 3

- Διαπομπή από τον σταθμό βάσης A στον B ή αντίστροφα δεν συμβαίνει ποτέ, όταν $|P_{rA}(dB) - P_{rB}(dB)| < H$, αλλά μπορεί να συμβεί ή να μη συμβεί σε άλλη περίπτωση.
- Όταν το κινητό είναι συνδεδεμένο στον σταθμό βάσης A, θα γίνει διαπομπή από τον A στον B όταν $P_{rB}(dB) \geq P_{rA}(dB) + H$.
- (α) Γράψτε μια έκφραση για την πιθανότητα να μην γίνει ποτέ διαπομπή από τον A στον B ή αντίστροφα.
- (β) Δεδομένου ότι το κινητό είναι συνδεδεμένο στον A, ποια είναι η πιθανότητα να γίνει διαπομπή από τον A στον B;

[Απάντηση : (α) $Q\left(\frac{-H - \bar{P}_r}{\sqrt{2}\sigma}\right) - Q\left(\frac{H - \bar{P}_r}{\sqrt{2}\sigma}\right)$, (β) $Q\left(\frac{H + \bar{P}_r}{\sqrt{2}\sigma}\right)$]

6. Σε κυβελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών εκτελούνται διαπομπές με βάση τον λόγο S/I . Όταν ο υπόψη λόγος γίνει μικρότερος από ένα κατώφλι γ dB, γίνεται διαπομπή σε άλλον σταθμό βάσης για τον οποίο ο λόγος S/I είναι μεγαλύτερος από το κατώφλι. Επειδή λαμβάνεται υπόψη η σκίαση, η μέση στάθμη του λαμβανόμενου σήματος μπορεί να προσεγγισθεί με λογαριθμική-κανονική κατανομή με τυπική απόκλιση σ_1 , όπως επίσης και η μέση στάθμη των παρεμβολών με παρόμοια κατανομή αλλά με διαφορετική τυπική απόκλιση σ_2 . Η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος είναι S watt, της παρεμβολής I watt και τα μεγέθη S και I είναι ανεξάρτητα. Αν η απόλυτη μέση τιμή της στάθμης του σήματος και της στάθμης της παρεμβολής, μετρούμενες σε dB, είναι αντίστοιχα $\hat{S}$ και $\hat{I}$, να υπολογισθεί η πιθανότητα διαπομπής.

[Απάντηση: $p = 1 - Q\left(\frac{\gamma - (\hat{S} - \hat{I})}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}\right)$]

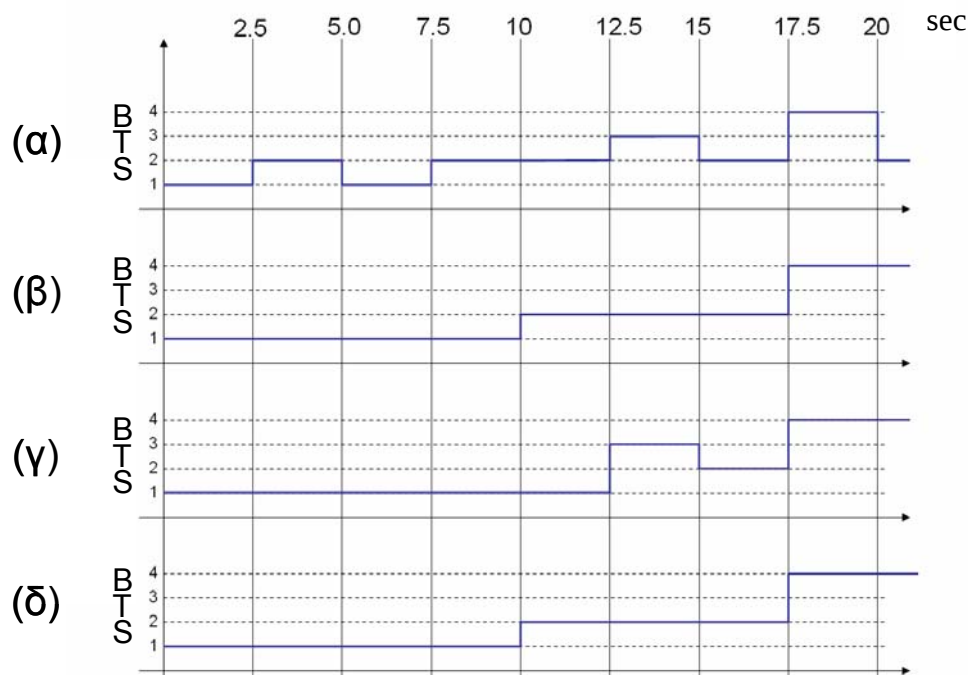
7. Ένα κινητό τερματικό λαμβάνει δείγματα των εκπεμπομένων σημάτων από τους σταθμούς βάσεις σε τακτά χρονικά διαστήματα. Οι χρονικές στιγμές και οι στάθμες ισχύος (σε dBm) των δειγμάτων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Χρόνοι (sec)	0	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20
BTS1	-47	-57	-52	-55	-60	-62	-60	-65	-64
BTS2	-59	-56	-55	-54	-52	-51	-49	-60.5	-52
BTS3	-70	-72	-75	-70	-58	-50	-60.5	-62	-75
BTS4	-72	-71	-65	-60	-55	-53	-50	-49	-56

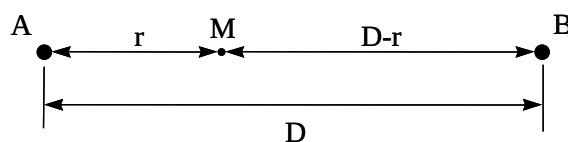
Υποθέστε ότι το κινητό τερματικό είναι αρχικά συνδεδεμένο στον σταθμό βάσης BTS1. Το κινητό τερματικό πραγματοποιεί διαπομπές συγκρίνοντας τις στάθμες των λαμβανόμενων σημάτων κάθε στιγμή δειγματοληψίας. Δείξτε σε ένα διάγραμμα τις μεταβάσεις σύνδεσης του κινητού τερματικού μεταξύ των σταθμών βάσης συναρτήσει του χρόνου, για κάθε έναν από τους παρακάτω αλγορίθμους. Αν κάποια συνθήκη ισχύει για περισσότερους από έναν σταθμούς βάσης, θεωρήστε ότι επιλέγεται ο σταθμός με το ισχυρότερο σήμα.

- (α) Στάθμη λήψης
- (β) Στάθμη λήψης και κατώφλι - 60 dBm
- (γ) Στάθμη λήψης και υστέρηση 10 dB
- (δ) Στάθμη λήψης και υστέρηση 5 dB και κατώφλι - 55 dBm.

[Απάντηση]



8. Κατά μήκος της ευθείας που ενώνει τους σταθμούς βάσης A και B (Σχ. 4) διέρχεται αυτοκινητόδρομος ταχείας κυκλοφορίας, όπου η γραμμική πυκνότητα των τερματικών είναι $\rho = 200$ τερματικά ανά km, η μέση ταχύτητά τους 90 km/h και το προσφερόμενο φορτίο ανά τερματικό $A_u = 0.1$ erlang. Η απόσταση μεταξύ των σταθμών βάσης είναι $D = 2$ km και τα λαμβανόμενα σήματα από τους δύο σταθμούς βάσης εμφανίζουν, ανεξάρτητα μεταξύ τους, σκίαση με λογαριθμική-κανονική κατανομή μηδενικής μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης $\sigma = 8$ dB. Ο δείκτης απωλειών διαδρομής είναι $n = 4$.



Σχήμα 4

Σε οποιοδήποτε σημείο της διαδρομής AB η στάθμη λήψης από τον σταθμό A είναι H dB μικρότερη ή ίση από εκείνη του B, γίνεται έναρξη της διαδικασίας διαπομπής από τον A στον B.

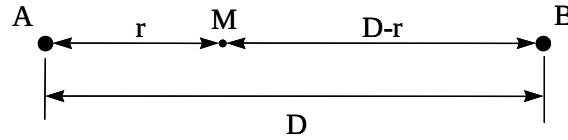
- (α) Να βρεθεί ο ρυθμός των διαπομπών σε απόσταση $r = 1.2$ km από τον σταθμό βάσης A.
- (β) Αν στην ανωτέρω απόσταση, η πιθανότητα να είναι η στάθμη του λαμβανόμενου σήματος από τον σταθμό A μικρότερη από την ελάχιστη επιτρεπτή είναι 0.05 και απαιτούνται 4 sec για να ολοκληρωθεί η διαπομπή, να βρεθεί πόσες από τις ανωτέρω διαπομπές απορρίπτονται από το γεγονός ότι η στάθμη λήψεως από τον σταθμό B είναι μικρότερη της ελάχιστης επιτρεπτής.

[Δίνεται: $Q(0.265) = 0.3955$, $Q(0.84) = 0.2$, $Q(0.666) = 0.252$].

[Απάντηση : (α) 1088 HO/h, (β) 274 HO/h απορρίπτονται]

9. Κατά μήκος της ευθείας που ενώνει τους σταθμούς βάσης A και B (Σχ. 5) διέρχεται αυτοκινητόδρομος ταχείας κυκλοφορίας, όπου η γραμμική πυκνότητα των τερματικών

ανά κατεύθυνση είναι $\rho = 200$ τερματικά ανά km, η μέση ταχύτητά τους 80 km/h και το προσφερόμενο φορτίο ανά τερματικό $A_u = 0.1$ erlang. Η απόσταση μεταξύ των σταθμών βάσης είναι $D = 2$ km και τα λαμβανόμενα σήματα από τους δύο σταθμούς βάσης εμφανίζουν, ανεξάρτητα μεταξύ τους, σκίαση με λογαριθμική-κανονική κατανομή μηδενικής μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης $\sigma = 8$ dB. Ο δείκτης απωλειών διαδρομής είναι $n =$



4.

Σχήμα 5

Σε οποιοδήποτε σημείο της διαδρομής AB η στάθμη λήψης από τον σταθμό A είναι H dB μικρότερη ή ίση από εκείνη του B, γίνεται έναρξη της διαδικασίας διαπομπής από τον A στον B.

Ο διαχειριστής του συστήματος διαπίστωσε ότι το 80% των τερματικών που διέρχονται από το μέσο της απόστασης μεταξύ των A και B και έχουν κλήση σε εξέλιξη περατώνουν την κλήση αφού διανύσουν απόσταση 200 μέτρων. Για τον σκοπό αυτό έθεσε τέτοια τιμή του H , ώστε η πιθανότητα διαπομπής κατά την διέλευση από το μέσο της απόστασης AB να είναι ίση με 0.1. Δεδομένου ότι οι κλήσεις των κινητών που δεν περατώνονται μέχρι τα 1200 m απορρίπτονται, να υπολογιστεί το ποσοστό των απορριπτόμενων κλήσεων;

[Δίνεται: $Q(1.28) = 0.1$, $Q(0.66) = 0.25$].

[Απάντηση : 4.5%]



ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΠΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Προβλήματα 9^{ου} Κεφαλαίου

1. Σε σύστημα κινητών επικοινωνιών πρόκειται να εισαχθεί η τεχνική των επικαλυπτόμενων περιοχών εντοπισμού, ώστε να περιοριστεί η αύξηση του φορτίου σηματοδοσίας λόγω κινήσεων ζιγκ-ζαγκ των χρηστών μεταξύ γειτονικών LA. Αναφέρατε τις αλλαγές που πρέπει να γίνουν στο σύστημα, συμπεριλαμβανομένων και των κινητών τερματικών, καθώς και τις επιπτώσεις των αλλαγών στις διαδικασίες διαχείρισης εντοπισμού.
2. Δίκτυο κινητών επικοινωνιών με 640 διαύλους καλύπτει τις ανάγκες επικοινωνίας σε αυτοκινητόδρομο. Οι σταθμοί βάσης απέχουν μεταξύ τους 5 km και, για λόγους ομοδιαυλικής παρεμβολής, οι ίδιες συχνότητες επαναλαμβάνονται κάθε 7 κυψέλες. Η πυκνότητα των κινούμενων χρηστών στον αυτοκινητόδρομο είναι 160 χρήστες / km, η μέση ταχύτητά τους 50 km/h, ενώ κάθε χρήστης πραγματοποιεί κατά μέσο όρο 2 κλήσεις / ώρα μέσης διάρκειας 3 min.

Κάθε κυψέλη εξυπηρετεί σταθερό φορτίο 50 erlang από εισερχόμενες και απερχόμενες κλήσεις των χρηστών που βρίσκονται σ' αυτήν καθώς και επιπρόσθετο φορτίο από τις διαπεμπόμενες κλήσεις. Για να μειωθεί το φορτίο από τις διαπομπές, αποφασίζεται να επαναλαμβάνονται οι ίδιες συχνότητες κάθε 8 κυψέλες και να επιτρέπεται η μετάβαση των συνδιαλεγόμενων χρηστών στη γειτονική κυψέλη χωρίς να γίνεται διαπομπή, αφού δεν καταστρατηγούνται οι απαιτήσεις της ομοδιαυλικής παρεμβολής. Οι διαύλοι βέβαια κάθε κυψέλης χωρίζονται σε δύο ίσες ομάδες, μία για κάθε κατεύθυνση. Να υπολογιστεί η πιθανότητα αποκλεισμού κλήσεων για τους δύο αυτούς τρόπους λειτουργίας του συστήματος.

Η πιθανότητα να περατωθεί μια κλήση σε γειτονική κυψέλη δίνεται από τη σχέση

$$p = \frac{t_{cross}}{t_{cross} + t_{call}}$$

όπου t_{cross} είναι ο μέσος χρόνος να διανύσει το ΜΤ τη γειτονική κυψέλη και t_{call} είναι η μέση διάρκεια των κλήσεων;

[Απάντηση : GOS: 7% → 2.5%]

3. Σύστημα κινητών επικοινωνιών εξυπηρετεί τετράγωνη περιοχή πλευράς μήκους L. Η πυκνότητα των χρηστών στην περιοχή εξυπηρέτησης είναι ομοιόμορφη και ίση με σ χρήστες ανά μονάδα επιφάνειας και οι σταθμοί βάσης είναι ομοιόμορφα διατεταγμένοι σε τετραγωνικό πλέγμα με πυκνότητα β ανά μονάδα επιφάνειας. Η περιοχή εξυπηρέτησης του συστήματος πρόκειται να χωριστεί σε ίσες τετραγωνικές περιοχές εντοπισμού πλευράς L/N . Οι χρήστες που διασχίζουν τα όρια μιας περιοχής εντοπισμού παράγουν κίνηση ενημέρωσης θέσης, ενώ οι χρήστες που δέχονται κλήσεις μέσα σε μια περιοχή εντοπισμού συνεισφέρουν στο φορτίο αναζήτησης αυτής της περιοχής εντοπισμού. Να βρεθεί ο αριθμός N^2 των περιοχών εντοπισμού, ώστε το συνδυασμένο κόστος αναζήτησης και ενημέρωσης θέσης να ελαχιστοποιείται καθώς και το ελάχιστο αυτό κόστος.

Θεωρούμε ότι οι χρήστες ακολουθούν τυχαία κατεύθυνση ομοιόμορφα κατανεμημένη και η μέση ταχύτητά τους είναι σταθερή και ίση με v προς όλες τις κατευθύνσεις. Το κόστος κάθε μηνύματος εντοπισμού είναι P και το κόστος κάθε μηνύματος ενημέρωσης

θέσης είναι R . Ο μέσος ρυθμός εισερχόμενων κλήσεων ανά χρήστη είναι λ και το προσφερόμενο φορτίο ανά χρήστη είναι A_u .

$$[\text{Απάντηση : } N = \sqrt[3]{\frac{\pi \lambda \beta P}{2 R v (1 - A_u)}} L, \quad C_{T \min} = 3 J \sigma L^2, \quad J = \sqrt[3]{\frac{4 \lambda \beta P R^2 v^2 (1 - A_u)}{\pi^2}}]$$

4. Σύστημα κινητών επικοινωνιών με εξαγωνικές κυψέλες ακτίνας $R = 2$ km εξυπηρετεί αστική περιοχή με ομοιόμορφη πυκνότητα χρηστών. Η περιοχή εξυπηρέτησης του συστήματος χωρίζεται σε ίσες περιοχές εντοπισμού αποτελούμενες από 7 κυψέλες. Οι χρήστες που διασχίζουν τα όρια μιας περιοχής εντοπισμού παράγουν κίνηση ενημέρωσης θέσης, ενώ οι χρήστες που δέχονται κλήσεις μέσα σε μια περιοχή εντοπισμού συνεισφέρουν στο φορτίο αναζήτησης αυτής της περιοχής εντοπισμού. Για να αποφεύγονται οι άσκοπες ενημερώσεις θέσης από κινητά που κινούνται κατά μήκος των ορίων των περιοχών εντοπισμού, μελετάται η χρησιμοποίηση επικαλυπτόμενων περιοχών επεκτείνοντας την επιφάνεια κάθε LA κατά μία κυψέλη καθ' όλο το μήκος της περιφέρειάς της και αναζητώντας τα κινητά τερματικά σε στην εκτεταμένη LA. Αν το κόστος κάθε μηνύματος ενημέρωσης θέσης είναι L και το κόστος κάθε μηνύματος εντοπισμού είναι P . Ποια πρέπει να είναι η σχέση τους ώστε να μην αυξάνει το συνδυασμένο κόστος εντοπισμού αναζήτησης;

Η πυκνότητα των χρηστών είναι $\sigma = 4500$ χρήστες / km² και θεωρούμε ότι οι χρήστες ακολουθούν τυχαία κατεύθυνση ομοιόμορφα κατανεμημένη με σταθερή μέση ταχύτητα $v = 10$ km/h προς όλες τις κατευθύνσεις. Το μέσο προσφερόμενο φορτίο ανά χρήστη είναι $A_u = 0.1$ erlang και η μέση διάρκεια κλήσεων $H = 2$ min. Θεωρούμε ότι όλα τα κινητά τερματικά είναι ενεργοποιημένα και ότι το ποσοστό των κλήσεων που καταλήγουν σε κινητά τερματικά είναι 70%. Η πιθανότητα να μην βγει το κινητό τερματικό από την εκτεταμένη LA είναι

$$p = \frac{\rho' - \rho}{\rho'}$$

όπου ρ η ακτίνα της αρχικής LA και ρ' η ακτίνα της εκτεταμένης LA.

$$[\text{Απάντηση : } L / P = 51.32]$$

5. Σύστημα κινητών επικοινωνιών με 798 εξαγωνικές κυψέλες ακτίνας $R = 2$ km εξυπηρετεί αστική περιοχή με ομοιόμορφη πυκνότητα χρηστών. Η περιοχή εξυπηρέτησης του συστήματος χωρίζεται σε ίσες περιοχές εντοπισμού αποτελούμενες από 7 κυψέλες. Οι χρήστες που διασχίζουν τα όρια μιας LA παράγουν κίνηση ενημέρωσης θέσης, ενώ οι χρήστες που δέχονται κλήσεις μέσα σε μια περιοχή εντοπισμού συνεισφέρουν στο φορτίο αναζήτησης αυτής της περιοχής εντοπισμού. Η πυκνότητα των χρηστών είναι $\sigma = 450$ χρήστες / km² και θεωρούμε ότι οι χρήστες ακολουθούν τυχαία κατεύθυνση ομοιόμορφα κατανεμημένη προς όλες τις κατευθύνσεις και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες όσο αφορά στη μέση ταχύτητά τους. Οι αργά μετακινούμενοι χρήστες αποτελούν το 70% του συνόλου και έχουν σταθερή μέση ταχύτητα $v_1 = 5$ km/h, ενώ οι ταχέως μετακινούμενοι χρήστες έχουν μέση ταχύτητα $v_2 = 30$ km/h. Το μέσο προσφερόμενο φορτίο ανά χρήστη είναι $A_u = 0.1$ erlang και η μέση διάρκεια κλήσεων $H = 2$ min. Θεωρούμε ότι όλα τα κινητά τερματικά είναι ενεργοποιημένα και ότι το ποσοστό των κλήσεων που καταλήγουν σε κινητά τερματικά είναι 70%.

