



## ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΠΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

### Ασκήσεις για τις παρεμβολές στο ασύρματο περιβάλλον των κινητών επικοινωνιών

- 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.

[Απάντηση:  $K = 6$ ]

- 4.2 Στο μονοδιάστατο κυψελωτό σύστημα του Σχ. Π4.2, 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.

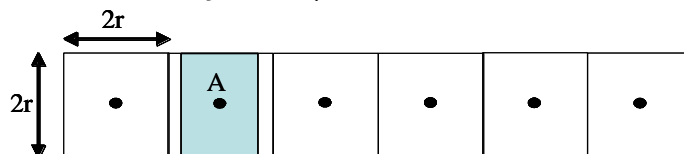
- (α) Πόσο πρέπει ένα τερματικό να απομακρυνθεί από τον σταθμό βάσης  $A$  πριν διακοπεί η σύνδεσή του, όταν αυτή διακόπτεται για λόγο  $S/I \leq 10$  dB;
- (β) Υποθέστε ότι κάποιο τερματικό είναι στα όρια της κυψέλης του και τα ομοδιαυκτικά προς αυτό τερματικά είναι στις πλησιέστερες θέσεις προς τον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



Σχήμα Π4.2

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

- 4.3 Στο μονοδιάστατο κυψελωτό σύστημα του Σχ. Π4.3, 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 κεραιών.



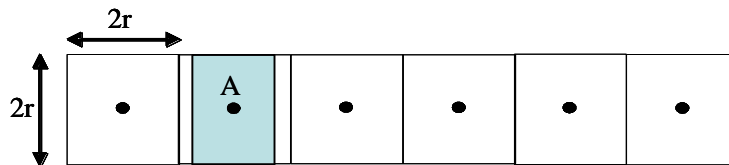
Σχήμα Π4.3

Η πυκνότητα των χρηστών είναι ομοιόμορφη και ίση με  $100$  χρήστες/ $\text{km}^2$ , ο βαθμός εξυπηρέτησης είναι  $2\%$  για σύστημα Erlang-B, ο ρυθμός άφιξης κλήσεων  $\lambda = 2$  κλήσεις/ώρα και η μέση διάρκειά τους  $3$  min. Λόγω εκτάκτου γεγονότος, η πυκνότητα των χρηστών στο κεντρικό τμήμα της κυψέλης  $A$ , διαστάσεων  $1 \times 1.5$  km, αυξήθηκε σε  $180$  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. Π4.4 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  $n = 3.3$ . Οι κυψέλες θεωρούνται τετραγωνικές πλευράς  $2r = 1.5$  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 Π4.4

Η πυκνότητα των χρηστών είναι ομοιόμορφη και ίση με  $100$  χρήστες/ $\text{km}^2$  και κάθε χρήστης πραγματοποιεί  $2$  κλήσεις/ώρα με μέση διάρκεια  $3$  min. Λόγω εκτάκτου γεγονότος, η πυκνότητα των χρηστών στην κυψέλη  $A$  αυξήθηκε σε  $150$  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 δοκιμάζονται 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)  $-101.8$  dBm, (γ)  $4.76$  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  $\ell$  και πλάτος  $w = 160$  m. Οι σταθμοί βάσης θα τοποθετηθούν στο κέντρα των κυψελών και θα απέχουν μεταξύ τους  $\ell$  m.

Η προσφερόμενη κίνηση κατά μήκος του αυτοκινητόδρομου είναι  $\rho_A = 16 \times 10^{-6}$  erlang/ $\text{m}^2$  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  $C_{\alpha} = 140$  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  $120^\circ$  και (γ) τομείς  $60^\circ$ . Θα χρησιμοποιηθεί χωρισμός των κυψελών σε τομείς; Αν ναι, ποιος χωρισμός ( $60^\circ$  ή  $120^\circ$ ) θα χρησιμοποιηθεί;

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

**[Απάντηση:  $K = 3$ , τομείς  $120^\circ$ ]**

- 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  $60^\circ$ ]**

- 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 μετριάσθουν 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/km<sup>2</sup> 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 ούρα αναμονής.

**[Απάντηση: (α) 470 m, (β) 623 m, (γ)  $2.96 \times 10^{-4}$ ]**

- 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 εκθέ-

της 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 ταιριάξουν μέσα στις αρχικές μακροκυψέλες. Για απλότητα χρησιμοποιήστε ισοτροπικές κεραιές.

