

Location Management and Addressing in Mobile Networks

Αποστόλου Κώστας
Δευτέρα 23 Φεβρουαρίου 2009
Εργασία στα Δίκτυα Υπολογιστών

Περίληψη

Το Location Management (Διαχείριση Θέσης) σε ένα Κινητό Δίκτυο (Mobile Network) είναι η διαχείριση της θέσης των κινητών κόμβων του. Διάφοροι αλγόριθμοι και τεχνικές έχουν προταθεί για την βελτιστοποίηση της διαδικασίας του εντοπισμού και την διατήρηση ανάλυση και προσβασιμότητα των πληροφοριών θέσης. Στις στατικές τεχνικές οι χρήστες του δικτύου θεωρούνται ότι έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά ενώ στις δυναμικές το δίκτυο προσαρμόζεται τις διαδικασίες εντοπισμού για τον κάθε ένα με επιπλέον κόστος επεξεργασίας, το οποίο κάνει τις δυναμικές μεθόδους προς το παρόν μη εφαρμόσιμες.

Σε κινητά δίκτυα που δεν έχουν χαρακτήρα κινητής τηλεφωνίας, οι δυνατότητες σε ενέργεια και επεξεργαστική ισχύ των τελικών συσκευών καθώς και η εγγενής μειωμένη κινητικότητα των χρηστών κάνει τις τεχνικές εντοπισμού πιο αποκεντρωμένες και επιτρέπει σχήματα που στηρίζονται αποκλειστικά σε πληροφορίες που στέλνονται από τον χρήστη αντί για αναζήτηση του σε όλο το δίκτυο.

Η διευθυνσιοδότηση (Addressing) στα κινητά δίκτυα έχει ιδιαιτερότητες που προκύπτουν από την αδυναμία να προστεθούν πληροφορίες θέσης στην διεύθυνση ενός κόμβου.

-

The Location Management of mobile networks is the process of managing user mobility. Several algorithms and techniques have been proposed for optimizing the procedure of locating users as well as the storage, analysis and availability of location information. In static methods users are assumed to share the same characteristics while dynamic methods adapt to each user's profile, at a cost of extra computational steps, a cost that at present renders these methods too expensive.

In mobile networks that cannot be thought of as a mobile telephony application the end user devices have increased computational power and available electrical energy, while the user mobility rate is generally lower, enabling distributed location management schemes that rely exclusively on user update mechanisms.

Addressing in mobile networks is different from the addressing schemes used in classic networks like the Internet, as the address of a mobile node cannot contain any information pertaining to its current location.

Παρουσίαση θέματος

Ο όρος mobile networks αναφέρεται σε δίκτυα ευρείας; περιοχής στα οποία ορισμένοι από το σύνολο των κόμβων του δικτύου έχουν την δυνατότητα να μετακινούνται στην γεωγραφική περιοχή που καταλαμβάνει το δίκτυο ενώ παραμένουν συνδεδεμένοι σε αυτό.

Ο λόγος που σε αυτόν τον πρόχειρο ορισμό υπάρχει η αναφορά του να είναι ευρείας περιοχής ένα mobile network, έχει να κάνει με το ότι σε δίκτυα που καταλαμβάνουν μικρό γεωγραφικό χώρο η κινητικότητα των κόμβων αντιμετωπίζεται με διάφορες τεχνολογίες LAN (πχ στα Wi-Fi δίκτυα επιτρέπεται να κινείται ένας υπολογιστής που συμμετέχει στο τοπικό δίκτυο καθώς η επικοινωνία γίνεται με μη κατευθυντικά ραδιοκύματα) Ο τομέας όμως της δικτύωσης με τον οποίο ασχολούνται τα mobile networks έχει να κάνει με το πρόβλημα του ότι τέτοιες τεχνολογίες δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε ευρεία περιοχή, γενικά κριτήριο δεν είναι μόνο η αλλαγή γεωγραφικής θέσης αλλά και η αλλαγή τοπικού δικτύου.

Ας ένα mobile network υπάρχουνε πολλά τοπικά δίκτυα διασυνδεδεμένα με point to point συνδέσεις. Αυτά τα τοπικά δίκτυα ανάμεσα στα οποία κινείται ο κόμβος μπορεί να είναι πχ ένα δίκτυο Ethernet, Wi-Fi, ή μια κυψέλη ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Για την ακρίβεια μια κυψέλη δεν χαρακτηρίζεται συνήθως ως τοπικό δίκτυο όμως όσον αφορά τα mobile networks κυψέλες και τοπικά δίκτυα LAN έχουνε την ίδια περίπου συμπεριφορά.

