



ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΠΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Ασκήσεις για τις βασικές αρχές των κυψελωτών συστημάτων κινητών επικοινωνιών

- 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/km^2 , 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 , $3/4 \text{ W}$, (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 km^2 . Η άδεια κόστισε μόνο 400.000 EUR . Υποθέστε ότι κάθε σταθμός βάσης κοστίζει 400.000 EUR , και κάθε MSC $2.000.000 \text{ EUR}$. Χρειάζονται, επίσης 500.000 EUR για τις διαφημίσεις και την έναρξη λειτουργίας. Η τράπεζα δανείζει στην εταιρία $8.5 \text{ εκατομμύρια EUR}$, με την ιδέα ότι η εταιρία σε τέσσερα χρόνια θα έχει μικτά έσοδα $15 \text{ εκατομμύρια EUR}$ και θα αποπληρώσει το δάνειο.

- α) Πόσους σταθμούς βάσης θα μπορέσει να εγκαταστήσει η εταιρία με τα $8.5 \text{ εκατομμύρια EUR}$ 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 υποθεθεί ότι οι κυψέλες έχουν εξαγωνικό σχήμα;
γ) Υποθέστε ότι κάθε συνδρομητής θα πληρώνει 50 EUR 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 km^2 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./ km^2]

- 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 εξασφαλιστεί 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 περιοχή 2500 km^2 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 $\sigma = 8 \text{ dB}$ 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 $d_0 = 1 \text{ km}$.
- 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 ραδιοδίαυλους, καθένας από τους οποίους υποστηρίζει 8 δίαυλους 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; Εξηγήστε 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 km² χρησιμοποιώντας κυψέλες εμβαδού 8 km². 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 μέσος αριθμός των διεκπεραιούμενων 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 erlang/km²/MHz]

- 3.8 Για την αύξηση της απόδοσης του συστήματος του Προβλήματος 3.7 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 erlang/km²/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 κατειλημμένους και τους οκτώ διαύλους;
- (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) $Pr(delay > 3min) = 0.0083$, (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, 999, 400 χρήστες, (β) η ίδια απάντηση με την (α), (γ) σε όλες τις περιπτώσεις θα έχουμε επαναχρησιμοποίηση, όποτε ο αριθμός μειώνεται ανάλογα, (δ) 0.82 κλήσεις/h]

- 3.14** Να υπολογιστεί το κέρδος επεξεργασίας 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]

- 3.15** Διατίθενται 25 MHz ανά κατεύθυνση σε σύστημα CDMA, στο οποίο κάθε ραδιοδιαυλος 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 κεραίες και δεν υπάρχει ανίχνευση δραστηριότητας φωνής,
- (β) οι σταθμοί βάσης έχουν κεραίες με τρεις τομείς και χρησιμοποιείται ανίχνευση δραστηριότητας 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]

- 3.16** Το κέρδος επεξεργασίας στο σύστημα WCDMA είναι 512.

- (α) Πόσοι χρήστες με συντελεστή δραστηριότητας 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) $r/R = 0.192$]