Για να μειωθεί ο αριθμός των ενημερώσεων θέσης, μελετάται η χρησιμοποίηση περιοχών εντοπισμού με 19 κυψέλες για τους ταχέως μετακινούμενους χρήστες. Αν το κόστος κάθε μηνύματος ενημέρωσης θέσης είναι L και το κόστος κάθε μηνύματος εντοπισμού είναι P . Ποια πρέπει να είναι η σχέση τους ώστε να μην αυξάνει το συνδυασμένο κόστος εντοπισμού αναζήτησης;

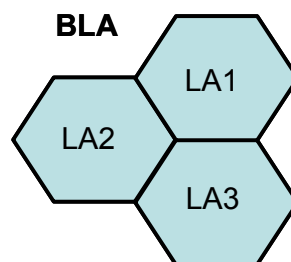
$$[\text{Απάντηση : } L / P = 17.1]$$

6. Κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών εξυπηρετεί με C κυψέλες αστική περιοχή με πυκνότητα χρηστών σ χρήστες/km², οι οποίοι κινούνται ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις με μέση ταχύτητα v km/h και λαμβάνουν κλήσεις με ρυθμό λ κλήσεις/h. Το σύστημα χρησιμοποιεί περιοχές εντοπισμού αποτελούμενες από M κυψέλες. Αποφασίζεται να χρησιμοποιηθεί ευφυής αναζήτηση στο σύστημα, σύμφωνα με τον εξής αλγόριθμο. Καταγράφεται από το δίκτυο η θέση του χρήστη (κινητού) σε κάθε κλήση που πραγματοποιεί αυτός και στην επόμενη εισερχόμενη κλήση πραγματοποιείται πρώτα αναζήτηση στην καταγραφείσα κυψέλη και στις 6 πλησιέστερες προς αυτήν κυψέλες και, αν δεν εντοπισθεί το κινητό, πραγματοποιείται στη συνέχεια αναζήτησή του σε όλη την περιοχή εντοπισμού. Η πιθανότητα να εντοπισθεί το κινητό στην πρώτη προσπάθεια είναι p . Να βρεθεί το μέγεθος N της περιοχής εντοπισμού (αριθμός κυψελών ανά LA) για το οποίο το μέσο φορτίο αναζήτησης παραμένει το ίδιο, είτε την εφαρμογή της ευφυούς αναζήτησης είτε με αναζήτηση σε όλη την περιοχή εντοπισμού.

Αν $N > M$, να βρεθεί πόσο θα μεταβληθεί το φορτίο ενημέρωσης θέσης με την χρησιμοποίηση των νέων περιοχών εντοπισμού, σε σχέση με το προηγούμενο.

[Απάντηση : $N = 7/p$, $LU1/LU2 = \sqrt{7/pM}$]

7. Σύστημα κινητών επικοινωνιών εξυπηρετεί αστική περιοχή με ομοιόμορφη πυκνότητα χρηστών με 126 κυψέλες ακτίνας $R = 2$ km. Η περιοχή εξυπηρέτησης του συστήματος χωρίζεται σε ίσες περιοχές εντοπισμού αποτελούμενες από 7 κυψέλες. Οι χρήστες που διασχίζουν τα όρια μιας περιοχής εντοπισμού παράγουν κίνηση ενημέρωσης θέσης, ενώ οι χρήστες που δέχονται κλήσεις μέσα σε μια περιοχή εντοπισμού συνεισφέρουν στο φορτίο αναζήτησης αυτής της περιοχής εντοπισμού. Για να μετριάσει το φορτίο σηματοδότησης από άσκοπες ενημερώσεις θέσης από κινητά που κινούνται κατά μήκος των ορίων των περιοχών εντοπισμού, μελετάται η χρησιμοποίηση μεγάλων περιοχών εντοπισμού (Big Location Areas, BLA) κάθε μια από τις οποίες αποτελείται από 3 LA με κοινές κορυφές, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Όταν το κινητό τερματικό εισέρχεται σε μια LA ελέγχει την ταυτότητα της LA και αν αυτή συμπίπτει με μια από τις τρεις ταυτότητες που είναι αποθηκευμένη στη μνήμη του δεν πραγματοποιεί ενημέρωση θέσης. Σε αντίθετη περίπτωση πραγματοποιεί ενημέρωση θέσης στη νέα LA και μέσω του HLR και στις άλλες δύο LA που απαρτίζουν τη νέα BLA. Σε περίπτωση εισερχόμενης κλήσης, γίνεται αναζήτηση σε δύο βήματα. Πρώτα στη LA μέσω της οποίας έγινε η τελευταία ενημέρωση θέσης και στη δεύτερη προσπάθεια στις υπόλοιπες δύο LA που απαρτίζουν την BLA. Η πιθανότητα να εντοπισθεί το κινητό τερματικό στην πρώτη προσπάθεια είναι 0.6. Αν το κόστος κάθε μηνύματος ενημέρωσης θέσης είναι L και το κόστος κάθε μηνύματος εντοπισμού είναι P . Ποια πρέπει να είναι η σχέση τους ώστε το συνδυασμένο κόστος εντοπισμού αναζήτησης να μην είναι μεγαλύτερο από εκείνο της κλασικής περίπτωσης;



Η πυκνότητα των χρηστών είναι $\sigma = 100$ χρήστες / km² και θεωρούμε ότι οι χρήστες ακολουθούν τυχαία κατεύθυνση ομοιόμορφα κατανεμημένη με σταθερή μέση ταχύτητα $v = 10$ km/h προς όλες τις κατευθύνσεις. Το μέσο προσφερόμενο φορτίο ανά χρήστη είναι $A_u = 0.1$ erlang και η μέση διάρκεια κλήσεων $H = 2$ min. Θεωρούμε ότι όλα τα κινητά τερματικά είναι ενεργοποιημένα και ότι το ποσοστό των κλήσεων που καταλήγουν σε κινητά τερματικά είναι 70%.

[Απάντηση : $L/P = 28.24$]

8. Σε κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών, χρησιμοποιείται χρονική ενημέρωση θέσης και ευφυής αναζήτηση κατά τον εξής τρόπο. Τα τερματικά πραγματοποιούν ενημέρωση θέσης με ρυθμό 3 ενημερώσεις την ώρα. Σε περίπτωση εισερχόμενης κλήσης, αναζητούνται διαδοχικά στην κυψέλη μέσω της οποίας πραγματοποιήσαν την τελευταία ενημέρωση θέσης και σε ομόκεντρες περιοχές με 7 και 19 κυψέλες με κέντρο την υπόψη κυψέλη. Οι πιθανότητες παραμονής των τερματικών στις υπόψη περιοχές είναι $p_1 = 0.1$, $p_2 = 0.4$ και $p_3 = 0.5$.

Στο κλασσικό σχήμα ενημέρωσης θέσης και αναζήτησης, οι περιοχές εντοπισμού αποτελούνται από 19 κυψέλες και η αναζήτηση γίνεται σε όλη την περιοχή εντοπισμού. Για ποια σχέση μεταξύ του κόστους του μηνύματος ενημέρωσης θέσης L και του μηνύματος αναζήτησης P είναι το πρώτο σχήμα οικονομικότερο;

Δίνεται ότι οι εισερχόμενες κλήσεις για κάθε τερματικό έχουν ρυθμό $\lambda_T = 2$ κλήσεις/h, η μέση ταχύτητα των τερματικών είναι $v = 10$ km/h ομοιόμορφα κατανομημένη προς όλες τις κατευθύνσεις, οι κυψέλες έχουν ακτίνα $R = 2$ km και μέση προσφερόμενη κίνηση ανά τερματικό είναι $A_u = 0.1$ erlang.

[Απάντηση : $L/P \leq 5.89$]

9. Σε κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών τα κινητά πραγματοποιούν ενημέρωση θέσης κάθε φορά που διασχίζουν τα όρια d κυψελών. Σε περίπτωση εισερχόμενης κλήσης το κινητό αναζητείται σε περιοχή που περιλαμβάνει $d-1$ σειρές κυψελών γύρω από την κυψέλη μέσω της οποίας έγινε η τελευταία ενημέρωση θέσης. Αν η πιθανότητα να διασχίζει το κινητό k κυψέλες την ώρα είναι $a(k)$ και το κινητό λαμβάνει λ_T κλήσεις την ώρα, να βρεθεί το κόστος ενημέρωσης θέσης και το κόστος αναζήτησης ανά ώρα και ανά τερματικό. Το κόστος του μηνύματος ενημέρωσης θέσης είναι L και του μηνύματος αναζήτησης P .

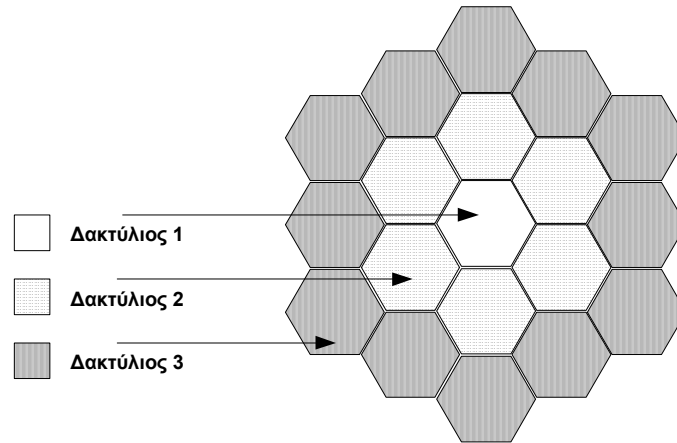
[Απάντηση : $C_{LU} = \sum_{k=0}^{\infty} a(k) \left\lfloor \frac{k}{d} \right\rfloor L$, $C_P = \lambda_T \left(1 + \sum_{i=1}^{d-1} 6i \right) P$]

10. Θεωρούμε περιοχή εντοπισμού που αποτελείται από δακτυλίους εξαγωνικών κυψελών, όπως εικονίζεται στο σχήμα. Με βάση εμπειρικές μελέτες, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η πιθανότητα εντοπισμού ενός χρήστη σε κάθε δακτύλιο μειώνεται γεωμετρικά με βάση την απόσταση από την κεντρική κυψέλη, ως εξής:

$$p_i = \frac{r^i}{\sum_{i=1}^w r^i}, \quad \text{για } 0 < r \leq 1 \text{ και } i = 1, 2, \dots, w.$$

Η απόσταση i αντιστοιχεί στον αριθμό του δακτυλίου από την κεντρική κυψέλη ($i = 1$), ενώ το w στον συνολικό αριθμό δακτυλίων. Υποθέτουμε ότι το δίκτυο ψάχνει ακολουθιακά για ένα τερματικό σε κάθε δακτύλιο, αρχίζοντας από την κεντρική κυψέλη. Να υπολογιστεί γενικά το μέσο κόστος αναζήτησης, θεωρώντας το ίσο με τον αριθμό των κυψελών στις οποίες πραγματοποιείται η αναζήτηση. Να βρεθεί επίσης η μέση καθυστέρηση, σε αριθμό βημάτων εντοπισμού του χρήστη.

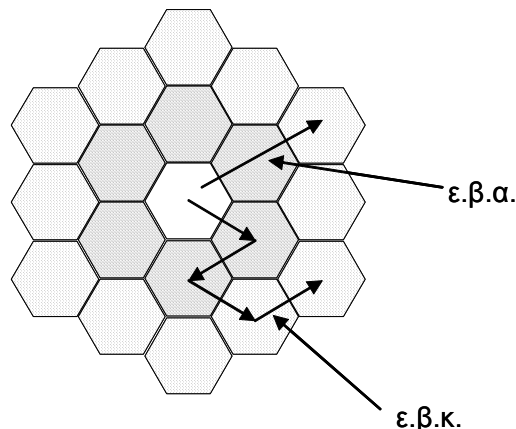
Παρατηρώντας τη μορφή της γεωμετρικής κατανομής για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου r όταν $w = 3$ (όπως στο σχήμα), να αναφέρετε το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει για το κόστος αναζήτησης και την καθυστέρηση εντοπισμού, ανάλογα με την κατανομή των πιθανοτήτων εντοπισμού ενός χρήστη.



[Απάντηση :
$$C = \sum_{i=1}^w \left(p_i \cdot \sum_{j=1}^i k_j \right) = \frac{\sum_{i=1}^w \left(r^i \sum_{j=1}^i k_j \right)}{\sum_{i=1}^w r^i} , \quad D = \sum_{i=1}^w i \cdot p_i = \frac{\sum_{i=1}^w i \cdot r^i}{\sum_{i=1}^w r^i} .$$

Παίρνοντας διάφορες τιμές της κατανομής, για $w=3$ και $r=0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1$, παρατηρούμε τη μορφή της κατανομής συναρτήσει του r . Για $r=1$ έχουμε ομοιόμορφη κατανομή, ενώ όσο μικραίνει το r η πιθανότητα εντοπισμού είναι μεγαλύτερη στους εσωτερικούς δακτυλίους. Το γενικό συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι όσο πιο «συγκεντρωμένες» είναι οι πιθανότητες εντοπισμού τόσο μικρότερο είναι το μέσο κόστος αναζήτησης και η καθυστέρηση, άρα και τόσο μεγαλύτερο το κέρδος που έχουμε από την εφαρμογή ενός σχήματος ακολουθιακής αναζήτησης.]

11. Σε δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, εφαρμόζουμε 3 διαφορετικά σχήματα δυναμικής ενημέρωσης θέσης: στο πρώτο σχήμα έχουμε δυναμική ενημέρωση θέσης *με βάση την απόσταση* (ε.β.α), δηλαδή το κινητό ενημερώνει τη θέση του όταν η απόστασή του είναι μεγαλύτερη από k κυψέλες από την κυψέλη όπου έγινε η τελευταία ενημέρωση. Στο δεύτερο σχήμα έχουμε δυναμική ενημέρωση *με βάση το χρόνο* (ε.β.χ), δηλαδή το κινητό πραγματοποιεί περιοδικά ενημέρωση θέσης κάθε t χρονικές μονάδες. Στο τρίτο σχήμα γίνεται δυναμική ενημέρωση *με βάση τον αριθμό των κινήσεων* (ε.β.κ), δηλαδή το κινητό πραγματοποιεί ενημέρωση όταν διασχίσει k όρια μεταξύ κυψελών.



Υποθέτουμε ότι το τερματικό κινείται με μέση ταχύτητα v_{μ} , ενώ υπάρχει ένα άνω όριο $v_{\max}$ στην ταχύτητά του. Η ταχύτητα εδώ μετράται σε κυψέλες ανά μονάδα χρόνου που διασχίζει το κινητό. Εάν το κόστος αναζήτησης πρέπει να είναι το ίδιο για όλα τα σχήματα, να δείξετε ότι για το μέσο κόστος ενημέρωσης θέσης ισχύει:

$$C_{\varepsilon.\beta.\alpha} \leq C_{\varepsilon.\beta.\kappa} \leq C_{\varepsilon.\beta.\chi}$$

12. Περιοχή εντοπισμού αποτελείται από K^2 εξαγωνικές κυψέλες ακτίνας R και η αναζήτηση για ένα τερματικό γίνεται ταυτόχρονα σε όλη την περιοχή. Ο ρυθμός κλήσεων ανά τερματικό είναι λ_c , από τις οποίες το 70% είναι εισερχόμενες, και η μέση διάρκειά τους είναι H . Το μοναδιαίο κόστος των διεργασιών ενημέρωσης θέσης και αναζήτησης είναι U και P αντίστοιχα. Να υπολογιστεί το βέλτιστο μέγεθος της περιοχής εντοπισμού $k_{\text{βελτ}}$, ώστε το ολικό κόστος ενημέρωσης θέσης και αναζήτησης ανά τερματικό να γίνεται ελάχιστο. Να αποδειχθεί ότι αυτό είναι μοναδικό.