[Απάντηση:  $P_r / 8$ ]

- 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  $km^2$  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 διάυλος ελέγχου. Για τον υπολογισμό του λόγου  $S/I$  θεωρήστε ότι παρεμβάλλει μόνο η πρώτη σειρά ομοδιαυλικών κυψελών.

[Απάντηση:  $33.85$  χρήστες/ $km^2$ ,  $K = 3$  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 ισοτροπικές κεραιές, (β) κυψέλες με τομείς  $120^\circ$  και (γ) με τομείς  $60^\circ$ .

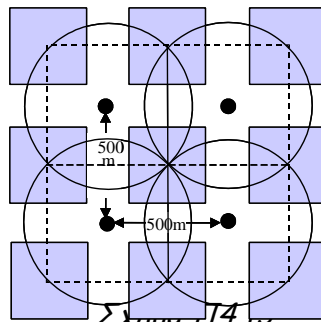
(α) Ποια διάταξη θα χρησιμοποιηθεί, ώστε να επιτευχθεί βέλτιστη τιμή του συντελεστή επαναχρησιμοποίησης  $K$ ; Υποθέστε συντελεστή απωλειών διαδρομής  $n = 4$  και λάβετε υπόψη την απόδοση συγκέντρωσης. Ποια θα ήταν η σχεδιαστική λύση, αν η καλυπτόμενη περιοχή είχε  $n = 3$ ;

(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  $d = d_0 = 1m$  από τον πομπό, να καθορισθεί 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  $km^2$  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  $60^\circ$ , και  $K=4$  και  $60^\circ$ , (β)  $1496m$ ,  $-114dBm$ , (γ)  $207$  χρ./ $km^2$ ]

- 4.13 Πρόκειται να εγκατασταθεί ψηφιακό σύστημα κινητών επικοινωνιών σε αστική περιοχή της μορφής που φαίνεται στο Σχ. Π4.13. Οι σταθμοί βάσης θα τοποθετηθούν στις διασταυρώσεις των δρόμων, ο ελάχιστος επιτρεπόμενος λόγος  $S/I = 21$  dB και ο επιθυμητός  $GOS = 1\%$ .



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

Το διατιθέμενο συνολικό εύρος ζώνης στο σύστημα είναι 26 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.

[Απάντηση: 8.57 erlang/km<sup>2</sup>/MHz]

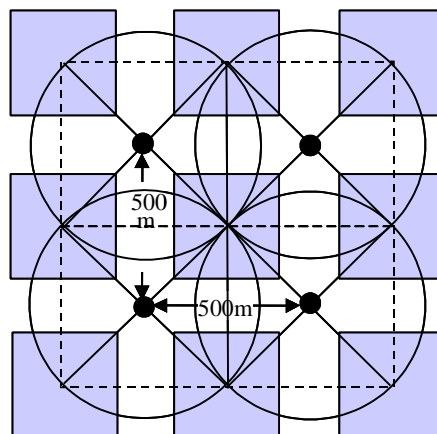
- 4.14 Ψηφιακό κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών με εξαγωνικές κυψέλες, που λειτουργεί στην περιοχή των 1800 MHz, παρέχει τηλεφωνία και μετάδοση δεδομένων χαμηλού ρυθμού, υπηρεσίες για τις οποίες απαιτείται λόγος  $S/I = 12$  dB στη δυσμενέστερη περίπτωση. Προκειμένου να εξυπηρετηθεί μετάδοση δεδομένων 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:  $R = 1272$  m,  $P_{\uparrow} = 117$  mW]

- 4.15 Στο σύστημα του προβλήματος 4.13, λόγω της αύξησης του αριθμού των χρηστών, αποφασίζεται να χωρισθεί κάθε κυψέλη σε τέσσερις τομείς των 90°, όπως φαίνεται στο Σχ. Π4.15. Να βρεθεί πόσο θα αυξηθεί η φασματική απόδοση του συστήματος σε σχέση με εκείνη που επιτυγχάνεται με τις ισοτροπικές κεραίες.



Σχήμα Π4.15

[Απάντηση: 1.31 erlang/km<sup>2</sup>/MHz]

- 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<sup>2</sup> και θα εξυπηρετούνται 500000 χρήστες ομοιόμορφα κατα-

νεμημένοι σε όλη την περιοχή εξυπηρέτησης. Οι κυψέλες θα είναι εξαγωνικές και καθεμιά θα χωρίζεται σε τρεις τομείς των  $120^\circ$ . Το σύστημα θα χρησιμοποιεί αμφιδρόμηση συχνότητας, το εύρος ζώνης των ραδιοδιαύλων ανά κατεύθυνση είναι  $W = 200$  kHz και σε κάθε ραδιοδιάυλο 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. 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<sup>2</sup> 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 ραδιοδιάυλο 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 ραδιοδιάυλο 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 κεραιές και η φασματική απόδοση του συστήματος.