Σε ένα mobile network υπάρχουνε κάποιοι κόμβοι οι οποίοι είναι σταθεροί στο χώρο, και ειδικότερα υπάρχει η απαίτηση οι κόμβοι που κάνουν την μεταγωγή ανάμεσα στα τοπικά δίκτυα ή τις κυψέλες να είναι σταθεροί. Όταν οι κόμβοι μεταγωγής έχουν και αυτοί την δυνατότητα να μετακινούνται στο χώρο τότε το δίκτυο ονομάζεται ad hoc mobile network και οι τεχνολογίες που ασχολούνται με τέτοια δίκτυα θεωρούνται ένα ξεχωριστό τμήμα έρευνας των δικτύων επικοινωνίας.

Στον ορισμό αναφέρεται επίσης ότι ένα mobile network επιτρέπει και το να παραμένουν συνδεδεμένοι οι κόμβοι καθώς κινούνται ανάμεσα στα τοπικά δίκτυα του ευρύτερου δικτύου, αυτό όμως δεν είναι πάντα εφικτό. Προφανώς αν ένας κόμβος μεταβεί από ένα δίκτυο Ethernet σε ένα άλλο δεν είναι τεχνικά εφικτό να μείνει συνδεδεμένος στο ευρύτερο mobile network κατά την μετάβαση όπως θα έκανε αν μετέβαινε ανάμεσα σε δύο γειτονικές κυψέλες 3G ή Wi Fi (πρέπει σε κάποιο σημείο να αλλάξει καλώδιο). Όμως και μόνο το να επανασυνδεθεί μετά από κάποιο χρονικό διάστημα ο κόμβος αφού πρώτα μεταβεί σε κάποιο άλλο τοπικό δίκτυο θέτει κάποια προβλήματα με τα οποία ασχολούνται τα mobile networks.

Καθώς η κύρια διαφορά ανάμεσα σε ένα μη mobile και ένα mobile δίκτυο είναι η δυνατότητα κίνησης των κόμβων, στην μελέτη ενός τέτοιου δικτύου αποκτούν σημασία οι πολιτικές, οι δομές δεδομένων, και οι μηχανισμοί για τον εντοπισμού των κόμβων και γενικά το πως γίνεται ο έλεγχος της θέσης του κάθε χρήστη στο δίκτυο. Ο όρος για το συγκεκριμένο πεδίο έρευνας είναι Location Management. Οι μέθοδοι με τους οποίους γίνεται το Location Management είναι πολλοί. Προς το παρόν αν και έχουνε αναπτυχθεί εξελιγμένοι μέθοδοι δεν χρησιμοποιούνται λόγω κόστους, στην θέση τους γίνεται χρήση μεθόδων με χαμηλότερο κόστος και δυνατότητες. Η κατεύθυνση πάνω στην οποία εξελίσσονται οι μηχανισμοί του Location Management είναι αυτή της εξατομίκευσης της διαδικασίας εντοπισμού για κάθε χρήστη.

Ένα άλλο σχετικό πρόβλημα στα Mobile Networks είναι αυτό της διεθυνσιοδότησης (Addressing). Στα περισσότερα διαδίκτυα η μοναδική διεύθυνση κάθε κόμβου περιέχει πληροφορίες θέσης του και χρησιμοποιείται στην δρομολόγηση. Στα κινητά δίκτυα όμως το αναγνωριστικό ενός κόμβου πρέπει να είναι ανεξάρτητο της θέσης του γιατί αυτή είναι μεταβλητή. Αυτό αλλάζει τον τρόπο που δίνονται οι διευθύνσεις και που λειτουργεί η δρομολόγηση και συνήθως οδηγεί σε σχήματα με δύο διευθύνσεις, την σταθερή αναγνωριστική και την μεταβλητή με πληροφορίες θέσης και δρομολόγησης.

Ανάλυση θέματος

Με βάση την παραπάνω περιγραφή το βασικό ζητούμενο σε ένα mobile network είναι το πως θα επικοινωνήσουν δύο κινητοί κόμβοι, μέσω του σταθερού δικτύου μεταγωγής, όταν η γεωγραφική τους θέση, και κατά συνέπεια το τοπικό δίκτυο και οι κόμβοι μεταγωγής που τους εξυπηρετούν, δεν είναι σταθερά. Μάλιστα θα πρέπει όταν αυτό είναι εφικτό (με handoff) η επικοινωνία να είναι δυνατή ακόμα και κατά την διάρκεια της αλλαγής.