Η μέση ταχύτητα των τερματικών είναι v και η κίνησή τους έχει τυχαία κατεύθυνση, ομοιόμορφα κατανομημένη.

$$[\text{Απάντηση : } k_{\text{βελτ}} = \sqrt[3]{\frac{v(1 - \lambda_c H)U}{0.35\pi\sqrt{3}R\lambda_c P}}]$$

13. Περιοχή εντοπισμού αποτελείται από K^2 εξαγωνικές κυψέλες ακτίνας R . Σε περίπτωση εισερχόμενης κλήσης, η αναζήτηση ενός τερματικού γίνεται διαδοχικά στην κυψέλη μέσω της οποίας πραγματοποιήσε την τελευταία κλήση, στην πρώτη σειρά κυψελών γύρω από την υπόψη κυψέλη και στις υπόλοιπες κυψέλες της περιοχής εντοπισμού. Η πιθανότητες να βρίσκονται τα τερματικά στις υπόψη περιοχές είναι $p_1 = 0.2$, $p_2 = 0.3$ και $p_3 = 0.5$. Ο ρυθμός κλήσεων ανά τερματικό είναι λ_c , από τις οποίες το 70% είναι εισερχόμενες, και η μέση διάρκειά τους είναι H . Το μοναδιαίο κόστος των διεργασιών ενημέρωσης θέσης και αναζήτησης είναι U και P αντίστοιχα. Να υπολογιστεί το βέλτιστο μέγεθος της περιοχής εντοπισμού $k_{\text{βελτ}}$, ώστε το ολικό κόστος ενημέρωσης θέσης και αναζήτησης ανά τερματικό να γίνεται ελάχιστο. Να αποδειχθεί ότι αυτό είναι μοναδικό.

Η μέση ταχύτητα των τερματικών είναι v και η κίνησή τους έχει τυχαία κατεύθυνση, ομοιόμορφα κατανομημένη.

$$[\text{Απάντηση : } k_{\text{βελτ}} = \sqrt[3]{\frac{4v(1 - \lambda_c H)U}{0.7\pi\sqrt{3}R\lambda_c P}}]$$

14. Σε κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών, χρησιμοποιείται χρονική ενημέρωση θέσης και ευφυής αναζήτηση κατά τον εξής τρόπο. Κάθε τερματικό πραγματοποιεί ακέραιο αριθμό ενημερώσεων θέσης με ρυθμό λ_{LU} ενημερώσεις την ώρα. Σε περίπτωση εισερχόμενης κλήσης, αναζητείται διαδοχικά στην κυψέλη μέσω της οποίας πραγματοποιήσε την τελευταία ενημέρωση θέσης και στις δύο πρώτες σειρές κυψελών γύρω από την υπόψη κυψέλη. Οι πιθανότητες παραμονής των τερματικών στις υπόψη περιοχές είναι $p_1 = 0.2$, $p_2 = 0.3$ και $p_3 = 0.5$.

Στο κλασσικό σχήμα ενημέρωσης θέσης και αναζήτησης, οι περιοχές εντοπισμού αποτελούνται από 19 κυψέλες και η αναζήτηση γίνεται σε όλη την περιοχή εντοπισμού. Αν ο λόγος του κόστους του μηνύματος ενημέρωσης θέσης L προς το κόστος του μηνύματος αναζήτησης P είναι 9, να υπολογιστεί ρυθμός ενημερώσεων θέσης ανά ώρα, ώστε το πρώτο σχήμα ενημέρωσης θέσης και αναζήτησης να είναι οικονομικότερο.

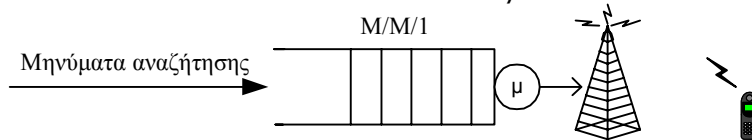
Δίνεται ότι οι εισερχόμενες κλήσεις για κάθε τερματικό έχουν ρυθμό $\lambda_T = 2$ κλήσεις/h, η μέση ταχύτητα των τερματικών είναι $v = 8$ km/h ομοιόμορφα κατανομημένη προς όλες τις κατευθύνσεις, οι κυψέλες έχουν ακτίνα $R = 2$ km και μέση προσφερόμενη κίνηση ανά τερματικό είναι $A_u = 0.1$ erlang.

$$[\text{Απάντηση : } \lambda_{LU} = 2 \text{ LU/h}]$$

15. Σε ένα σύστημα κινητών επικοινωνιών εκπέμπονται μηνύματα αναζήτησης προς διάφορα τερματικά μέσω ενός σταθμού βάσης. Υποθέτουμε ότι οι αφίξεις ακολουθούν κατανομή *Poisson* με ρυθμό λ . Τα μηνύματα αποθηκεύονται στην ουρά του σταθμού βάσης πριν μεταδοθούν, η οποία έχει άπειρη χωρητικότητα και ρυθμό εξυπηρέτησης μ (σύστημα M/M/1). Θεωρούμε ότι σε κάθε αναζήτηση υπάρχει πιθανότητα p_f να μην βρεθεί το κινητό, λόγω απωλειών σήματος ή παρεμβολών στο φυσικό περιβάλλον. Τότε το

δίκτυο περιμένει W χρονικές μονάδες για να απαντήσει το τερματικό και μετά απορρίπτει την κλήση. Στην αντίθετη περίπτωση θεωρούμε ότι ο εντοπισμός του τερματικού γίνεται αμέσως. Με βάση αυτά, να βρεθεί ο μέσος αριθμός μηνυμάτων στον σταθμό βάσης, $E(Q)$, καθώς και η μέση καθυστέρηση εντοπισμού ενός τερματικού. Εάν ο ρυθμός εξυπηρέτησης είναι $\mu = 5$ μηνύματα/sec, ο ρυθμός αφίξεων $\lambda = 3$ μηνύματα/sec και η πιθανότητα αποτυχής αναζήτησης $p_f = 0.1$, να βρεθεί το μέγιστο χρονικό διάστημα αναμονής του δικτύου $W_{\max}$ ώστε η μέση καθυστέρηση να είναι μικρότερη από 500 ms.

Υπενθυμίζεται ότι για σύστημα M/M/1: $E(Q) = \frac{\rho}{1-\rho}$, όπου $\rho = \lambda/\mu$.



[Απάντηση: $E(Q) = \frac{\rho}{1-\rho}$, $E(D) = \frac{\rho}{(1-\rho)\mu}(1-P_f) + P_f(\frac{\rho}{(1-\rho)\mu} + W)$, $W_{\max} = 2 \text{ sec}$]

16. Σε κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών με εξαγωνικές κυψέλες ακτίνας R , χρησιμοποιείται για κάθε κινητό τερματικό χρονική ενημέρωση θέσης μία φορά την ώρα και ευφυής αναζήτηση κατά τον εξής τρόπο. Σε περίπτωση εισερχόμενης κλήσης, το κινητό τερματικό αναζητείται διαδοχικά στην κυψέλη μέσω της οποίας πραγματοποίησε την τελευταία ενημέρωση θέσης, στην υπόψη κυψέλη και στην πρώτη σειρά κυψελών γύρω από αυτήν και, τέλος, στην υπόψη κυψέλη και τις τρεις πρώτες σειρές γύρω από αυτήν. Οι πιθανότητες εντοπισμού των τερματικών στις υπόψη περιοχές είναι $p_1 = 0.2$, $p_2 = 0.3$ και $p_3 = 0.5$.

Στο κλασσικό σχήμα ενημέρωσης θέσης και αναζήτησης, οι περιοχές εντοπισμού αποτελούνται από 19 κυψέλες και η αναζήτηση γίνεται στην αντίστοιχη περιοχή εντοπισμού. Αν ο λόγος του κόστους του μηνύματος ενημέρωσης θέσης L προς το κόστος του μηνύματος αναζήτησης P είναι 12, για ποιες τιμές της ακτίνας R των κυψελών είναι οικονομικότερο το πρώτο σχήμα ενημέρωσης θέσης και αναζήτησης;

Δίνεται ότι οι εισερχόμενες κλήσεις για κάθε τερματικό έχουν ρυθμό $\lambda_T = 2$ κλήσεις/h, η μέση ταχύτητα των τερματικών είναι $v = 20 \text{ km/h}$ ομοιόμορφα κατανομημένη προς όλες τις κατευθύνσεις και η μέση προσφερόμενη κίνηση ανά τερματικό είναι $A_u = 0.1 \text{ erlang}$.

[Απάντηση : $R \leq 2.4 \text{ km}$]

17. Κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών καλύπτει την περιοχή εξυπηρέτησής του με 144 εξαγωνικές κυψέλες ακτίνας $R = 500 \text{ m}$, που αποτελούν μία περιοχή εντοπισμού. Σε περίπτωση εισερχόμενης κλήσης, η αναζήτηση ενός τερματικού γίνεται διαδοχικά στην κυψέλη μέσω της οποίας πραγματοποίησε την τελευταία κλήση, στην πρώτη σειρά κυψελών γύρω από την υπόψη κυψέλη και στις υπόλοιπες κυψέλες του συστήματος. Η πιθανότητες να βρίσκονται τα τερματικά στις υπόψη περιοχές είναι $p_1 = 0.2$, $p_2 = 0.3$ και $p_3 = 0.5$. Ο ρυθμός κλήσεων ανά τερματικό είναι λ_c , από τις οποίες το 60% είναι εισερχόμενες, και η μέση διάρκειά τους είναι $H = 3 \text{ min}$. Το μοναδιαίο κόστος των διεργασιών ενημέρωσης θέσης και αναζήτησης είναι L και P αντίστοιχα, όπου $L = 15P$. Να υπολογιστεί το λ_c , ώστε το ολικό κόστος ενημέρωσης θέσης και αναζήτησης ανά τερματικό να είναι μικρότερο από εκείνο της κλασικής λειτουργίας με περιοχές εντοπισμού 12 κυψελών και αναζήτηση στην περιοχή εντοπισμού.

Η μέση ταχύτητα των τερματικών είναι $v = 30 \text{ km/h}$ και η κίνησή τους έχει τυχαία κατεύθυνση, ομοιόμορφα κατανομημένη.

[Απάντηση : $\lambda_c \leq 0.44 \text{ κλήσεις/h}$]

18. Σε κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών με εξαγωνικές κυψέλες ακτίνας R , χρησιμοποιείται για κάθε κινητό τερματικό χρονική ενημέρωση θέσης μία φορά την ώρα και ευφυής αναζήτηση κατά τον εξής τρόπο. Σε περίπτωση εισερχόμενης κλήσης, το κινητό τερματικό αναζητείται διαδοχικά στην κυψέλη μέσω της οποίας πραγματοποιήσε την τελευταία ενημέρωση θέσης, στην υπόψη κυψέλη και στην πρώτη σειρά κυψελών γύρω από αυτήν και, τέλος, στην υπόψη κυψέλη και τις τρεις πρώτες σειρές γύρω από αυτήν. Οι πιθανότητες εντοπισμού των τερματικών στις υπόψη περιοχές είναι $p_1 = 0.2$, $p_2 = 0.3$ και $p_3 = 0.5$.

Στο κλασσικό σχήμα ενημέρωσης θέσης και αναζήτησης, οι περιοχές εντοπισμού απο-τελούνται από 19 κυψέλες και η αναζήτηση γίνεται στην αντίστοιχη περιοχή εντοπι-σμού. Αν ο λόγος του κόστους του μηνύματος ενημέρωσης θέσης L προς το κόστος του μηνύματος αναζήτησης P είναι 10, για ποιες τιμές της μέσης ταχύτητας των κινητών τερματικών είναι οικονομικότερο το πρώτο σχήμα ενημέρωσης θέσης και αναζήτησης;

Δίνεται ότι οι εισερχόμενες κλήσεις για κάθε τερματικό έχουν ρυθμό $\lambda_T = 2$ κλήσεις/h, η μέση ταχύτητα των τερματικών είναι ομοιόμορφα κατανομημένη προς όλες τις κατευ-θύνσεις, οι κυψέλες έχουν ακτίνα $R = 2$ km και μέση προσφερόμενη κίνηση ανά τερμα-τικό είναι $A_u = 0.1$ erlang.

[Απάντηση : $v \geq 17.9$ km/h]



ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΠΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Προβλήματα 10^{ου} Κεφαλαίου

1. Στο κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών του προβλήματος 5.1, τα κινητά τερματικά κινούνται με μέση ταχύτητα 20 km/h και ακολουθούν τυχαίες κατευθύνσεις. Να βρεθεί ο ρυθμός διαπομπών σε κάθε κυψέλη, μετά την προσθήκη των μικροκυψελών.

[Απάντηση : 1323 HO/h]

2. Κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών καλύπτει αστική περιοχή με 98 εξαγωνικές κυψέλες και συντελεστή επαναχρησιμοποίησης $K = 7$. Οι κεραιές των σταθμών βάσης είναι ισοτροπικές και η ακτίνα των κυψελών είναι $R = 1$ km. Η πυκνότητα των χρηστών είναι ομοιόμορφη και ίση με 100 χρήστες/km², από τους οποίους το 30% είναι χρήστες μετακινούμενοι με αυτοκίνητα και μέση ταχύτητα 40 km/h, ενώ το υπόλοιπο 70% είναι πεζοί με μέση ταχύτητα 5 km/h. Ο μέσος όρος κλήσεων ανά χρήστη είναι $\lambda = 2$ κλήσεις την ώρα και η μέση διάρκεια κλήσεων $H = 3$ min.

Για τη μείωση του αριθμού των διαπομπών αποφασίστηκε να εξυπηρετούνται οι χρήστες μεγάλης ταχύτητας από υπερκείμενες κυψέλες με τον ίδιο συντελεστή επαναχρησιμοποίησης, η κάθε μια από τις οποίες θα καλύπτει μια περιοχή επαναχρησιμοποίησης των κάτω κυψελών.

- (α) Να βρεθεί ο αριθμός των διαπομπών πριν και μετά την εισαγωγή των υπερκείμενων κυψελών.
- (β) Αν η συνολική αστική περιοχή αποτελεί μια περιοχή εντοπισμού, να βρεθεί ο ρυθμός των ενημερώσεων θέσης. Για την απάντησή σας προσεγγίστε την συνολική περιοχή με κανονικό εξάγωνο και θεωρήστε ότι όλα τα κινητά τερματικά είναι ενεργοποιημένα.
- (γ) Αν ο βαθμός εξυπηρέτησης στο αρχικό σύστημα είναι 2%, πόσοι επιπλέον δίαυλοι θα χρειαστούν για να παραμείνει ίδιος και με την νέα διάταξη; Θεωρήστε ότι το σύστημα είναι Erlang B.
- (δ) Αν P_t είναι η ισχύς εκπομπής των σταθμών βάσης των κάτω κυψελών, να καθοριστεί η ισχύς εκπομπής στις υπερκείμενες κυψέλες, ώστε να έχουμε την ίδια μέση ισχύ στα όρια των ακραίων κάτω κυψελών και της υπερκείμενης κυψέλης.

[Απάντηση : (α) 29012 HO/h και 15040 HO/h, (β) 26367 LU/h, (γ) 292 δίαυλοι, (δ) $P'_t = (\sqrt{7})^n P_t$]

3. Κινητό τερματικό συνδρομητή του δικτύου A πραγματοποιεί κλήση σε κινητό τερματικό συνδρομητή του δικτύου B. Να αναφερθούν οι διαδικασίες που θα μεσολαβήσουν μέχρι να αποκατασταθεί η σύνδεση μεταξύ των δύο τερματικών καθώς και στοιχεία δικτύου μέσω των οποίων δύο θα διέλθει κατ' ελάχιστον η σύνδεση.
4. Χρήστης κινητής τηλεφωνίας, συνδρομητής του δικτύου A πραγματοποιεί κλήση προς χρήστη που είναι συνδρομητής του δικτύου B. Το δίκτυο B παρέχει προσωπικές επικοινωνίες, οι συνδρομητές του καλούνται με τον προσωπικό τους αριθμό και μπορεί να χρησιμοποιούν είτε σταθερό δίκτυο είτε δίκτυο κινητών επικοινωνιών φορέων που συνεργάζονται με το B. Το δίκτυο B διαθέτει διαβιβαστικά κέντρα μεταγωγής

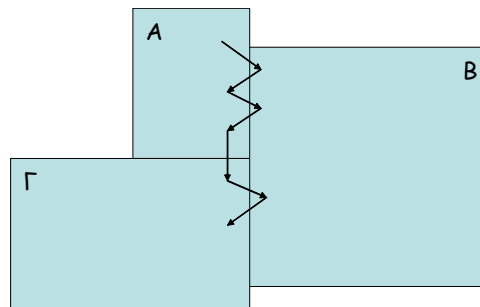
(GSMC) μέσω των οποίων γίνεται η διασύνδεση του δικτύου προσωπικών επικοινωνιών με τα άλλα δίκτυα καθώς και βάση δεδομένων για την καταχώρηση θέσης των οικείων χρηστών. Να περιγραφεί με τη βοήθεια απλού δομικού διαγράμματος η εγκατάσταση κλήσης μεταξύ των δύο χρηστών, για την περίπτωση που ο καλούμενος χρησιμοποιεί (α) το σταθερό δίκτυο Γ και (β) το δίκτυο κινητών επικοινωνιών Δ.

Στο δομικό διάγραμμα να αναφέρονται οι οντότητες που εμπλέκονται κατ' ελάχιστο και οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα.

5. Χρήστης κινητής τηλεφωνίας, συνδρομητής του δικτύου Α στέλνει σύντομο μήνυμα προς χρήστη που είναι συνδρομητής του δικτύου Β. Αν οι δύο πάροχοι εξυπηρετούνται μέσω του ιδίου κέντρου μεταγωγής μηνυμάτων (SMSC) να περιγραφεί με τη βοήθεια δομικού διαγράμματος η διαδικασία αποστολής του μηνύματος μέχρι τη στιγμή που αυτό λαμβάνεται από τον αποδέκτη του.

Στο δομικό διάγραμμα να αναφέρονται οι οντότητες που εμπλέκονται κατ' ελάχιστο και να αναφερθούν οι επιμέρους διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα.

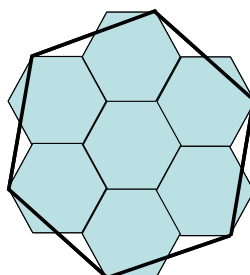
6. Το διάγραμμα του σχήματος δείχνει τη διαδρομή ενός κινητού με κλήση σε εξέλιξη. Οι περιοχές Α, Β, Γ είναι περιοχές εντοπισμού και κάθε μία εξυπηρετείται από διαφορετικό MSC.



