



## ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΠΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

### Ασκήσεις για τη διαχείριση κινητικότητας

**10.1** Σε σύστημα κινητών επικοινωνιών πρόκειται να εισαχθεί η τεχνική των επικαλυπτόμενων περιοχών εντοπισμού, ώστε να περιοριστεί η αύξηση του φορτίου σηματοδότησης από ενημερώσεις θέσης, 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.

**10.2** Σύστημα κινητών επικοινωνιών εξυπηρετεί τετράγωνη περιοχή πλευράς μήκους  $L$ . Η πυκνότητα των χρηστών στην περιοχή εξυπηρέτησης είναι ομοιόμορφη και ίση με  $\sigma$  χρήστες ανά μονάδα επιφανείας και οι σταθμοί βάσης είναι ομοιόμορφα διατεταγμένοι σε τετραγωνικό πλέγμα με πυκνότητα  $\beta$  ανά μονάδα επιφανείας. 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 κατανομημένη προς όλες τις κατευθύνσεις 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  $\lambda$  και το προσφερόμενο φορτίο ανά χρήστη είναι  $A_u$ .

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

**10.3** 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  $\sigma = 450$  χρήστες / km<sup>2</sup> και θεωρούμε ότι οι χρήστες ακολουθούν τυχαία κατεύθυνση ομοιόμορφα κατανομημένη 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  $\rho$  η ακτίνα της αρχικής LA και  $\rho'$  η ακτίνα της εκτεταμένης LA.

**[Απάντηση:  $L / P = 51.32$ ]**

**10.4** 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 /  $\text{km}^2$  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  $u_1 = 5$  km/h, ενώ οι ταχέως μετακινούμενοι χρήστες έχουν μέση ταχύτητα  $u_2 = 30$  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;

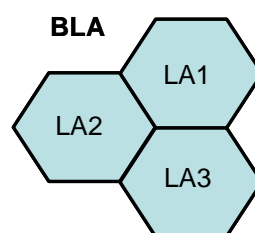
[Απάντηση:  $L / P = 17.1$ ]

**10.5** Κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών εξυπηρετεί με  $C$  κυψέλες αστική περιοχή με πυκνότητα χρηστών  $\sigma$  χρήστες/ $\text{km}^2$ , οι οποίοι κινούνται ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις με μέση ταχύτητα  $v$  km/h και λαμβάνουν κλήσεις με ρυθμό  $\lambda$  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:  $N = 7/p$ ,  $LU1/LU2 = \sqrt{(7/pM)}$ ]

**10.6** 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 μετριαστεί 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 Σχ. Π10.6. 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 αποθηκευμένες 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;



Σχήμα Π10.6

Η πυκνότητα των χρηστών είναι  $\sigma = 100$  χρήστες /  $\text{km}^2$  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 δι-

άρκεια 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:  $L / P = 42.37$ ]

- 10.7 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 κλασικό 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/ώρα, 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:  $L / P \leq 1.96$ ]

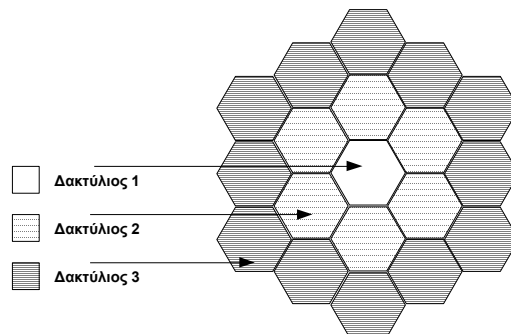
- 10.8 Σε κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών τα κινητά πραγματοποιούν ενημέρωση θέσης κάθε φορά που διασχίζουν τα όρια  $d$  κυψελών. Σε περίπτωση εισερχόμενης κλήσης το κινητό αναζητείται σε περιοχή που περιλαμβάνει  $d-1$  σειρές κυψελών γύρω από την κυψέλη μέσω της οποίας έγινε η τελευταία ενημέρωση θέσης. Αν η πιθανότητα να διασχίζει το κινητό  $k$  κυψέλες την ώρα είναι  $\alpha(k)$  και το κινητό λαμβάνει  $\lambda_T$  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:  $C_{LU} = \sum_{k=0}^{\infty} \alpha(k) \left[ \frac{k}{d} \right] L$ ,  $C_P = \lambda_T \left( 1 + \sum_{i=0}^{d-1} \beta_i \right) P$ ]

- 10.9 Θεωρούμε περιοχή εντοπισμού που αποτελείται από δακτυλίους εξαγωνικών κυψελών, όπως εικονίζεται στο Σχ. Π10.9. 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.



Σχήμα Π10.9

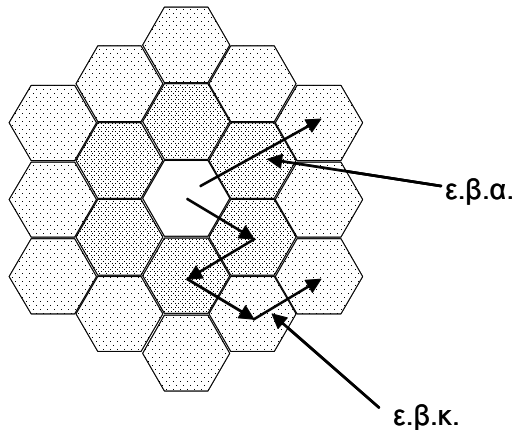
Παρατηρώντας τη μορφή της γεωμετρικής κατανομής για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου  $r$  όταν  $w = 3$  (όπως στο σχήμα), να αναφέρετε το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει για το κόστος

αναζήτησης και την καθυστέρηση εντοπισμού, ανάλογα με την κατανομή των πιθανοτήτων εντοπισμού ενός χρήστη.