Addressing in mobile networks

Κάθε κόμβος του mobile δικτύου θα πρέπει να έχει και μια μοναδική για αυτόν διεύθυνση (αναγνωριστικό), ώστε να μπορούν οι άλλοι κόμβοι να τον προσδιορίσουν στο δίκτυο όταν ζητούν να έχουν κάποια επικοινωνία μαζί του.

Έστω ο κόμβος A που θα θέλει να στείλει ένα μήνυμα στον κόμβο B. Ο A θα πρέπει με κάποιο τρόπο να δηλώσει το αναγνωριστικό του B στο δίκτυο. Στη συνέχεια θα εντοπιστεί ο B (δηλαδή το ένα τοπικό δίκτυο του ευρύτερου δικτύου στο οποίο βρίσκεται). Τέλος κόμβοι μεταγωγής ανάμεσα στις θέσεις του A και του B θα μεταφέρουν το μήνυμα από τον A στην θέση του B. Η εύρεση του B δεν είναι αρμοδιότητα του A αλλά του δικτύου.

Το αναγνωριστικό του κάθε κόμβου πρέπει να είναι σχετικά σταθερό στο χρόνο. Έτσι δεν μπορεί να περιέχει πληροφορίες για την θέση του κόμβου, (πχ το LAN στο οποίο ανήκει), γιατί αυτές οι θέσεις είναι μεταβλητές. Μπορεί πάντως να περιέχει πληροφορίες για την θέση κάποιου σταθερού "αντιπροσώπου" του κόμβου. Σε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας πχ αυτό το αναγνωριστικό είναι ο αριθμός κλήσης του κινητού τηλεφώνου.

Με βάση τα παραπάνω το αναγνωριστικό του κάθε κόμβου δεν λειτουργεί ακριβώς όπως η διεύθυνση ενός πρωτοκόλλου 3ου επιπέδου σαν το IP. Στο IP κάθε διεύθυνση περιέχει ένα τμήμα το οποίο υποδηλώνει το τοπικό δίκτυο. Επομένως η διεύθυνση κάθε κόμβου περιέχει πληροφορίες σχετικά με το που βρίσκεται αυτός. Οι δρομολογητές σχηματίζουν ένα χάρτη του δικτύου ανταλλάσσοντας πληροφορίες δρομολόγησης ώστε μετά να προσδιορίσουν την θέση ενός κόμβου. Ξέρουν πχ προς τα ποια "κατεύθυνση αποστολής πακέτων" είναι κάθε τοπικό δίκτυο, και ξέρουν το τοπικό δίκτυο κάθε κόμβο από την διεύθυνση IP του. Επίσης η διεύθυνση του IP χωρίζεται σε υπομήματα ευρύτερων υποδικτύων, ώστε η δρομολόγηση να γίνεται με πιο ιεραρχικό τρόπο, κάτι που αυξάνει κατά πολύ την ταχύτητα της όλης διαδικασίας.

Σε ένα mobile network όμως όπου ο κάθε κόμβος μετακινείται ανάμεσα σε πολλά LAN δεν γίνεται να ληφθούν με ιεραρχικό τρόπο οι αποφάσεις δρομολόγησης. Ενδέχεται κάποιος κόμβος που η διεύθυνση του αρχίζει με 120 να έχει μετακινηθεί σε κάποιο απομακρυσμένο από την αρχική του θέση τοπικό δίκτυο, έτσι ώστε οι αποφάσεις δρομολόγησης με βάση την IP να είναι λάθος. Ο κάθε δρομολογητής θα πρέπει εν τέλει να καταγράφει το επόμενο άλμα για κάθε έναν από τους κινητούς κόμβους του δικτύου, πράγμα που είναι έχει ως αποτέλεσμα την αργή και αναποτελεσματική δρομολόγηση.

Στα mobile networks το μοναδικό αναγνωριστικό κάθε κόμβου, που χρησιμεύει στον προσδιορισμό του, δεν συμμετέχει στην διαδικασία της δρομολόγησης αλλά αντιστοιχίζεται με κάποιο τρόπο σε μια άλλη διεύθυνση 3ου επιπέδου, εξαρτώμενη από το τοπικό δίκτυο στο οποίο βρίσκεται ο κόμβος. Με βάση αυτήν γίνεται η δρομολόγηση. Συνήθως λοιπόν υπάρχει κάποια βάση αναγνωριστικών, ώστε από το αναγνωριστικό του κάθε κόμβου να βρεθεί μια διεύθυνση του που να περιέχει πληροφορίες θέσης.