- (α) Ποιοι είναι οι ρόλοι των τριών MSC και σε ποια πολλαπλότητα;
- (β) Αν η σύνδεση μεταξύ δύο ομιωνδήποτε MSC προκαλεί εξασθένηση του σήματος κατά 0.5 dB, ποια είναι η σχετική στάθμη του λαμβανόμενου σήματος στην τελική θέση του κινητού ως προς εκείνη της αρχικής θέσης;

[Απάντηση : (β) 3.5 dB]

7. Κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών με εξαγωνικές κυψέλες, χρησιμοποιεί στρωματώμενη αρχιτεκτονική με 2 στρώματα κυψελών. Οι σταθμοί βάσης των κυψελών του ανωτέρου στρώματος καλύπτουν περιοχή 7 κυψελών του κατωτέρου στρώματος και έχουν τον ίδιο συντελεστή επαναχρησιμοποίησης $K = 7$. Οι άνω κυψέλες καλύπτουν τα τερματικά που κινούνται με μεγάλες ταχύτητες καθώς και εκείνα του κάτω στρώματος που δεν έχουν ραδιοκάλυψη από τους σταθμούς βάσης του κάτω στρώματος. Εμφανίζεται βλάβη και πομπός κυψέλης του κάτω στρώματος τίθεται εκτός λειτουργίας. Να βρεθεί ο ρυθμός διαπομπών μεταξύ των δύο στρωμάτων από τα τερματικά χαμηλής ταχύτητας καθώς και ο βαθμός εξυπηρέτησης στην άνω κυψέλη μετά την εμφάνιση της βλάβης. Υποδείξτε τρόπο για την άμβλυνση του προβλήματος αποκλεισμού των κλήσεων μέχρι να αποκατασταθεί η λειτουργία του σταθμού βάσης.



Η μέση ωριαία ταχύτητα των τερματικών των κάτω κυψελών είναι $u_1 = 5$ km/h και η πυκνότητά τους $\sigma_1 = 140$ MT/km², ενώ για τα κινητά των άνω κυψελών τα αντίστοιχα μεγέθη είναι $u_2 = 40$ km/h και $\sigma_2 = 12.5$ MT/km². Η ακτίνα των κάτω κυψελών είναι $R = 1$ km. Το σύστημα είναι GSM, το προσφερόμενο φορτίο ανά χρήστη είναι $A_u = 0.1$ erlang, ο βαθμός εξυπηρέτησης είναι $GOS = 2\%$ και στα δύο στρώματα, ενώ δύο δίαυλοι σε κάθε μικρή κυψέλη και ένας σε κάθε μεγάλη κυψέλη χρησιμοποιούνται για σηματοδότηση.

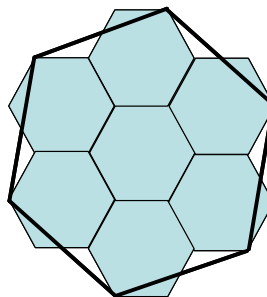
[Απάντηση : 133.7 HO/h, GOS = 0.5]

8. Θεωρήστε γεωγραφική περιοχή με 10000 κατοίκους ανά km² από τους οποίους 20% είναι χρήστες κινητών επικοινωνιών που ανήκουν σε έναν πάροχο. Η μέση ταχύτητά τους είναι $v = 20$ km/h και το σύστημα έχει κυψέλες ακτίνας $R = 2$ km. Το προσφερόμενο φορτίο ανά χρήστη είναι $A_u = 0.1$ erlang.

- (α) Βρείτε τον αριθμό των διαπομπών ανά ώρα.
 (β) Αν κάθε κυψέλη διασπάται σε 4 ενώ ο αριθμός των χρηστών διατηρείται σταθερός, κατά πόσο μεταβάλλεται ο αριθμός των διαπομπών ανά ώρα;
 (γ) Επαναλάβετε το ερώτημα (β) για την περίπτωση που η διάσπαση των κυψελών γίνεται για να αντιμετωπισθεί τετραπλασιασμός του αριθμού των χρηστών.

[Απάντηση : (α) $HO_{rate} = 15279N_c$ HO/h, (β) $HO'_{rate} = 2HO_{rate}$, (γ) $HO''_{rate} = 8HO_{rate}$]

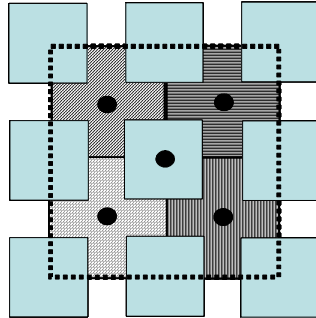
9. Κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών με εξαγωνικές κυψέλες, χρησιμοποιεί στρωματωμένη αρχιτεκτονική με 2 στρώματα κυψελών. Οι σταθμοί βάσης των κυψελών του ανωτέρου στρώματος καλύπτουν περιοχή 7 κυψελών του κατωτέρου στρώματος και έχουν τον ίδιο συντελεστή επαναχρησιμοποίησης $K = 7$. Οι άνω κυψέλες καλύπτουν τα τερματικά που κινούνται με μεγάλες ταχύτητες καθώς και εκείνα του κάτω στρώματος που δεν έχουν ραδιοκάλυψη από τους σταθμούς βάσης του κάτω στρώματος. Εμφανίζεται βλάβη και πομπός κυψέλης του άνω στρώματος τίθεται εκτός λειτουργίας. Να βρεθεί η μεταβολή του ρυθμού διαπομπών στις κάτω κυψέλες καθώς και ο βαθμός εξυπηρέτησης σε κάθε μια από αυτές μετά την εμφάνιση της βλάβης, αν δεχθούμε ότι τα τερματικά που εξυπηρετούνται από την άνω κυψέλη είναι ομοιόμορφα κατανομημένα σε όλη την έκταση που καλύπτει η υπόψη κυψέλη. Υποδείξτε τρόπο για την αποκατάσταση του βαθμού εξυπηρέτησης μέχρι να αποκατασταθεί η λειτουργία του σταθμού βάσης με όποιες τυχόν περαιτέρω επιπτώσεις.



Η μέση ωριαία ταχύτητα των τερματικών των κάτω κυψελών είναι $u_1 = 5$ km/h και η πυκνότητά τους $\sigma_1 = 140$ MT/km², ενώ για τα κινητά των άνω κυψελών τα αντίστοιχα μεγέθη είναι $u_2 = 40$ km/h και $\sigma_2 = 12.5$ MT/km². Η ακτίνα των κάτω κυψελών είναι $R = 1$ km. Το σύστημα είναι GSM, το προσφερόμενο φορτίο ανά χρήστη είναι $A_u = 0.1$ erlang, ο βαθμός εξυπηρέτησης είναι $GOS = 2\%$ και στα δύο στρώματα, ενώ δύο δίαυλοι σε κάθε μικρή κυψέλη και ένας σε κάθε μεγάλη κυψέλη χρησιμοποιούνται για σηματοδότηση.

[Απάντηση : 71.42 %, GOS = 0.05]

10. Στο κυψελωτό σύστημα με τετραγωνικές κυψέλες του σχήματος, η πλευρά του οικοδομικού τετραγώνου συμπεριλαμβανομένων και των πεζοδρομίων (σκούρα περιοχή) είναι 450 m και το πλάτος των δρόμων 50 m. Η πυκνότητα των πεζών χρηστών είναι $\sigma_1 = 270$ χρήστες/ km^2 και η γραμμική πυκνότητα των χρηστών που κινούνται με ιδιωτικά και δημόσια μέσα μεταφοράς είναι $\rho_2 = 87$ χρήστες / km. Η μέση ταχύτητα των πρώτων είναι $v_1 = 5$ km/h και ακολουθούν τυχαία κατεύθυνση ομοιόμορφα κατανεμημένη, ενώ των άλλων είναι $v_2 = 40$ km/h. Το σύστημα χρησιμοποιεί στρωματωμένη αρχιτεκτονική. Το κάτω στρώμα αφορά τους χρήστες μεγάλης ταχύτητας και χρησιμοποιεί μικροκυψέλες με τους σταθμούς βάσης τοποθετημένους στις διασταυρώσεις των οδών και το άνω στρώμα αφορά τους αργά μετακινούμενους χρήστες και χρησιμοποιεί τετραγωνικές κυψέλες που επικαλύπτουν τέσσερις από τις κάτω κυψέλες. Και τα δύο στρώματα έχουν τον ίδιο συντελεστή επαναχρησιμοποίησης.



Το σύστημα είναι GSM, το προσφερόμενο φορτίο ανά χρήστη είναι 0.1 erlang και ο βαθμός εξυπηρέτησης $GOS = 2\%$. Δύο από τους διαύλους σε κάθε κυψέλη χρησιμοποιούνται για σηματοδότηση.

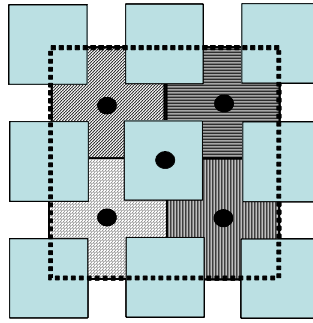
Εμφανίζεται βλάβη σε κυψέλη του κάτω στρώματος και η κίνηση εξυπηρετείται πλέον από την υπερκείμενη κυψέλη. Να βρεθεί:

- Ο ρυθμός των διαπομπών από τις κάτω κυψέλες προς την υπερκείμενη κυψέλη μετά τη βλάβη.
- Ο βαθμός εξυπηρέτησης στην υπερκείμενη κυψέλη μετά τη βλάβη, λαμβάνοντας υπόψη ότι, λόγω αύξησης του ρυθμού των διαπομπών, χρησιμοποιείται ένας επιπρόσθετος δίαυλος σηματοδότησης.
- Υποδείξτε τρόπο για τη βελτίωση του βαθμού εξυπηρέτησης μέχρι να διορθωθεί η βλάβη και βρείτε τη νέα τιμή του.

[Απάντηση : (α) 688 HO/h, (β) $GOS = 0.15$, (γ) δανεισμός 1RCH από γειτονική μακροκυψέλη, $GOS = 0.03$]

11. Στο κυψελωτό σύστημα με τετραγωνικές κυψέλες του σχήματος, η πλευρά του οικοδομικού τετραγώνου συμπεριλαμβανομένων και των πεζοδρομίων (σκούρα περιοχή) είναι 450 m και το πλάτος των δρόμων 50 m. Η πυκνότητα των πεζών χρηστών είναι $\sigma_1 = 270$ χρήστες/ km^2 και η γραμμική πυκνότητα των χρηστών που κινούνται με ιδιωτικά και δημόσια μέσα μεταφοράς είναι $\rho_2 = 87$ χρήστες / km. Η μέση ταχύτητα των πρώτων είναι $v_1 = 5$ km/h και ακολουθούν τυχαία κατεύθυνση ομοιόμορφα κατανεμημένη, ενώ των άλλων είναι $v_2 = 40$ km/h. Το σύστημα χρησιμοποιεί στρωματωμένη αρχιτεκτονική. Το κάτω στρώμα αφορά τους χρήστες μεγάλης ταχύτητας και χρησιμοποιεί μικροκυψέλες με τους σταθμούς βάσης τοποθετημένους στις διασταυρώσεις των οδών και το άνω στρώμα αφορά τους αργά μετακινούμενους χρήστες και χρησιμοποιεί τετραγωνικές κυψέλες που επικαλύπτουν τέσσερις από τις κάτω κυψέλες. Και τα δύο στρώματα έχουν τον ίδιο συντελεστή επαναχρησιμοποίησης.

Το σύστημα είναι GSM, το προσφερόμενο φορτίο ανά χρήστη είναι 0.1 erlang και ο βαθμός εξυπηρέτησης $GOS = 2\%$. Δύο από τους διαύλους σε κάθε κυψέλη χρησιμοποιούνται για σηματοδότηση.



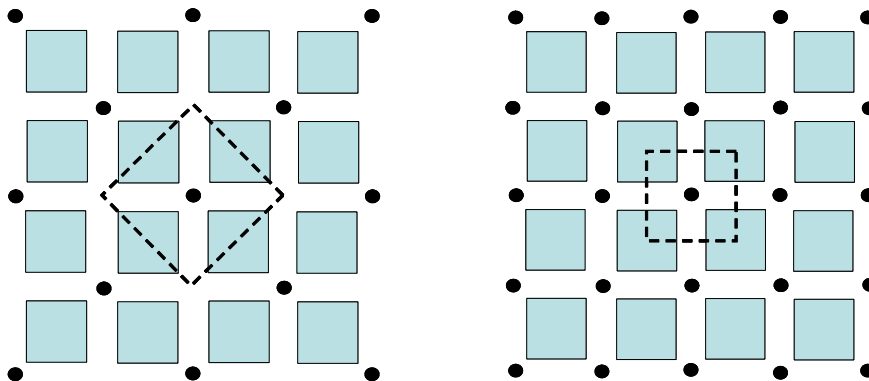
Εμφανίζεται βλάβη σε κυψέλη του άνω στρώματος και η κίνηση εξυπηρετείται πλέον από τις μικροκυψέλες. Να βρεθεί:

- (α) Ο ρυθμός των διαπομπών προς κάθε μικροκυψέλη από τις υπερκείμενες κυψέλες μετά τη βλάβη.
- (β) Ο βαθμός εξυπηρέτησης στις μικροκυψέλες μετά τη βλάβη, λαμβάνοντας υπόψη ότι, λόγω αύξησης της κίνησης, χρησιμοποιείται ένας επιπρόσθετος δίαυλος σηματοδότησης.
- (γ) Υποδείξτε τρόπο για τη βελτίωση του βαθμού εξυπηρέτησης μέχρι να διορθωθεί η βλάβη και βρείτε τη νέα τιμή του.

[Απάντηση : (α) 77.35 HO/h, (β) GOS = 0.18, (γ) δανεισμός 1RCH από γειτονική μικροκυψέλη, GOS = 0.01]

12. Στο κυψελωτό σύστημα με τετραγωνικές κυψέλες του σχήματος (α), η πλευρά του οικοδομικού τετραγώνου μαζί με τα πεζοδρόμια είναι 450 m και το πλάτος των δρόμων 50 m. Η πυκνότητα των πεζών χρηστών είναι $\rho_1 = 220$ χρήστες / km² και των χρηστών που κινούνται με ιδιωτικά και δημόσια μέσα μεταφοράς είναι $\rho_2 = 87$ χρήστες / km. Η μέση ταχύτητα των πρώτων είναι $v_1 = 5$ km/h και ακολουθούν τυχαία κατεύθυνση ομοιόμορφα κατανεμημένη, ενώ των άλλων είναι $v_2 = 40$ km/h, η δε μέση προσφερόμενη κίνηση ανά χρήστη είναι 0.1 erlang. Το σύστημα χρησιμοποιεί στρωματωμένη αρχιτεκτονική. Το κάτω στρώμα αφορά τους χρήστες μεγάλης ταχύτητας και χρησιμοποιεί σταυροειδείς κυψέλες και το άνω στρώμα αφορά τους αργά μετακινούμενους χρήστες και χρησιμοποιεί τετραγωνικές κυψέλες που επικαλύπτουν μία σταυροειδή κυψέλη. Και τα δύο στρώματα έχουν τον ίδιο συντελεστή επαναχρησιμοποίησης.

- (α) Βρείτε τον αριθμό των διαπομπών ανά ώρα.
- (β) Αν διπλασιαστεί ο αριθμός των σταθμών βάσης με σχετική μείωση της εκπεμπόμενης ισχύος ενώ ο αριθμός χρηστών διατηρείται σταθερός, κατά πόσο μεταβάλλεται ο αριθμός των διαπομπών ανά ώρα;
- (γ) Επαναλάβετε το ερώτημα (β) για την περίπτωση που διπλασιάζεται και ο αριθμός των χρηστών.