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

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.]

- 10.10** Σε δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, εφαρμόζουμε 3 διαφορετικές μεθόδους δυναμικής ενημέρωσης θέσης (Σχ. Π10.10): στην πρώτη μέθοδο 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. Στη δεύτερη μέθοδο έχουμε δυναμική ενημέρωση με βάση το χρόνο (ε.β.χ), δηλαδή το κινητό πραγματοποιεί περιοδικά ενημέρωση θέσης κάθε  $t$  χρονικές μονάδες. Στην τρίτη μέθοδο γίνεται δυναμική ενημέρωση με βάση τον αριθμό των κινήσεων (ε.β.κ), δηλαδή το κινητό πραγματοποιεί ενημέρωση όταν διασχίσει  $k$  όρια μεταξύ κυψελών.



Σχήμα Π10.11

Υποθέτουμε ότι το τερματικό κινείται με μέση ταχύτητα  $v_\mu$ , 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:

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

- 10.11** Περιοχή εντοπισμού αποτελείται από  $K$  εξαγωνικές κυψέλες ακτίνας  $R$  και η αναζήτηση για ένα τερματικό γίνεται ταυτόχρονα σε όλη την περιοχή. Ο ρυθμός κλήσεων ανά τερματικό είναι  $\lambda_c$ , 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  $k_{\beta\epsilon\lambda\tau}$ , 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 προς όλες τις κατευθύνσεις.

**[Απάντηση:** 
$$k_{\beta\epsilon\lambda\tau} = \sqrt[3]{\frac{v(1-\lambda_c H)U}{0.35\pi\sqrt{3}R\lambda_c P}}$$

- 10.12** 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  $\lambda_c$ , από τις οποίες το 70% είναι εισερχόμενες, και η μέση διάρκειά τους είναι  $H$ . Το μοναδιαίο κόστος των διεργασιών ενημέρωσης θέσης και αναζήτησης είναι  $L$  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 κατανεμημένη προς όλες τις κατευθύνσεις.

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

**10.13** Σε κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών, χρησιμοποιείται χρονική ενημέρωση θέσης και ευφυής αναζήτηση κατά τον εξής τρόπο. Κάθε τερματικό πραγματοποιεί αέριο αριθμό ενημερώσεων θέσης με ρυθμό  $\lambda_{LU}$  ενημερώσεις την ώρα. Σε περίπτωση εισερχόμενης κλήσης, αναζητείται διαδοχικά στην κυψέλη μέσω της οποίας πραγματοποίησε 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 κλασικό 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 κατανεμημένη προς όλες τις κατευθύνσεις, οι κυψέλες έχουν ακτίνα  $R = 2$  km και μέση προσφερόμενη κίνηση ανά τερματικό είναι  $A_u = 0.1$  erlang.

**[Απάντηση:**  $\lambda_{LU} = 1$  LU/h]

**10.14** Σε ένα σύστημα κινητών επικοινωνιών εκπέμπονται μηνύματα αναζήτησης προς διάφορα τερματικά μέσω ενός σταθμού βάσης (Σχ. Π10.14). Υποθέτουμε ότι οι αφίξεις ακολουθούν κατανομή Poisson με ρυθμό  $\lambda$ . Τα μηνύματα αποθηκεύονται στην ουρά του σταθμού βάσης πριν μεταδοθούν, η οποία έχει άπειρη χωρητικότητα και ρυθμό εξυπηρέτησης  $\mu$  (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 αποτυχημένης αναζήτησης  $p_f = 0.1$ , να βρεθεί το μέγιστο χρονικό διάστημα αναμονής του δικτύου  $W_{\text{max}}$  ώστε η μέση καθυστέρηση να είναι μικρότερη από 500 ms.



Σχήμα Π10.14

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

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

**10.15** Σε κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών με εξαγωγικές 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  $v = 20$  km/h ομοιόμορφα κατανομημένη προς όλες τις κατευθύνσεις και η μέση προσφερόμενη κίνηση ανά τερματικό είναι  $A_u = 0.1$  erlang.

**[Απάντηση:  $R \leq 1.51$  km]**

- 10.16 Κυψελωτό σύστημα κινητών επικοινωνιών καλύπτει την περιοχή εξυπηρέτησής του με 144 εξαγωνικές κυψέλες ακτίνας  $R = 500$  m, που αποτελούν μία περιοχή εντοπισμού. 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 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  $\lambda_c$ , από τις οποίες το 60% είναι εισερχόμενες, και η μέση διάρκειά τους είναι  $H = 3$  min. Το μοναδιαίο κόστος των διεργασιών ενημέρωσης θέσης και αναζήτησης είναι  $L$  και  $P$  αντίστοιχα, όπου  $L = 15P$ . Να υπολογιστεί το  $\lambda_c$ , ώστε το ολικό κόστος ενημέρωσης θέσης και αναζήτησης ανά τερματικό να είναι μικρότερο από εκείνο της κλασσικής λειτουργίας με περιοχές εντοπισμού 12 κυψελών και αναζήτηση στην περιοχή εντοπισμού.

Η μέση ταχύτητα των τερματικών είναι  $v = 30$  km/h και η κίνησή τους έχει τυχαία κατεύθυνση, ομοιόμορφα κατανομημένη προς όλες τις κατευθύνσεις.

**[Απάντηση:  $\lambda_c \leq 0.417$  κλήσεις/h]**

- 10.17 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 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 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 κατευθύνσεις, οι κυψέλες έχουν ακτίνα  $R = 2$  km και μέση προσφερόμενη κίνηση ανά τερματικό είναι  $A_u = 0.1$  erlang.

**[Απάντηση:  $v \geq 29.22$  km/h]**