Location Management

Το πρόβλημα του Location Management(LM) είναι αυτό του εντοπισμού των κόμβων του δικτύου. Όπως αναφέρθηκε οι κόμβοι μετακινούνται ανάμεσα σε τοπικά δίκτυα, ενώ οι διευθύνσεις που τους προσδιορίζουν δεν περιέχουν πληροφορίες θέσης. Έτσι κάθε φορά που ο κόμβος A θέλει να στείλει κάτι στον κόμβο B, θα πρέπει να εντοπιστεί με κάποιο τρόπο το τοπικό δίκτυο (κυψέλη στην κινητή τηλεφωνία) στο οποίο βρίσκεται ο B και μετά τα πακέτα από τον A θα μεταφερθούν σε αυτό.

Το πρόβλημα του εντοπισμού μπορεί να χωριστεί σε δύο συναφή μέρη

-Το πρώτο είναι ο εντοπισμός καθαυτός ενός κόμβου ως μέτρηση θέσης. Γίνεται με διάφορες τεχνικές. Αυτές χαρακτηρίζονται ως τεχνικές είτε *paging* είτε *Location Update (LU)*

-Το δεύτερο μέρος του προβλήματος εντοπισμού είναι το πως οι πληροφορίες μέτρησης που συλλέγονται στο πρώτο μέρος μπορούν να οργανωθούν, αναλυθούν, καταστούν προσβάσιμες, και σε ένα είδος ανάδρασης να μπορούν να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα των τεχνικών του πρώτου μέρους. (Πχ κρατώντας πληροφορίες για το που περίπου βρίσκεται κάποιος χρήστης η αναζήτηση για αυτόν περιορίζεται σε αυτήν την περιοχή αντί για όλο το δίκτυο).

Η ανάγκη για διάθεση της πληροφορίας που συλλέγεται από τους μηχανισμούς εντοπισμού σημαίνει την ύπαρξη κάποιας βάσης δεδομένων. Σε ένα mobile δίκτυο, όταν ο A προσπαθήσει να ξεκινήσει την επικοινωνία με τον B ξέροντας μόνο το αναγνωριστικό του B, αλλά όχι την θέση του B, προφανώς δεν θα μπορέσει να στείλει απευθείας τα πακέτα στον B. Αυτό που θα κάνει θα είναι να επικοινωνήσει με κάποιον άλλο σταθερό κόμβο C, του οποίου γνωρίζει την (σταθερή) θέση. Ο C θα πρέπει με κάποιο τρόπο να βρει την θέση του B και να την στείλει στον A. Ο C μπορεί να είναι ένας κεντρικός σταθερός κόμβος με μια βάση δεδομένων με τις θέσεις όλων των κόμβων, την οποία βάση ενημερώνει το σύστημα LM. Μπορεί ο C να μην είναι ένας κεντρικός κόμβος αλλά ένας κόμβος μεταγωγής στον οποίο είναι συνδεδεμένος ο A, η κάποιος αντιπρόσωπος του B, σε κάθε περίπτωση πάντως υπάρχει μια βάση δεδομένων που περιέχει πληροφορίες θέσης και με την οποία συνδέεται ο "αποστολέας" A.

Οι βάσεις δεδομένων που αναφέρονται στην παραπάνω παράγραφο, και θα περιγραφούν και πιο κάτω αναλυτικότερα, λειτουργούν ως δομές δεδομένων στους αλγόριθμους/μηχανισμούς εντοπισμού κόμβων, έτσι ώστε να προκύψει ένα σύστημα LM. Αποθηκεύοντας τις μετρήσεις σε ένα είδος cache, γλιτώνουμε το κόστος εφαρμογής των μεθόδων εντοπισμού όταν οι παλιές χρονικά μετρήσεις αναμένεται να ισχύουν και την ώρα που γίνεται η νέα αναζήτηση (πχ για έναν κόμβο που είναι στατικός στο χώρο)

Οι δύο βασικοί μηχανισμοί πάνω στους οποίους στηρίζονται οι αλγόριθμοι εντοπισμού είναι το Paging και το Location Update (LU). Κατά κάποιο τρόπο συνεργάζονται συμπληρωματικά για να γίνει ο εντοπισμός με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο. Σε γενικές γραμμές στο paging το δίκτυο ψάχνει έναν κόμβο στέλνοντας του μηνύματα εντοπισμού. Ενώ στο LU ο κόμβος δηλώνει από μόνος του την θέση του στο δίκτυο στέλνοντας με δικιά του πρωτοβουλία ένα σήμα

Paging (Τηλεειδοποίηση)