[Απάντηση: (α) 785.13N_c HO/h, (β) 1518.05N_c HO/h, (γ) 3036.1N_c HO/h]

2.2 uplink $890 + A_p \text{ RadioStar} + 0,2 \text{ MHz}$

downlink $925 + A_p \text{ RadioStar} + 0,2 \text{ MHz}$

d_0 30 d

$$f_u = 890 + 30 \times 0,2 \text{ MHz} = 896 \text{ MHz}$$

$$f_d = 925 + 30 \times 0,2 \text{ MHz} = 931 \text{ MHz}$$

$$L(d) = L(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) = 20 \log\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

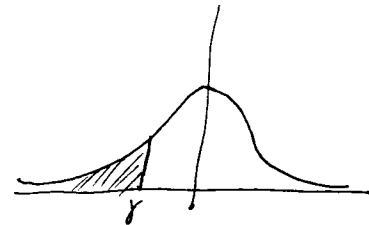
$$\lambda_u = \frac{c}{f_u} = \frac{3 \times 10^8}{896 \times 10^6} = 0,335 \text{ m}$$

$$\lambda_d = \frac{c}{f_d} = \frac{3 \times 10^8}{931 \times 10^6} = 0,322 \text{ m} \quad \Delta L = 20 \log \frac{\lambda_u}{\lambda_d} = 0,35 \text{ dB}$$

2.4. $L = L_0 + 10n \log d$ $n=4$

$\sigma = 6 \text{ dB}$

$50\% \rightarrow 90\%$



$$\Phi\left[\frac{\gamma - \overline{Pr(d)}}{\sigma}\right] = 0,5 = Q\left[\frac{\overline{Pr(d)} - \gamma}{\sigma}\right]$$

$\text{Prob}[Pr(d) < \gamma] 0,5$

$$\overline{Pr(d)} = \gamma$$

$$\text{Prob}[Pr(d') < \gamma] = 0,1 \quad Q\left[\frac{\overline{Pr(d')} - \gamma}{\sigma}\right] = 0,1$$

$$\frac{\overline{Pr(d')} - \gamma}{\sigma} = 1,28$$

$$\overline{Pr(d')} - \overline{Pr(d)} = 1,28 \sigma = 7,68 \text{ dB}$$

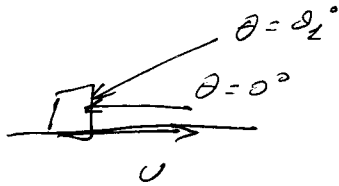
$$40 \log \frac{d}{d'} = 7,68 \quad \frac{d}{d'} = 10^{\frac{7,68}{40}} = 1,556$$

$$\frac{d'}{d} = 0,643 \quad \frac{S_c'}{S_c} = \left(\frac{d'}{d}\right)^2 = 0,413$$

2.7. u

$$\theta = 0^\circ$$

$$\theta = \theta_1^\circ$$



$$S_r(t) = A \cos(2\pi f_c t + \beta x) + A \cos(2\pi f_c t + \beta x \cos \theta_1)$$

$$S_r(t) = 2A \cos \left[2\pi f_c t + \frac{\beta x}{2} (1 + \cos \theta_1) \right] \cos \left[\frac{\beta x}{2} (1 - \cos \theta_1) \right]$$

periodic behavior : $2A \cos \left[\frac{\beta x}{2} (1 - \cos \theta_1) \right] = 2A \cos \left[\frac{2\pi u}{2\lambda} (1 - \cos \theta_1) t \right]$

$$x = ut$$

$$f_d = \frac{u}{2\lambda} (1 - \cos \theta_1)$$

$$S_r(t) = A \cos(2\pi f_c t + \beta x \cos \theta_1) + A \cos(2\pi f_c t + \beta x \cos \theta_2)$$

$$f_D = \frac{u}{2\lambda} (1 + \cos \theta_1)$$

$$f_d = \frac{u}{2\lambda} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \quad f_D = \frac{u}{2\lambda} (\cos \theta_1 + \cos \theta_2)$$

4

$$\textcircled{2.16} \quad f_c = 1.8 \text{ GHz}$$

βυθέυση 0.5

Για κάθε Hz μπορώ να μεταδώσω 1 bit

• Θα βρω το εύρος φέρου βυθέυσης

$$\tau_e = \frac{0.794 \times 0 + 1 \times 0.5 + 0.5 \times 1 + 0.25 \times 1.5 + 0.2 \times 2.5 + 0.08 \times 5}{0.794 + 1 + 0.5 + 0.25 + 0.2 + 0.08} = 0.809 \mu s$$

$$\bar{\tau}^2 = 1.612 \mu s$$

$$\text{οπότε } \tau_d = \sqrt{\bar{\tau}^2 - \tau_e^2} = \underline{\underline{0.983 \mu s}}$$

$$\text{Για βυθέυση 0.5 } B_c = \frac{1}{5\tau_d} = \underline{\underline{203 \text{ kHz}}}$$

άρα με 1 bit/Hz μεταδίδω μέχρι $R_{\max} = 203 \text{ kbps} \rightarrow \text{maximum}$

Για τον ελάχιστο ρυθμό, πρέπει να βρω το χρόνο βυθέυσης (ολισθήσει Doppler)

$$f_m = \frac{v}{\lambda} = \frac{\frac{60.000}{3600}}{1/6} = 100 \text{ Hz}$$

Θέλω διάρκεια συμβόλου < χρόνος βυθέυσης

$$\text{άρα } T_s < T \Rightarrow T_s < \frac{1}{16 \text{ pfm}}$$

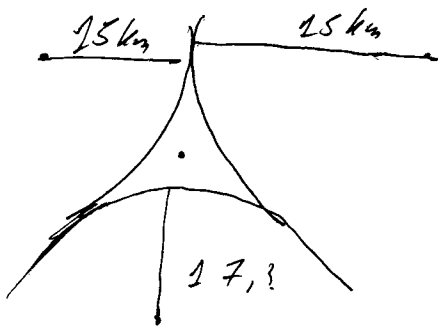
$$\text{οπότε } T_s < 1.79 \mu s$$

$$R_{\min} = \frac{1}{T_s} = \frac{10^3}{1.79} = \underline{\underline{558.6 \text{ bps}}}$$

Διαφορετικά ο δίαυλος θα είναι γρήγορος και θα έχω παραμόρφωση

ΔΙΚΤΥΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΕΠΙΜΕΣΩΝ ΕΠΙΔ. 23-5-2005

(2.5)



$$\text{Prob}[P_r(15) < \gamma] = 1 - 0,62 = 0,38 = Q\left[\frac{\overline{P_r(15)} - \gamma}{\sigma}\right]$$

$$\frac{\overline{P_r(15)} - \gamma}{\sigma} = 0,3$$

$$\overline{P_r(15)} = \gamma + 0,3 \cdot 12 = \gamma + 3,6$$

$$P_r(17,3) = P_r(15) - 10 \log \frac{17,3}{15} =$$

$$= \gamma + 3,6 - 1,86 = \gamma + 1,74$$

$$n=3$$

$$\sigma = 12 \text{ dB}$$

$$L(10) = 127 \text{ dB}$$

$$\text{Prob}[P_r(15 \text{ km}) > \gamma] = 0,62$$

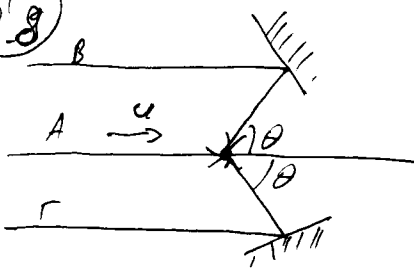
$$\frac{\overline{P_r(17,3)} - \gamma}{\sigma} = 0,145$$

$$\text{Prob}[P_r(17,3) < \gamma] = Q\left[\frac{\overline{P_r(17,3)} - \gamma}{\sigma}\right] =$$

$$= \left\{ \text{Prob}[P_r(17,3) < \gamma] \right\}^3 = 0,442^3 = 0,086$$

$$1 - 0,086 = 0,914 = 91,4\%$$

(2.8)



$$\rho = 0,5$$

$$\tilde{r}(t) = A [e^{j2\pi(f_{01}t - f_c z_1)} \tilde{u}(t - z_1) + 0,5 \cdot e^{j2\pi(f_{02}t - f_c z_2)} \tilde{u}(t - z_2) + 0,5 e^{j2\pi(f_{03}t - f_c z_3)} \tilde{u}(t - z_3)]$$

$$f_{01} = -\frac{v}{\lambda} \quad f_{02} = f_{03} = \frac{v}{\lambda} \cos \theta$$

$$\varphi_i = f_{0i} t_i - f_c z_i, \quad i = 1, 2, 3$$

$$\tilde{r}(t) = A [e^{j\varphi_1(t)} + 0,5 e^{j\varphi_2(t)} + 0,5 e^{j\varphi_3(t)}]$$

$$S_r(t) = A \cos[2\pi f_c t + \varphi_1(t)] + 0,5 A \cos[2\pi f_c t + \varphi_2(t)] + 0,5 A \cos[2\pi f_c t + \varphi_3(t)]$$

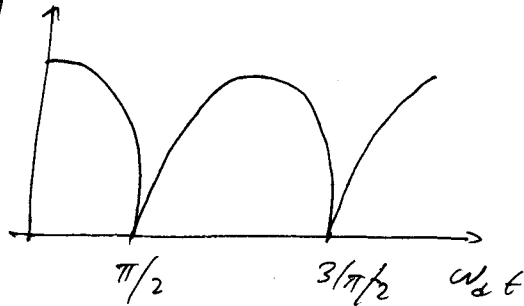
$$z_1 = z_2 = z_3 = z$$

$$S_r(t) = A [\cos 2\pi \left(-\frac{v}{\lambda} t - f_c t\right) + \cos 2\pi \left(\frac{v}{\lambda} \cos \theta - f_c t\right)] \cos 2\pi f_c t$$

$$- A [\sin 2\pi \left(-\frac{v}{\lambda} t - f_c t\right) + \sin 2\pi \left(\frac{v}{\lambda} \cos \theta - f_c t\right)] \sin 2\pi f_c t$$

$$s_r(t) = 2A \cos \left[\underbrace{\frac{\pi v}{\lambda} (1 + \cos \theta) t}_{\text{shifts q'ua.}} \right] \cdot \cos \left\{ 2\pi \left[f_c - \underbrace{\frac{\pi v}{\lambda} (1 - \cos \theta)}_{\text{Doppler}} \right] t - 2\pi f_c t \right\}$$

$$f_d = \frac{v}{2\lambda} (1 + \cos \theta) \quad \left| \frac{S_d(t)}{2A} \right|$$



$$v = 60 \text{ km/h} = 16,67 \text{ m/s}$$

$$f_c = 1,8 \text{ GHz}$$

$$\lambda = 0,167 \text{ m}$$

$$f_m = \frac{v}{\lambda} = 100 \text{ Hz}$$

$$\theta = 30^\circ$$

$$\cos \theta = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$r(t) = 2A \cos \left(100\pi \left(1 + \frac{\sqrt{3}}{2} \right) t \right) = 2A \cos (186,6 \pi t)$$

$$186,6 \pi \Delta t = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \Delta t = 2,86 \text{ ms}$$

$$\Delta d = v \Delta t = 4,77 \text{ m}$$

$$2\Delta d = 9,54 \text{ m}$$

$$\omega_D = -\frac{\pi v}{\lambda} (1 - \cos \theta)$$

$$f_D = -\frac{1 - \cos \theta}{2} \frac{v}{\lambda} = -6,7 \text{ Hz}$$

$$(2.20) \quad h(t) = V_0 \sum_{j=1}^N c_j \delta(t - t_j) \quad , \quad s(t) \cos 2\pi f_c t$$

$$N = 2 \quad c_1 = c_2 = 1$$

$$t_1 = 1 \mu\text{s} \quad t_2 = 2 \mu\text{s}$$

$$H(f)$$

$$H(f) = F[h(t)] = V_0 \sum_{i=1}^2 c_i e^{-j2\pi f t_i}$$

$$H(f) = V_0 e^{-j2\pi f 1,5 \mu\text{s}} 2 \cos(2\pi f_c 0,5 \mu\text{s})$$

$$H(f) = 0 \Rightarrow 2\pi f 0,5 \mu\text{s} = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \dots \quad \Delta f_{\text{null}} = 1 \text{ MHz}$$

Δίκτυα κινητών 21-3-2005

Παράδειγμα

Κυβερνώ σύστημα χρησιμοποιεί φάσμα με αριθμό διαύλων $M=1000$
 Το εμβαδό κάθε κυψέλης είναι 6km^2 και η συνολική περιοχή κάλυψης
 είναι 2100km^2

(α) Ποιος ο συνολικός αριθμός διαύλων C για $k=7$,

$$f = \frac{2100}{k \times S_c} = \frac{2100}{7 \times 6} = 50 \text{ ομάδες επαναχρ}$$

$$C = f \times M = 50 \times 1000 \text{ διαύλοι}$$

(β) Πόσες φορές επαναχρησιμοποιείται το φάσμα όταν $k=4$;

$$f' = \frac{2100}{4 \times 6} = 87.5$$

$$C' = f' \times M = 87.5 \times 1000 \text{ διαύλοι}$$

(γ) Πόσο μεταβάλλεται η χωρητικότητα;

$$\frac{87.5000 - 50000}{50000} = 75\%$$

9

3.6

$$R_c = 28$$

8 διαλτ1 → 1 για επεξεργασία

$$GOS = 2\% \rightarrow 5\%, 10\%, 15\%$$

$$K = 4$$

20%

Λύση:

$$\frac{R_c}{K} = \# \text{ ραδιοδιαλτ1 / κυστ1}$$

$$C_c = 7 \times 8 - 1 = 55 \text{ διαλτ1 / cell}$$

↓
διαλτ1
χρ16μ

$$\left. \begin{matrix} C = 55 \\ GOS = 2\% \end{matrix} \right\} A = 44.9 \text{ erlang : προεπερ1μένο φορτίο}$$

$$\bullet \left. \begin{matrix} C = 55 \\ GOS = 5\% \end{matrix} \right\} A' = 49.5 \text{ erlang}$$

$$\Delta A = \frac{49.5 - 44.9}{44.9} = 10.24\% \rightarrow \text{αύξηση φορτίου}$$

↓
αυτοζυγισμ1 χρησ1ων

$$\frac{10.24}{20} \rightarrow \text{για } 0.51 \text{ ετ1 μπορούμ να αναβάτ1τ1 τη διαλτ1ση κυστ1ων}$$

$$\bullet GOS = 10\% \Rightarrow A'' = 55 \text{ erlang}$$

$$\frac{A'' - A}{A} = 22.49\% \quad \frac{22.49}{20} = 1.12 \text{ ετ1}$$

κ.ο.κ.

(3.9)

28 MHz

W = 200 kHz

8 διαλ.

R = 1 km

K = 7

 $\lambda = 2 \text{ urlosu/h}$

H = 3 min

m = 4

(a) P_{t1} : ισχύς πομπής, $P_{t2} = ? \Rightarrow$ ίδιες στάθμες στα όρια $R' = R\sqrt{7}$: 7-πλάσιο ακτίνα $\Rightarrow$ υπερυψεύσει ισχύος

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= P_{t1} \cdot R^{-m} \\ P_2 &= P_{t2} \cdot R'^{-m} \end{aligned} \right\} \text{σταθμη ισχύος κυρίας} \Rightarrow \text{ΟΕΙ} \quad P_1 = P_2$$

$$\text{άρα } P_{t2} = P_{t1} \cdot \left(\frac{R'}{R}\right)^m = P_{t1} \cdot 49$$

(b) 20% φόρμαση $\rightarrow$ υπερυψεύσεις

GOS = 2%

$$\frac{28.000}{(2 \times 200)} = 70 \text{ ραδιοδιαλ.}$$

για έλεγχο αμφίδρομης γείγης

$$N_{r, \text{micro}} = 0.8 \times 70 = 56 \text{ ραδιοδιαλ.}$$

$$N_{r, \text{macro}} = 0.2 \times 70 = 14 \text{ ραδιοδιαλ.}$$

$$\text{άρα } \frac{56}{7} = 8 \text{ ραδιοδ./cell} \Rightarrow 8 \times 8 = 64 \text{ διαλ./cell}$$

$$\frac{14}{7} = 2 \text{ ραδιοδ./cell} \rightarrow 8 \times 2 = 16 \text{ διαλ./cell}$$

$$\text{για } C = 64 \left\{ \begin{aligned} \text{GOS} = 2\% \\ A_{\text{micro}} = 53.4 \text{ erlang} \end{aligned} \right.$$

$$C = 16 \left\{ \begin{aligned} \text{GOS} = 2\% \\ A_{\text{macro}} = 9.83 \text{ erlang} \end{aligned} \right.$$

$$\eta = \frac{A_{tc}}{S_c \cdot B_s} = \frac{(A_{\text{micro}} + \frac{A_{\text{macro}}}{7}) \cdot (1 - \text{GOS})}{2.6 \text{ km}^2 \times 14 \text{ MHz}}$$

$\nwarrow$ $\swarrow$
 χωρητικότητα $\swarrow$ $\nwarrow$
 ανά διαλ. $\swarrow$ $\nwarrow$
 ανά cell $\swarrow$ $\nwarrow$
 ανά κτ/κτ

$$\Rightarrow \eta = 1.475 \text{ erlang/MHz/km}^2$$

$$\text{Αν δεν υπήρχαν υπερυψεύσεις: } C = 80 \Rightarrow A = 68.7 \text{ erlang}$$

$$\text{max } \eta' = \frac{68.7 \times 0.98}{2.6 \text{ km}^2 \times 14 \text{ MHz}} = 1.85 \text{ erlang / MHz / km}^2$$

$$(\gamma) N_{uc} = \frac{A_{\text{micro}} + A_{\text{macro}}}{A_u} = 632 \text{ χρήστες / cell}$$

max
χρήστες

$$\rho = \frac{K \cdot A_{\text{micro}} + A_{\text{macro}}}{K \times S_c \times A_u} = 210.8 \text{ χρήστες / km}^2$$

Κανονική
περίπτωση

(3.5)

2,8 GHz

14 MHz

200 kHz, 8 ch

n=4

k=7

S = 2.500 km²P_e = 2 W. d₀ = 1 kmG_t = 10 dB, G_r = 3 dB

σ = 8 dB, -90 dB, 90%.

$$R_{ch} = \frac{B_s}{W} = \frac{14.000}{200} = 70 \text{ channels}$$

$$12 \times 8 = 96 \Rightarrow 95 \text{ channels available}$$

$$\text{Prob} [\overline{P_r(R)} < \gamma] = 0,1$$

$$Q \left[\frac{\overline{P_r(R)} - \gamma}{\sigma} \right] = 0,1 \quad (Q(1,28) = 0,1)$$

$$\frac{\overline{P_r(R)} - \gamma}{\sigma} = 1,28 \Rightarrow \overline{P_r(R)} = \gamma + 1,28\sigma$$

$$\gamma = -90 - 3 = -93 \text{ dBm}$$

$$\overline{P_r(R)} = -93 \text{ dBm} + 1,28 \cdot 8 = -93 + 10,24 = -82,76 \text{ dBm}$$

$$P_r(R) = P_r(d_0) = 10 \log \frac{R}{d_0}$$

$$L(d_0) = 20 \log \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right)$$

$$-82,76 = -54,55 + 10 \log \frac{R}{d_0} \Rightarrow R = 5,07 \text{ km}$$

$$S_c = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2 = 66,8 \text{ km}^2$$

$$N_c = \left\lceil \frac{25.000}{S_c} \right\rceil = 38 \text{ cells}$$

$$E_c = \left[\frac{R_{ch}}{k} \right] \times 8 = \left[\frac{70}{7} \right] \times 8 = 80 \text{ channels/cell}$$

$$\frac{N_c}{k} = \frac{38}{7} = 5,43 \text{ cells per frequency}$$

$$\left. \begin{array}{l} GOS = 0,05 \\ C_c = 79 \end{array} \right\} \Rightarrow 73,8 \text{ erlang}$$

$$N_{u,c} = \frac{73,8}{A_1} = 73,8 \text{ xpr/cell.}$$

$$N_{u,ol} = 38 \times N_{u,c} = 2804 \text{ xpr.}$$

3.13 10MHz

A. α αναλογικά συστήματα, $W_1 = 30 \text{ kHz}$

β) ψηφιακά " " , $W_2 = 30 \text{ kHz}$, 3 xpr/Siαυτο

γ) " " , $W_3 = 200 \text{ kHz}$, 8 xpr/Siαυτο

$$\frac{10000}{30} = 333 \text{ xpr.}$$

$$\frac{10000}{30} \times 3 = 1000 \text{ xpr.}$$

$$\frac{10000}{200} \times 8 = 400 \text{ xpr.}$$

B.  Ίδιος αριθμός χημικών

Γ. Εξαρτάται από το K.