**[Απάντηση: 49600 χρήστες, 0.418 erlang/MHz/km<sup>2</sup>]**

**4.19** Ψηφιακό κυψελωτό δίκτυο κινητών επικοινωνιών χρησιμοποιεί φάσμα 14.4 MHz στην περιοχή των 900 MHz και καλύπτει αστική περιοχή εκτάσεως  $1560$  km<sup>2</sup> με 150 σταθμούς βάσης κατά τρόπον που να επιτυγχάνει την μεγαλύτερη πυκνότητα χρηστών ανά km<sup>2</sup>. 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/km<sup>2</sup>, 0.707 erlang/MHz/km<sup>2</sup>]**

- 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 φορά 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 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  $\sigma = 10$  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).

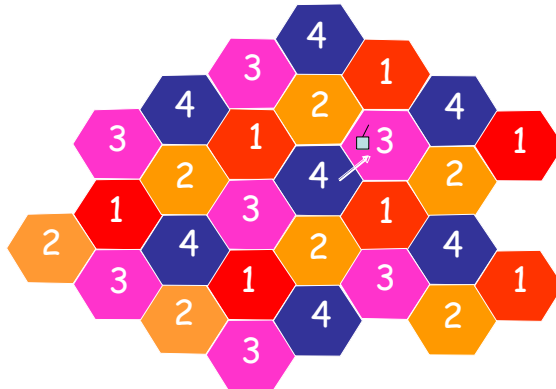
Θεωρούμε τον λόγο της μέσης τιμής του σήματος προς τη μέση τιμή της παρεμβολής στον σταθμό βάσης A. Πρέπει να βρεθεί η μέγιστη απόσταση  $d$  που πρέπει ένα τερματικό να απέχει από τον A, ώστε ο δέκτης του A να λαμβάνει  $S/I \geq 16$  dB με πιθανότητα 90%.

- (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  $m_1$  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.]**

- 4.22 Στο κυψελωτό σύστημα του Σχ. Π4.22, 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 Π4.22

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

4.23 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  $\sigma = 7 \text{ dB}$ . 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 15 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  $S/I \geq 15 \text{ dB}$  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  $D$ ;

[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  $60^\circ$ . Λόγω του φαινομένου της σκίασης, η μέση τιμή της στάθμης ισχύος του σήματος ακολουθεί λογαριθμική-κανονική κατανομή με τυπική απόκλιση  $\sigma = 8 \text{ dB}$  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  $K$ ,

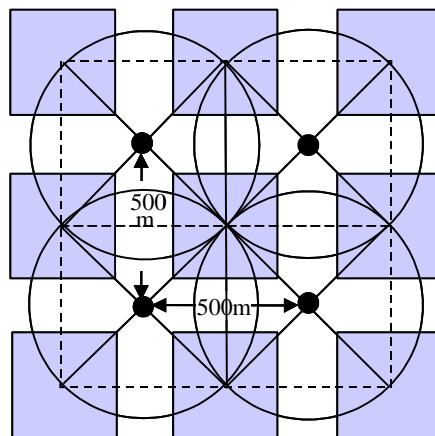


αν ο λόγος  $S/I$  πρέπει να παραμένει πάνω από τα 15 dB για το 95% των περιοχών στα όρια των κυψελών; Θεωρήστε το  $S/I$  μόνο στη ζεύξη καθόδου υποθέτοντας ότι παρεμβάλλει μόνο η πρώτη σειρά κυψελών.

[Απάντηση:  $K = 13$ ]

- 4.25 Ψηφιακό σύστημα κινητών επικοινωνιών είναι εγκατεστημένο στην αστική περιοχή που φαίνεται στο Σχ. Π4.25. Οι σταθμοί βάσης είναι τοποθετημένοι στις διασταυρώσεις των δρόμων και χρησιμοποιούν κεραιές με τέσσερις τομείς των  $90^\circ$ . Το διατιθέμενο συνολικό εύρος ζώνης στο σύστημα είναι  $B_s = 20.8$  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  $\sigma = 7$  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. Ένας δίαυλος χρήστη σε κάθε τομέα χρησιμοποιείται για σηματοδασία.



Σχήμα Π4.25

[Απάντηση:  $4.43 \text{ erlang/MHz/km}^2$ ]