Δ. α) $K=7$, 3 xpr/s/cell.

900 xpr/s/cell.

$A = 2 \text{ min}$ $GOS = 2\%$

$$C_c = \frac{333 \text{ Siαυτο}}{K} = \left\lfloor \frac{333}{7} \right\rfloor = 47 \text{ Siαυτο/cell.}$$

$$C_s = \left\lfloor \frac{47}{3} \right\rfloor = 15 \text{ Siαυτο/επίτ}$$

$$\left. \begin{array}{l} C_s = 14 \\ GOS = 2\% \end{array} \right\} \Rightarrow A_s = 8,2 \text{ erlang}$$

$$N_{u,s} = 300 \text{ xpr./επίτ.}$$

$$A_s = 2 \cdot H \cdot N_{u,s} = 8,2 \text{ erlang} \Rightarrow \lambda = 0,82 \text{ υπηρεσ/επ.}$$

- Διάρθρωση Κινητών και Προστασιών Επικοινωνιών.

28-3-2005.

4.1. $2N$
 $K \geq N$

$$\sigma = 7,07 \text{ dB}$$

$$n = 3$$

$$\frac{S}{I} \geq 13,55 \text{ dB}$$

$$(2k-1)r$$

$$\bar{S} = C - 10n \log r = C - 30 \log r$$

$$\bar{I} = C - 10n \log [(2k-1)r] = C - 30 \log [(2k-1)r]$$

$$\bar{S} - \bar{I} = 30 \log (2k-1)$$

$$\text{Prob} \left[\frac{S}{I} \geq 13,55 \right] = 0,95$$

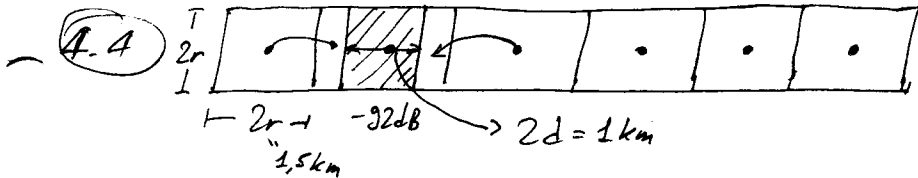
$$Q \left[\frac{\bar{S} - \bar{I} - 13,55}{\sqrt{2} \cdot \sigma} \right] = 0,05$$

$$Q(1,645) = 0,05$$

$$30 \log (2k-1) - 13,55 = 1,645 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,07$$

$$2k-1 = 10 \Rightarrow$$

$$k = \frac{1}{2} (10+1) \Rightarrow \boxed{k=6}$$



$$B_s = 4,8 \text{ MHz}$$

$$K=3$$

$$P_r(250 \text{ m}) = -82 \text{ dBm}$$

$$P_u = 100 \text{ x p/km}^2 \rightarrow 150 \text{ x p/km}^2$$

$$\lambda = 2kd/h \quad \left. \begin{array}{l} \\ H = 3 \text{ m} \end{array} \right\} A_u = 0,1 \text{ erlang}$$

$$RC = \left\lceil \frac{B_s}{2w} \right\rceil = \frac{4,8}{2 \cdot 0,2} = 12 \text{ perodioidia,}$$

$$RC_c = \frac{RC}{K} = 4 \text{ perodioidia, / x p/km}^2$$

$$C_c = RC \times 8 - 1 = 31 \text{ διευρ./cell}$$

$$A_c = \underset{2r}{1,5} \times \underset{2r}{1,5} \times \underset{P_u}{100} \times \underset{A_u}{0,1} = 22,5 \text{ εκταγ./cell.}$$

$$C = 31 \Rightarrow GOS = 1,8\%$$

$$P(d) = P(250m) - 10n \log \frac{d}{250}$$

$$-92 = -82 - 30 \log \frac{d}{250} \Rightarrow d = 500m$$

$$A'_c = 1 \times 1,5 \times 150 \times 0,1 = 22,5 \text{ εκταγ}$$

$$C = 31 \Rightarrow GOS = 1,8\%$$

$$A''_c = 22,5 + 0,25 \times 1,5 \times 150 \times 0,1 = 28,12 \text{ εκταγ.}$$

$$C = 31 \Rightarrow GOS = 2,5\%$$

$$P_r(1km) = P(250) - 30 \log \frac{1000}{250} = -100dBm$$

$$\frac{S}{I} = \frac{r^{-3}}{(6r-r)^{-3} + (6r+r)^{-3}} = 19,62 \text{ dB}$$

$$\frac{S'}{I} = \frac{\left(\frac{4}{3}r\right)^{-3}}{\left(2kr - \frac{4}{3}r\right)^{-3} + \left(2kr + \frac{4}{3}r\right)^{-3}} = 15,32 \text{ dB}$$

$$\Delta = 4,3 \text{ dB.}$$

4.20 $n=4$

1,5 φορές μεγαλύτερο εύρος ζώνης
6 dB.

Εξίσωση 1: C_1, K_1

" 2: C_2, K_2

$$C_{c1} = \frac{C_1}{K_1}$$

$$C_{c2} = \frac{C_2}{K_2}$$

$$\frac{C_1}{C_2} = 1,5$$

$$\frac{k_2}{k_2} = \left(\frac{\left(\frac{S}{I}\right)_2}{\left(\frac{S}{I}\right)_2} \right)^{2/n}$$

$$\frac{k_2}{k_2} = (10^{0,6})^{4/2}$$

$$\frac{C_{c2}}{C_{c2}} = \frac{\frac{C_2}{k_2}}{\frac{C_2}{k_2}} = 0,752 \rightarrow \text{Το σύστημα με ανδικοποίηση}$$

δίνει 1,3 φορές περισσότερους
Scandium/cell.

(4.9) $d_0 = 1m$ $P_r(1m) = 1mW$
 $-100dBm$
 $n=3$

(a) K_{max} , $K=7$

$I = 6 \times 10^{-10} mW$

με $K=7, n=3 \Rightarrow \frac{S}{I} = 16$ οπότε $S = 16 \times I = 96 \times 10^{-10} mW$

ήδη $S_{dBm} = 10 \log(96 \times 10^{-10} mW) = -80.2 dBm$

οπότε $P(R) = P_r(d_0) - 10n \log \frac{R}{d_0}$

$\uparrow \quad \uparrow$
 $-80.2 = 0 dBm - 10 \times 3 \times \log \frac{R}{1}$

$\Rightarrow R = 470m$

(β) Όμοιος με (α)...

(γ) 7800 xP/km^2

$D > 20sec$

$\lambda = 1 \text{ uA/h}$ $H = 1min$

$S_c = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2 = 0.574 km^2$

$N_{u,c} = \rho \times S_c = 7800 \times 0.574 = 4477 \text{ xP/cell}$

$A_c = N_{u,c} \times A_u = 4477 \times 1 \times \frac{1}{60} = 74.62 \text{ erlang}$

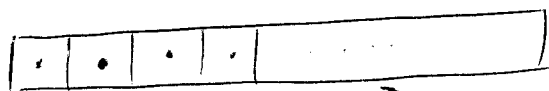
ήδη $C_c = \left[\frac{660-30}{7} \right] = 90 \text{ διαγρ/cell}$

$C=90$
 $A=74.62$ } $\Rightarrow GOS = 5\%$ $\rightarrow$ πιθανότητα
 μέγιστη σφάλμα για 4246η

$Prob[\text{delay} > 20sec | \text{delay} > 0] = e^{\frac{-(C-A) \cdot t}{(C-A) \cdot t}} = e^{\frac{-(90-74.6) \times 20}{60}} = 5.92 \times 10^{-3}$

ήδη $Prob[\text{delay} > 20sec] = 0.05 \times 5.92 \times 10^{-3} = 2.96 \times 10^{-4}$

(4.5)



$$W = 160 \text{ m}$$

$$P_A = 16 \times 10^{-6} \text{ erlang/m}^2$$

$$GOS = 0.01$$

$$C_n = 200 \text{ διατάξεις} \quad S/I = 15 \text{ dB}$$

$$(a) \quad \frac{S}{I} = \frac{\left(\frac{L}{2}\right)^{-n}}{\left(kL - \frac{L}{2}\right)^{-n} + \left(kL + \frac{L}{2}\right)^{-n}} = \frac{1}{(2k-1)^{-n} + (2k+1)^{-n}} \Rightarrow$$

$$\frac{S}{I} = 10^{1.5} \Rightarrow \frac{1}{2(2k-1)^{-n}} = 10^{1.5} \Rightarrow 2k-1 = 2.82 \Rightarrow \boxed{K=2}$$

$$\alpha \text{ για } \frac{S}{I} = \frac{1}{3^{-4} + 5^{-4}} = 71.7 (18.55 \text{ dB}) \quad \text{Γεύση ααθόδω}$$

$$\frac{S}{I} = \frac{(2K-1)^4}{2} = 40.5 (16 \text{ dB}) \quad \text{Γεύση ααθόδω}$$

$$\text{Θέλω το ποσοστό σε κάθε συσκευή: } A(L) = W L P_A = 256 \times 10^{-5} \text{ l erlang}_{\text{cell}}$$

$$\text{Με } K=2 \Rightarrow C_c = 98 \text{ διατάξεις/cell}$$

$$\left. \begin{array}{l} C_c = 98 \\ GOS = 0.01 \end{array} \right\} \Rightarrow A_c = 82.2 \text{ erlang} \rightarrow \text{ορίστε } \text{βρίσκουμε } L = 32.11 \text{ km}$$

$$(B) \quad P_r(R) = 10 \log(P_t G_t G_r) - 40 \log R + 20 \log h_b + 20 \log h_m \Rightarrow$$

$$-40 \log R + 20 \log h_b = -40 \log R' + 20 \log h_b' \Rightarrow$$

$$40 \log \frac{R}{R'} = 20 \log \frac{h_b}{h_b'} \Rightarrow R' = \frac{R}{2\sqrt{2}} \Rightarrow$$

$$L' = \frac{60 \text{ km} \rightarrow \text{maximum}}{2\sqrt{2}} = 21.21 \text{ km}$$

$$A(L') = 53.76 \text{ erlang} \left\{ \begin{array}{l} GOS = 0.01 \\ + 2 \text{ διατάξεις} \end{array} \right. \Rightarrow C = 68 \Rightarrow 70/\text{cell} \xrightarrow{K=2} 140 \text{ διατάξεις} \text{ συνολικά}$$

4.24 60° $\sigma = 8\text{dB}$, $\hat{S}$
 $n = 4$, 15dB

$$\bar{S} = C - 10n \log R = C - 40 \log R$$

$$\bar{I} = C - 10n \log(D + 0.7R) = C - 40 \log[(\sqrt{3k} + 0.7)R]$$

ανόβηση
 ανακρίβεια

$$D = \sqrt{3k}R \text{ για } 6\text{-γινώσκ}$$

$$\Delta p \propto \bar{S} - \bar{I} = 40 \log(\sqrt{3k} + 0.7) \quad (1)$$

$$\text{Θέλω } \text{Prob}[S - I < 15] = 0.05 \Rightarrow$$

$$Q\left[\frac{\bar{S} - \bar{I} - 15}{\sqrt{2}\sigma}\right] = 0.05 \xrightarrow{(1)} Q[1.64] = 0.05$$

για εύρεση
 τιμής στατιστικής
 διασποράς

$$\Rightarrow \boxed{k = 13}$$

- Διάρκεια Μεγιστών και Ελάχιστων Επιδεινύσεων

4-4-2005

Παράδειγμα 5.3

$$C_c = \frac{332}{4} = 82 \text{ διαυδ./cell.}$$

$$\textcircled{B} \quad \left. \begin{array}{l} C = 82 \\ A = 76,6 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{GOS} = 5\%$$

$0 \downarrow 10$

$$\left. \begin{array}{l} C = 92 \\ A = 76,6 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{GOS} = 1\%$$

$$\overset{58}{\Delta_1}, \overset{60}{\Delta_2}, \overset{58}{\Delta_3}$$

72

$$\Delta_1 : \text{GOS} = 0,1\%$$

$$\Delta_2 : \text{GOS} = 1,5\%$$

$$\Delta_3 : \text{GOS} = 1\%$$

$$\Delta_2 = 74$$

Παράδειγμα 5.4.

$$T_b = \frac{1}{2708336 \text{ ps}} = 3,692 \mu\text{s}$$

$$T_{\text{slot}} = 156,25 \times 3,692 \mu\text{s} = 0,577 \text{ ms}$$

$$T_{\text{frame}} = 8 \cdot T_{\text{slot}} = 4,616 \text{ ms}$$

$$N_f = 8 \times 156,25 = 1250 \text{ bit}$$

$$b_{\text{oh}} = 8 \times 6 + 8 \times 8,25 + 8 \times 26 = 322 \text{ bit}$$

$$N_f = \left(1 - \frac{322}{1250} \right) = 0,7424$$

$$\frac{\overset{\text{slot}}{\underset{\text{signals}}{8 \times 25.000 \text{ kHz}}}}{\underset{\text{op. signals}}{200 \text{ kHz}}} = 1000 \text{ xpsigs.}$$

Παράδειγμα

$$R = 9,6 \text{ kbps}$$

$$R_c = 10 \text{ Mcps}$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{req}} = 6 \text{ dB}$$

$$\text{Margin} = 10 \log \frac{10^7}{9,6 \times 10^3} - 6 = 24,18 \text{ dB}$$

$$G_s = \frac{10^7}{9,6 \cdot 10^3}$$

$$10^{2,418} \approx 262 \text{ φορές}$$

$$N_u = \frac{G_s}{\frac{E_b}{N_0}}$$

$$\text{Τίτλος Shannon: } \frac{C}{B_T} \leq 1,44 \frac{S}{N} \Rightarrow \frac{C}{B_T} \leq 1,44 \frac{E_b \cdot C}{N_0 \cdot B_T}$$

$$\frac{E_b}{N_0} \geq 0,69 \Rightarrow N_u = \frac{G_s}{0,69} = 1,44 G_s$$

5.1.

$$R = 2 \text{ km}$$

$$K = 7$$

$$C_0 \lambda = 660$$

$$\rho = 75 \text{ x.p./km}^2$$

$$A_u = 0,1 \begin{cases} \lambda = 2 \text{ antennas/h} \\ H = 3 \text{ m} \end{cases}$$

$$\frac{D}{R} = \alpha = \sqrt{3K} = 4,58$$

$$R_1 \quad \alpha' \geq 4,58$$

$$\frac{D'}{R_1} = \alpha' \geq 4,58$$

$$\rightarrow 3R \Rightarrow \frac{3R}{R_1} \geq 4,58$$

$$R_1 \leq 0,655R \Rightarrow R_2 \leq 1,31 \text{ km}$$

$$S_{c2} = 2,6 R_1^2 = 4,46 \text{ km}^2$$

$$S_c = 2,6 R^2 = 10,4 \text{ km}^2$$

$$S_{out} = S_c - S_{c2} = 5,94 \text{ km}^2$$

$$A_{out} = S_{out} \times \rho \times A_u = 44,47 \text{ erlang}$$

$$C_c = \frac{C_{02}}{k} = \frac{660}{7} = 94 \text{ Signale/cell.}$$

$$A_c = S_c \times p \times A_n = 77,9 \text{ erlang/cell} \} \Rightarrow GOS = 1\%$$

$$C_c = 93$$

$$A_{out} = 44,47 \text{ erlang} \} \Rightarrow C_{out} = 58 \text{ Signale}$$

$$GOS = 1\%$$

$$C_{out} = 58 + 1 = 59 \text{ Signale}$$

$$C_{in} = 94 - 59 = 35 \text{ Signale}$$

$$A_{in} = S_{c1} \times p \times A_n = 33,45 \text{ erlang}$$

$$A_{in} = 33,45 \} \Rightarrow C = 45 \text{ Signale}$$

$$GOS = 1\%$$

5.2

$$K=7$$

$$C_c = 60$$

$$GOS = 2\%$$

$$n=4$$

$$D_A = D_B = R\sqrt{7}$$

$$D_r = D_z = R\sqrt{28} = 2R\sqrt{7}$$

$$D_D = D_E = 7R$$

$$\frac{S}{I} = \frac{R^{-n}}{2D_A^{-n} + 2D_r^{-n} + 2D_D^{-n}} = 22,63$$

$$\frac{S}{I} = 13,54 \text{ dB}$$

$$C_c = 59 \text{ Signale} \} \Rightarrow A_c = 48,7 \text{ erlang}$$

$$GOS = 2\%$$

$$\frac{S}{I} = \frac{1}{2 \times 7^{-4} + (2\sqrt{7})^{-4}} = 474,27$$

$$\frac{S}{I} = 26,76 \text{ dB}$$

$$C_s = 19 \text{ Signale/caprio} \} \Rightarrow GOS = 9\%$$

$$A_s = 16,2 \text{ erlang}$$

$$GOS = 2\%$$

$$\} \Rightarrow C_s = 24 \text{ Signale/caprio}$$

$$A_s = 16,2 \text{ erlang}$$

$$C_0 = 3C_s = 3 \times 25 = 75 \text{ sites/cell}$$

$$\begin{array}{l} \text{5.6.} \\ G_s = 512 \\ k = 0,4 \\ \frac{E_b}{N_0} = 3 \text{ dB} \end{array}$$

$$\frac{S}{I} = \frac{P_r}{(N_u - 1) \frac{P_r}{G_s} \times K} \Rightarrow$$

$$N_u = 1 + \frac{G_s \rightarrow 512}{k \left(\frac{E_b}{N_0} \right) \rightarrow 2} = 641 \text{ users}$$

$$I = \frac{N_u - 1}{2} \cdot \frac{P_r}{G_s} + \frac{P_r}{G_s} \left(\frac{r}{R} \right)^{-\alpha}$$

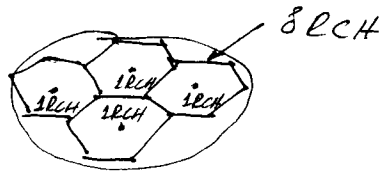
$$\frac{S}{I} = \frac{G_s \rightarrow 512}{\left[\frac{N_u - 1}{2} + \left(\frac{r}{R} \right)^{-\alpha} \right] K \rightarrow 0,4}$$

$\downarrow$
 2

$\downarrow$
 322

$$\frac{r}{R} = 0,192$$

(6.1) $3 RCH / cell$
 $GOS = 1\%$



$C_c = 23 \text{ διαδρομ.} \Rightarrow A_c = 14,5 \text{ εκταγή}$
 $GOS = 1\%$

micro: $\left\{ \begin{array}{l} C_c' = 7 \\ GOS = 1\% \end{array} \right\} \Rightarrow A_c' = 2,5 \text{ εκταγή}$

macro: $\left\{ \begin{array}{l} C_c'' = 63 \\ GOS = 1\% \end{array} \right\} \Rightarrow A_c'' = 49,7 \text{ εκταγή}$

micro = $2,5 + \frac{49,7}{4} = 14,67 \text{ εκταγή}$

$A_{c \max} = 2,5 + 49,7 = 52,2 \text{ εκταγή}$

3,56 φορές περισσότερο φορτίο.

(6.4) $TA = 0-63$

$d = 10 \text{ km}$

$R_b = 270,83 \text{ kbps}$

$T_b = \frac{1}{270,83} \text{ ms}$

$d_{TA} = \frac{TA \cdot C \cdot T_b}{2} = TA \cdot 554 \text{ m}$

Av $d_{TA} = 10 \text{ km} \Rightarrow TA = \frac{10.000}{554} = 18$

(6.8) $B_s = 18,8 \text{ MHz}$

96 αυγάδια

$K = 7$

$K_{es} = 3$

a) $R_{CH} = \frac{B_s}{2W} = \frac{18800}{400} = 47 \text{ παρ. διαδρομ.}$

$\alpha = \frac{P_o}{P_i} = \sqrt{3K_0} = \sqrt{21} = 4,58$

$$a = \frac{D_i}{L_i} = \frac{3R_0}{L_i} \Rightarrow L_i = 0,655R_0$$

$$Q \quad S_{ci} = 0,43 S_{co}$$

$$K_0 \times S_{co} \times R_{CHc} + K_i \times S_{ci} \times R_{CHc} = 47.$$

$$7 \times 0,57 \times R_{CHc} + 3 \times 0,43 \times R_{CHc} = 47.$$

$$R_{CHc} = 9 \text{ Σιαυτό,}$$

$$0,57 \times 9 = 5,13 \approx 5$$

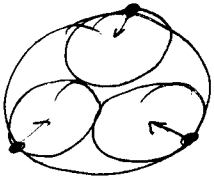
$$0,43 \quad 4$$

$$7 \times 5 = 35$$

$$3 \times 4 = \frac{12}{47 \text{ Σιαυτό,}}$$

$$C_c = (5 \times 8 - 2) + (4 \times 8 - 2) = 62 \text{ Σιαυτό, χρώστα/αφίστα,}$$

$$96 \times 62 = 6528 \text{ χρώστα}$$



$$K' = 4$$

$$R_{CHc}' = \frac{R_{CH}}{K'} = 11 \text{ ραβδό Σιαυτό./cell.}$$

$$(11 \times 8 - 2) = 86 \text{ Σιαυτό, χρώστα/cell.}$$

$$96 \times 86 = 8256 \text{ χρώστα.}$$

ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΕΛΙΤΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝ. 18/4/2025

Παράδειγμα 8.1

$$P_A(2\text{km}) = -80\text{dBm}$$

$$T_A(x) = -40 \log x + C$$

↓

$$-98\text{dBm} = -40 \log x + 40 \log(2\text{km}) - 80\text{dBm}$$

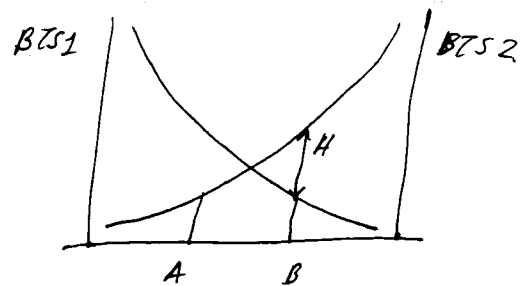
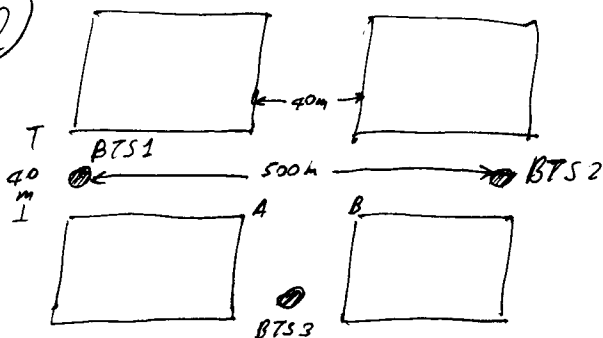
$$x = 5.64\text{km}$$

$$T_B(1-x) = -40 \log \frac{1-x}{2\text{km}} - 80\text{dBm} = -87.2\text{dBm} > -90\text{dBm}$$

$$19-5.64$$

$$H = 8\text{dB}$$

8.2



$$T \leq T_1\text{dBm}$$

$$H\text{dB}$$

$$T \leq T_2$$

$$T_{(1.5)} = -10\text{dBm}$$

$$n = 4$$

$$0.15\text{dB/m}$$

1sec για τη διαδρομή

$$T_{\min} = -103\text{dBm}$$

$$T_{B2} - T_{B1} < H$$

$$T_{B2} = T_{A1} = T(230\text{m})$$

$$T_{B1} = T(270\text{m})$$

$$T_{A1} = T(1) + 40 \log 1 - 40 \log x_1^{230\text{m}} = -97.4\text{dBm} = T_1$$

$$T_{B2} - T_{B1} = T_{A1} - T_{B1} = 40 \log \frac{x_2}{x_1} = 40 \log \frac{270}{230} = 2.78\text{dBm}$$

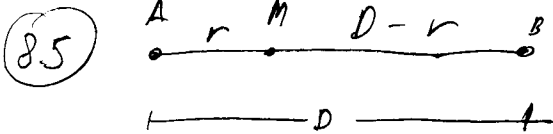
$$T_{B1} = -100.2\text{dBm}$$

$$\frac{T_2 - T_{\min}}{0.15\text{dB/m}} \geq 0.1\text{sec} \Rightarrow \frac{T_2 + 103}{0.15} \geq 13.9\text{m} \Rightarrow T_2 \geq 100.9\text{dBm}$$

$$T_2 - T_1 = 3,5 \text{ dB}$$

$$\frac{3,5 \text{ dB}}{0,15 \text{ dB/m}} = 23,3 \text{ m}$$

$$-10 \log \frac{1}{x} \Rightarrow x = 279,3 \text{ m}$$



$$\sigma(\text{dB}) \quad |P_{rA}(\text{dB}) - P_{rB}(\text{dB})| < H$$

do

$$P_{rB}(\text{dB}) \geq P_{rA}(\text{dB}) + H$$

m

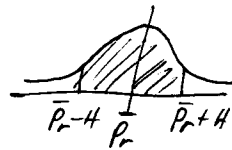
$$\text{Prob} = (-H < P_{rA} - P_{rB} < H)$$

$$\bar{P}_r = \bar{P}_{rA} - \bar{P}_{rB} = 10 \log \frac{D-r}{r}$$

$$\sigma_x = \sqrt{2} \cdot \sigma$$

$$\Phi\left(\frac{H - \bar{P}_r}{\sqrt{2} \cdot \sigma}\right) = \Phi\left(\frac{-H - \bar{P}_r}{\sqrt{2} \cdot \sigma}\right) =$$

$$= Q\left(\frac{\bar{P}_r - H}{\sqrt{2} \cdot \sigma}\right) - Q\left(\frac{\bar{P}_r + H}{\sqrt{2} \cdot \sigma}\right)$$



$$\text{Prob}(P_{rB} \geq P_{rA} + H) = \text{Prob}(P_{rA} - P_{rB} \leq -H) =$$

$$= \Phi\left(\frac{-H - \bar{P}_r}{\sqrt{2} \cdot \sigma}\right) = Q\left(\frac{H + \bar{P}_r}{\sqrt{2} \cdot \sigma}\right)$$

Δίκτυο Κινητών G-S-2005

9.2) $C_{\text{cell}} = 640$ διαγώνια $K=7$ $p = 160 \times 10^6 \text{ bps/km}$
 $v = 50 \text{ km/h}$
 $\lambda = 2 \text{ ms/h}$ $H = 3 \text{ min}$



5 km

Αυξάνω το K σε 8 για αποφυγή διασπορών

μέγιστο φορτίο: 50 erlang/cell

$P = \frac{t_{\text{cross}}}{t_{\text{cross}} + t_{\text{call}}}$ πιδανόρμα να
παραμείνει υδάτον

640 $\left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{640}{7} \right] = 91 \text{ διαγώνια/cell} \\ \left[\frac{640}{8} \right] = 80 \text{ διαγώνια/cell} \end{array} \right.$

cell crossing rate: $p \cdot v = 160 \frac{\text{xp}}{\text{km}} \cdot 50 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 8000 \frac{\text{crossing}}{\text{h}}$

HO rate $= 8000 \times A_{\text{u}} = 800 \text{ HO/h}$

Φορτίο HO $= \text{HO rate} \times H = 800 \times \frac{1}{20} = \underline{40 \text{ erlang}}$
 $3 \text{ min} = \frac{1}{20} \text{ h}$

Συνολικό: $A = 50 + 40 = 90 \text{ erlang}$

1^η) $C = 91$ διαγώνια $\Rightarrow \text{GOS} = 7\%$
για $K=7$

$t_{\text{cross}} = \frac{5 \text{ km}}{50 \text{ km/h}} = 0.1 \text{ h} = 6 \text{ min}$

2^η) $p = \frac{6}{6+3} = 0.667$

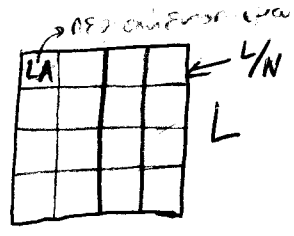
2^η) $\text{Φορτίο HO} = \text{HO rate} (1-p) \cdot H = \underline{13.32 \text{ erlang}}$
αν βυρσίγει η υδάτον
να μην επηρεαστεί

33

ανά σταθμό να έχω: $\frac{50+13.32}{2} = 31.66 \text{ erlang}$ με $C = 40 \frac{\text{διατάξεις}}{\text{σταθμό}}$ } $\Rightarrow \text{GOS} = 2.5\%$

• Με το ίδιο φάσμα και αυξανοντας το N ($\downarrow$ διατάξεις)
βελτιωσα το βαθμό εξυπηρέτησης

9.3



- σ
- β
- N^2
- ν
- P εντάξιμος
- R εμπέριωση

$$S_{LA} = \frac{L^2}{N^2}$$

$B_i = \beta \cdot \frac{L^2}{N^2}$
σταθμοί
ανά
κύβω

κυψέλλες/LA : $N_i = \sigma \frac{L^2}{N^2}$

BTS/LA

υπόσ
ανάγκης/LA = $(N_i \cdot 2) \cdot B_i \cdot P = 2P\beta\sigma \frac{L^4}{N^4} = C_{Pi}$

$C_P = N^2 C_{Pi} = 2P\beta\sigma \frac{L^4}{N^2}$ συνολικός
υπόσ ανάγκης

περίμετρος LA = $\frac{4L}{N}$

$C_{Lu_i} = \frac{\sigma \cdot \nu}{\pi} \cdot \frac{4L}{N} R(1-A_u)$

$C_{Lu} = N^2 \cdot C_{Lu_i} = \frac{4L\sigma\nu R}{\pi} (1-A_u) \cdot N$ συνολικός υπόσ
εμπέριωση

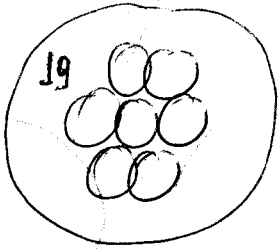
$C_T = C_P + C_{Lv}$ συνολικός υπόσ

Θεωρω ως προς N για να το ελαχιστοποιήσω

$\frac{dC_T}{dN} = 0 \Rightarrow N = \infty$ και $C_{Tmin} = \infty$

9.4 $R = 2 \text{ km}$
 7 cells/LA

$\lambda/p = ?$



$\sigma = 4500 \text{ ap/km}^2$

$v = 10 \text{ km/h}$

$A_u = 0.1 \text{ erlang}$

$H = 2 \text{ min}$

70% Mobile Terminating

$p = \frac{p' - p}{p'}$

$P_p = 6R\sqrt{7}$

$P_{p'} = 6R\sqrt{19}$

$p = R\sqrt{7} \text{ (με 7 κυψέλλες)}$

$p' = R\sqrt{19} \text{ (19 κυψέλλες)}$

BTS/LA : $B_2 = 7$

BTS/LA' : $B_2' = 19$

$p = \frac{p' - p}{p'} = \frac{\sqrt{19} - \sqrt{7}}{\sqrt{19}} = 0.393$

Βρίσκω $\lambda = \frac{A_u}{H} = 3 \text{ αλλαγές/h ανά τηλέφωνο}$

Το 70% θα δημιουργεί αναζήτηση γιατί είναι
 είδος κόπησης κλήσεων

$S_c = 2.6R^2 = 10.4 \text{ km}^2$

$S_{LA} = 7 \cdot S_c = 7 \times 10.4 = 72.8 \text{ km}^2$

$N_{out, LA} = \frac{6 \cdot v \cdot P_p}{\pi} = \frac{4500 \times 10 \times 12\sqrt{7}}{\pi} = 454.770 \text{ ap/h}$
 απ. δέχεται

απ. αλλαγών : $L \cdot M_T = (S_{LA} \times 6) \times 2 \times 0.7 = 687.960 \text{ αλ/h/LA}$
 που πραγματοποιούνται
 σε κλήσεις
 τηλεφωνικά

35

$$C_p = LM_T \times B_i \times P = 4.815.720 P \quad \text{υδρος αναγκαστες / h / LA}$$

$$C_p' = 13.071.240 P \quad (\text{με αιζυγω των LA})$$

$$\Delta C_p = \underline{8.255.520 P} \rightarrow \text{επιπλέον επιβαρυνση}$$

$$C_{LU} = N_{out,LA} (1 - A_u) = 409.294 L / h$$

$$C'_{LU} = N_{out,LA} (1 - A_u) (1 - p) = 248.441 L / h$$

2
μεταβολη
υδρος αλ
de θα βγαλουμε
ωστε να εχω LU

$$\Delta C_{LU} = \underline{160.853 L}$$

Για να μην υπερβω το υδρος ηρενει

$$\Delta C_{LU} = \Delta C_p \Rightarrow \frac{L}{P} = 51.32$$

$$Q \left(\frac{H + \bar{P}_r (12200m)}{\sqrt{2} \cdot 5} \right) = Q \left(\frac{14,5 - 40 \log \frac{800}{12200}}{\sqrt{2} - 8} \right)$$

$$Q(0,66) = 0,25$$

$$1440 (1 - 0,8) \times 0,25 = 72 \text{ MT/h}$$

$$\frac{72}{1600} = 4,5 \%$$

$$\textcircled{9.5} N_c = 798 \text{ cells}$$

$$R = 2 \text{ km}$$

$$7 \text{ cells/LA}$$

$$\sigma = 450 \text{ xp/km}^2$$

$$70\% \quad v_s = 5 \text{ km/h}$$

$$30\% \quad v_f = 30 \text{ km/h}$$

$$A_n = 0,1 \text{ entering} \quad H = 2 \text{ min}$$

$$70\% \text{ MT calls}$$

$$19 \text{ cells/LA}$$

$$L, P$$

$$\lambda = \frac{A_n}{H} = \frac{0,1}{\frac{1}{30}} = 3 \text{ calls/h}$$

$$LU_f = N_{f, \text{out}, LA} \times (1 - A_n)$$

$$N_{f, \text{out}, LA} = \frac{\sigma_f \times v_f \times P_{LA, f}}{\pi} \stackrel{= \sqrt{7} \cdot R^2}{=} = 40.928 \text{ xp/h}$$

$$LU_f = 36.836 \text{ LU/h/LA}$$

$$LU_{f, \text{total}} = 114 \text{ LU}_f = 4.199.304 \text{ LU/h}$$

$$P_{f, \text{total}} = \underbrace{798 \times 2,6 R^2}_{\text{xp/h per x p/ses}} \times \underbrace{\sigma_f}_{\frac{\text{BTS}}{\text{LA}}} \times \underbrace{7 \times 2,1}_{\lambda_{MT}} = 16.469.922 \text{ xp/h}$$

$$\#LA' = \frac{798}{19} = 42 \text{ LA's}$$

$$N_{f, \text{out}, LA'} = \frac{\sigma_f \times v_f \times P^{6 R^2}}{\pi} = 67.432 \text{ xp/h}$$

$$LU_f' = N_{f, out, LA'} \times (1 - A_u) LU/h/LA$$

$$LU_{f, total}' = 42 \times LU_f' = 2.548.938 LU/h$$

$$P_{f, total}' = \underbrace{798 \times 2,6 R^2 \times \sigma_f}_{\text{σ f g g g g σ f}} \times 19 \times 2,1 = 44.703.960 \text{ pg/h}$$

$$CLU_{f, total} + CP_{f, total} = CLU_{f, total}' + CP_{f, total}'$$

$$4.199.304 L + 16.469.922 P = 2.548.938 L + 44.703.960 P =$$

$$\frac{L}{P} = 17,1$$

9.6

C κυψίδες

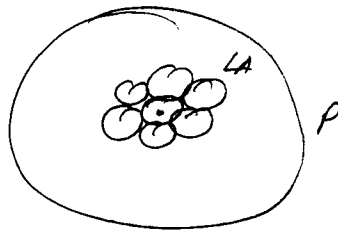
σ χρυσός/μm²

u km/h

λ κλ/h

M κυψίδες/LA

$N > M$



N.

$$P_2 = C \times S_c \times \sigma \times \lambda [7p + (1-p)/(7+N)]$$

$$P_2 = C \times S_c \times \sigma \times \lambda \times N.$$

$$N = \frac{7}{p}$$

$$LU_2 = \frac{\sigma \cdot u \cdot 6R\sqrt{M}}{\pi} \times \frac{C}{M} \times (1 - A_u) = \frac{\sigma \cdot u \cdot 6RC}{\pi \sqrt{M}} (1 - A_u)$$

$$LU_2 = \frac{\sigma u 6RC}{\pi \sqrt{M}} (1 - A_u)$$

$$\frac{LU_1}{LU_2} = \sqrt{\frac{M}{N}}$$

9.9

3 LV/h	19 ampères/LA
$p_1 = 0,1$	$L, P.$
$p_2 = 0,4$	$\lambda_\pi = 2 \text{ km/h}$
$p_3 = 0,5$	$u = 10 \text{ km/h}$
	$R = 2 \text{ km}$
	$A_u = 0,1 \text{ entrées}$

$$C_{LV} = N_c \times S_c \times \sigma \times 3 \times L$$

$$C_p = \lambda_c \times N_c \times S_c \times \sigma \times (1 \times p_1 + p_2 \times 7 + p_3 \times 19) P$$

$$C = C_{LV} + C_p = N_c \cdot S_c \cdot \sigma (3L + 12,4 \lambda_c P)$$

$$C'_{LV} = \frac{N_c}{19} \times \frac{\sigma \cdot u \cdot 6\sqrt{19} R}{\pi} (1 - A_u) L$$

$$C'_p = N_c \times S_c \times \sigma \times \lambda_c \times 19 P$$

$$C' = N_c \cdot \sigma \times \left[\frac{u \cdot 6R(1 - A_u)}{\pi \sqrt{19}} L + S_c \times \lambda_c \times 19 P \right]$$

$$C \leq C' \Rightarrow \boxed{L \leq 5,89 P}$$

9.12

$N_c = k^2$	u, P
R	$k_{B \& \lambda_c}$
$\lambda_c = \lambda_c \cdot 70\%$	u
H	

$$C_p = 0,7 \lambda_c k^2 P$$

$$C_{LV} = \frac{1}{N_u} \times \frac{\sigma \times u \times 6kR \times (1 - \lambda_c H)}{\pi} \quad \left. \begin{array}{l} A_u \\ \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\sigma = \frac{N_u}{k^{23/2} R^2}$$

$$C_{LV} = \frac{4u(1 - \lambda_c H) U}{\pi \sqrt{3} R k}$$

$$C = C_p + C_{LV} = 0,7 \lambda_c k^2 P + \frac{4u(1 - \lambda_c H) U}{\pi \sqrt{3} R k}$$

$$C'(k) = 0 \Rightarrow k = \sqrt[3]{\frac{u(1 - \lambda_c H) U}{0,35 \pi \sqrt{3} R \lambda_c P}} \quad \left. \begin{array}{l} \pi \sqrt{3} R k \\ C''(k) = 1,4 \lambda_c P + \frac{8u(1 - \lambda_c H) U}{\pi \sqrt{3} R k^2} > 0 \forall k \end{array} \right\}$$

Δίκτυα Κινητών 16-5-2005

10.2

98 β-χωνίες συστήτες

$K=7$

$R=1 \text{ km}$

$P=100 \text{ xp/km}^2$

$\lambda=2 \text{ ua/h}$

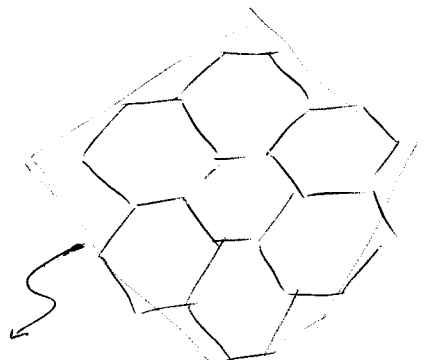
$H=3 \text{ min}$

30% με can

$v=40 \text{ km/h}$

70% πεφοί

$v=5 \text{ km/h}$



Διαφορές ↓

αλλά φαίμερα ↑

Όσοι χρήστες είναι
χρήσιμοι θα εξυπηρετούνται
από τις υπερεξέδρες συστήτες

(α) $S_c = 2.6 R^2 = 2.6 \text{ km}^2$

$A_u = \lambda H = 0.1 \text{ erlang}$ (φορτίο ανά χρήστη).

$A_{cf} = 30 \times 2.6 \times 0.1 = 7.8 \text{ erlang}$ (φορτίο ανά συστήτη)

χρήσιμοι
χρήστες

$A_{cs} = 70 \times 2.6 \times 0.1 = 18.2 \text{ erlang}$

ΣΥΝΟΛΟ: $A_c = 26 \text{ erlang}$

Από τους πίνακες για $A=26$
 $GOs=2\%$ } $\Rightarrow C_c = 35$ διαύλοι

$C_{01} = 7 \times 35 = 245$ διαύλοι

$HO_f = \frac{6_f \cdot v_f \times P}{\pi A_u} \overset{\text{περίμετρος}}{=} \frac{30 \times 40 \times 6}{\pi} \times 0.1 = 229.2 \frac{\text{K}}{HO/h}$

πυρήν
διαφομενών

$HO_s = \frac{6_s \times v_s \times P \times A_u}{\pi} = \frac{70 \times 5 \times 6}{\pi} \times 0.1 = 66.84 HO/h$

άρα $HO_T = (HO_f + HO_s) \cdot N_c = (229.2 + 66.8) \times 98 = 2901.2 HO/h$

41

Όταν το σύστημα γίνει διώροφο :

$$HO'_S = HO_S = 66.84 \text{ HO/h}$$

→ διατηρούμε την υγρασία περίπου 7 μέρες

$$HO'_F = \frac{\sigma_S \times V \times 6\sqrt{7} \times A_n}{\pi} = 606.4 \text{ HO/h}$$

Συνολικά: $HO'_T = HO'_F \times \frac{98^{-14}}{7} + HO'_S \times 98 = 15040 \text{ HO/h}$

↓
μεγάλες
υγρασίες

(3) $R_{1.6} = \sqrt{98} R = 9.9 \text{ km}$

$$LU_F = \frac{\sigma_F \times V_F \times 6\sqrt{98}}{\pi} (1 - A_n) = 20420$$

Ενημέρωση
θέβης

καίρουν αυτοί που
δε μιλάει

$$LU_S = \frac{\sigma_S \times V_S \times 6\sqrt{98}}{\pi} (1 - A_n) = 5956$$

$$LU_T = 26376 \text{ LU/h}$$

(8) $C_{01} = 245 \text{ διαχωρ.}$

Με την υαυνοδρία διάταξης: $A'_{cf} = 7 \times A_{cf} = 7 \times 7.8 = 54.6 \text{ erlang}$

$$A'_{cs} = A_{cs} = 18.2 \text{ erlang}$$

$$\left. \begin{matrix} A'_{cf} = 54.6 \\ GOS = 2\% \end{matrix} \right\} \Rightarrow C'_1 = 65 \text{ διαχωρ. για υαίξε μεγάλη υαυεία}$$

$$\left. \begin{matrix} A'_{cs} = 18.2 \\ GOS = 2\% \end{matrix} \right\} \Rightarrow C'_2 = 26 \text{ διαχωρ. για υαίξε μικρή υαυεία}$$

αίρα $C'_T = 7 \times C'_1 + 7 \times C'_2 = 637 \text{ διαχωρ.}$

↓

ο αριθμός διαώων

έχει να κάνει με το

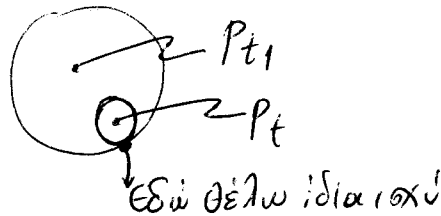
βυτζέζση επαναχρηθιμοποιήβως Κ

αίρα $\Delta C = 637 - 245 = \underline{\underline{392}}$

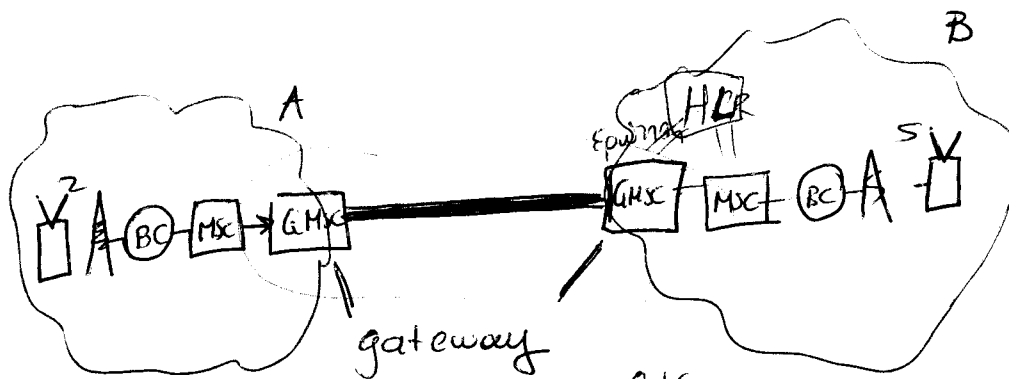
(8) $R_1 = R\sqrt{7}$: αυξημένα μεγέθη κυψέλλας

$$\left. \begin{aligned} P_R &= P_t \cdot R^{-n} \\ P_R' &= P_{t1} R_1^{-n} \end{aligned} \right\} \Rightarrow P_{t1} = (\sqrt{7})^n P_t$$

↓
ισχύς
εμπόμπης

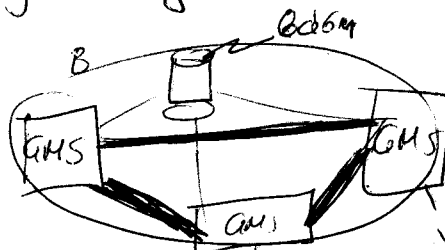


10.3

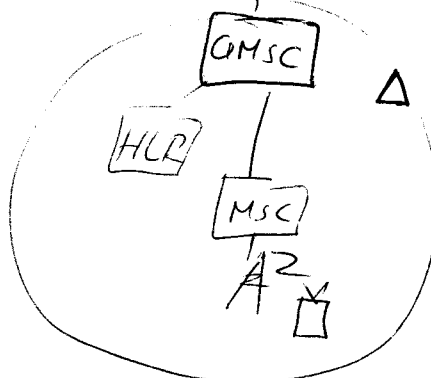
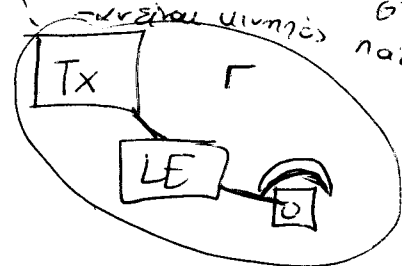


10.4

A



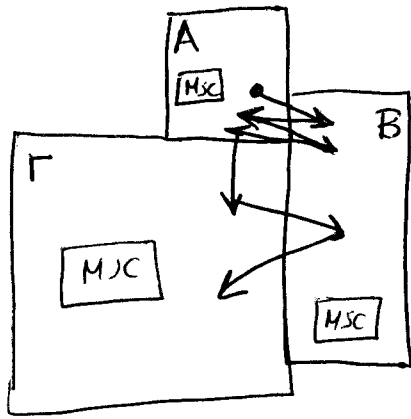
- αριθμ. 696...
- μεταβαίνω στο B
- πωλώ τη βάση
- δίνω στα θέρους πάλι
- δίνω αλληλός στο Γ
- πάλι στο Δ.



10.5 Σχήμα 10.15 , 642. 10.19

43

10.6



(α) Η πορεία του τερματιού είναι συνεχώς εναλλασσόμενη συνδέσεων μεταξύ των MSC (πρόσδεση και αναμετάδοση). Σε κάθε στάση γίνεται μόνο 1 πρόσδεση.

(β) $7 \text{ συνδέσεις} \times 0.5 \text{ dB} = 3.5 \text{ dB}$

10.8

10.000 οχήματα : 20% χρ. υπ. εθν. οδ.

$v = 20 \text{ km/h}$ $R = 2 \text{ km}$ $A_u = 0.1 \text{ erg/cm}^2$

(α) $\sigma = 2.000 \text{ xP/cm}^2$

$$H_0 = \frac{\sigma \times v \times 6R \times A_u}{\pi} \times N_c = 15297 N_c$$

(β) Η οδός για ^{via} συγέση έχει τη μισή αυτίνα

$$H_0' = \frac{\sigma \times v \times 6 \times \frac{R}{2} \times A_u}{\pi} \times (4N_c) = 2 H_0$$

↓
Έχω 4η στάση
αριθμός συγέσεων

$$(\gamma) H_0'' = \frac{(4\sigma) \times v \times 6 \times \frac{R}{2} \times A_u}{\pi} \times 4N_c = 8 H_0$$

L Up

(10.7)

 $K=7$

$$v_1 = 5 \text{ km/h}$$

$$\sigma_1 = 140 \text{ MT/km}^2$$

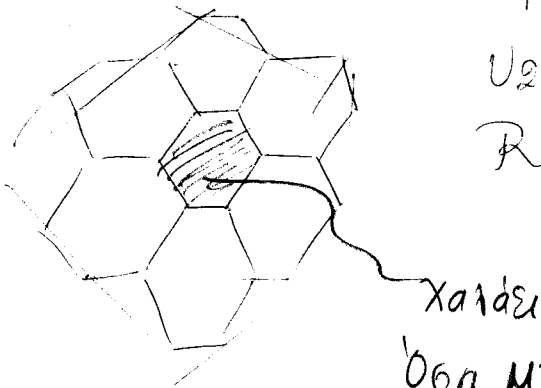
$$v_2 = 40 \text{ km/h}$$

$$\sigma_2 = 12.5 \text{ MT/km}^2$$

$$R = 1 \text{ km}$$

$$A_M = 0.1 \text{ erlang}$$

$$GOS = 2\%$$



Όσα ΜΤ μπαίνουν εδώ, θα πάνε να διασκορπιστούν
και θα ηγηθούν στο επόμενο σενάριο

$$HO_{12} = \frac{\sigma_1 \times v_1 \times P_1^{6 \times R}}{\pi} \times A_M = \underline{133.7 \text{ HO/h}}$$

$$S_{C1} = 2.6 R^2 = 2.6 \text{ km}^2$$

$$S_{C2} = 7 S_{C1} = \underline{18.2 \text{ km}^2}$$

$$A_{C1} = \sigma_1 \times S_{C1} \times A_M = 36.4 \text{ erlang/microcell}$$

$$A_{C2} = \sigma_2 \times S_{C2} \times A_M = 22.7 \text{ erlang/macrocell}$$

Για $\left. \begin{array}{l} A = 36.4 \\ GOS = 2\% \end{array} \right\} \Rightarrow C = 46 \Rightarrow C_{C1} = 48 \approx 6 R_{CH}$ 6 ραδιόφωνοι

$\left. \begin{array}{l} A = 22.7 \\ GOS = 2\% \end{array} \right\} \Rightarrow C = 31 \Rightarrow C_{C2} = 32 \approx 4 R_{CH}$

$$A_{C1} + A_{C2} = 59.15 \text{ erlang (αφ' ου χαίδε για μικροκύτταρο)}$$

Για $A = 59.15$ και $C = 31 \Rightarrow GOS = 0.5 = 50\%$

Ευαίσθητα, μπορώ να πάρω ένα ραδιόφωνο από 3 χειριστές συστήν
μεγάλες

$$\text{Άρα: } 31 + 3 \times 8 = 55 = C \Rightarrow GOS = 15\%$$

$A = 59.15$

45

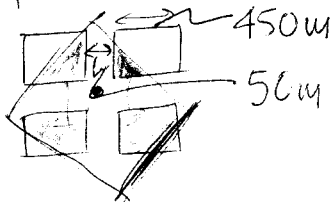
δεσφές που πήρα το Σάββατο:

$$31 - 8 = 23 = C \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{GOS} = 15\% \\ A = 22.75 \end{array} \right.$$

$$A = 22.75$$

• Χειροτερεύω όλους το ίδιο για να αποφύγω το GOS = 50%.

(10.12)



$$\sigma_1 = 220 \text{ x p/km}^2$$

$$v_1 = 5 \text{ km/h}$$

$$\sigma_2 = 87 \text{ x p/km}$$

$$v_2 = 40 \text{ km/h}$$

$$A_m = 0.1 \text{ erlang}$$

$$(a) HO_1 = \frac{\sigma_1 \times v_1 \times p_1 \times A_m}{\pi} \times N_c = 89.13 N_c$$

$$4\sqrt{2} \times 450$$

↓
γιατί οι πεζοί υάνουν διασκορπισμένοι στις διαδρομές

$$HO_2 = 2 \times \sigma_2 \times v_2 \times A_m \times N_c = 696 N_c$$

↓

μπαίνουν και
από τους δύο δρόμους

$$\alpha \rho \alpha \quad HO = 785.13 N_c \quad \text{HO/h}$$

(b) Μιμράίνω τις συγγέλεις (βλέπε σχήμα)
αλλάζω η περίμετρος **MONO** και ο αρ. συγγέλων

$$HO'_1 = \frac{\sigma_1 \times v_1 \times p'_1 \times A_m}{\pi} \times (N_c \times 2) = \sqrt{2} HO_1$$

$$\frac{P}{\sqrt{2}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} HO'_1 = 1518.05 N_c \text{ HO/h} \end{array} \right.$$

$$HO'_2 = 2 \times \sigma_2 \times v_2 \times A_m \times \underline{\underline{(2 N_c)}} = 2 HO_2$$

$$(c) HO''_1 = \frac{(2\sigma_1) \times v_1 \times p'_1 \times A_m}{\pi} \times (N_c \times 2) = 2\sqrt{2} HO_1$$

$$HO''_2 = 2 \times (2\sigma_2 \times v_2 \times 0.1 \times 2 N_c) = 4 HO_2$$

$$HO'' = 3036 N_c \text{ HO/h}$$