Όταν γίνεται paging το σύστημα Location Management στέλνει ένα πακέτο (ή γενικά σήμα), σε ένα πλήθος από κυψέλες/τοπικά δίκτυα του mobile network στα οποία πιστεύει ότι βρίσκεται ο κόμβος που αναζητείται. Το σήμα εκπέμπεται σε κάθε τοπικό δίκτυο κυψέλη που καταφθάνει έτσι ώστε να το δούνε όλοι οι συνδεδεμένοι σε αυτήν σταθμοί. Εν τέλει το σήμα φτάνει στον κινητό κόμβο. Αυτός απαντάει στο σήμα. Το σύστημα παραλαμβάνει την απάντηση και θέτει ως θέση του κόμβου που αναζητείται το δίκτυο/κυψέλη από όπου ήρθε η απάντηση αυτή.

Το σύνολο από κυψέλες/τοπικά δίκτυα στο οποίο εφαρμόζεται το polling για έναν κόμβο που αναζητείται ονομάζεται Paging Area (PA). Στην χειρότερη περίπτωση το PA περιλαμβάνει όλα τα δίκτυα (ή κυψέλες, από εδώ και πέρα θα χρησιμοποιείται ο όρος κυψέλες) που είναι διασυνδεδεμένα στο mobile network. Τότε το

σύστημα δεν έχει καμία προγενέστερη πληροφορία για το που βρίσκεται ο κόμβος που ψάχνει, και έτσι ψάχνει σε όλες τις κυψέλες. Όταν υπάρχει κάποια προγενέστερη και πρόσφατη πληροφορία για το που βρίσκεται ο κόμβος, (από άλλο paging ή LU) το PA περιλαμβάνει μόνο αυτό το υποσύνολο από κυψέλες που δείχνει η πληροφορία αυτή. Αν αυτή η πληροφορία πρέπει δεν είναι πρόσφατη όμως, είναι πιθανό ο κόμβος να έχει αλλάξει θέση, πιθανότητα που εξαρτάται από το πόσο κινητικός είναι.

Το PA εξαρτάται και από τον αλγόριθμο εντοπισμού. Σε ορισμένες τεχνικές είναι μεταβλητό κατά την διάρκεια εφαρμογής του αλγορίθμου (πχ sequential paging) Αυτές περιγράφονται πιο κάτω.

Σε πολλούς αλγορίθμους το Paging Area είναι το ίδιο με το Location Area (που αναφέρεται παρακάτω). Αυτό σημαίνει ότι το paging γίνεται σε όλες τις κυψέλες του LA μαζί, γίνεται δηλαδή η υπόθεση ότι ο χρήστης κινείται αρκετά γρήγορα ώστε να είναι εξ ίσου πιθανόν να βρίσκεται σε οποιαδήποτε από τις κυψέλες του LA του. Αν αυτό δεν ισχύει (ο χρήστης δεν είναι ιδιαίτερα κινητικός) τότε κατά πάσα πιθανότητα θα έχει παραμείνει στην τελευταία του κυψέλη. Όποτε θα συνέφερε το paging να γίνει μόνο σε αυτήν την κυψέλη και όχι σε όλο το LA μαζί.. Στην περίπτωση που αυτό δεν πιάσει (αναμενόταν να είχε παραμείνει στην τελευταία κυψέλη αλλά τελικά δεν έμεινε) τότε να ερευνάται σαν δεύτερο βήμα όλο το LA. Η ιδέα των δύο (ή περισσότερων) διαδοχικών βημάτων μοιάζει να είναι ένας βολικός συμβιβασμός, αν όμως ο χρήστης είναι αρκετά κινητικός, τότε το να γίνεται διαδοχικά το rolling πρώτα στην τελευταία του κυψέλη και μετά στο υπόλοιπο LA προσθέτει καθυστέρηση. Αυτό γιατί είναι πολύ πιθανό ο χρήστης να αλλάξει θέση, οπότε είναι πολύ πιθανό το paging να χρειαστεί $n > 1$ βήματα. Για κάθε ένα βήμα σπαταλάται χρόνος T οπότε αν και δεν εξετάζονται τότε περισσότερες κυψέλες από το σχήμα χωρίς βήματα, μαζεύεται τελικά ένα σύνολο από $n * T$ δευτερόλεπτα καθυστέρησης.

Εδώ υπεισέρχεται ο παράγοντας του κόστους του paging. Για κάθε κυψέλη του PA πρέπει να γίνει η μετάδοση του μηνύματος paging σε όλους τους κόμβους της (με κάποιο broadcast σε τοπικά δίκτυα). Υπάρχει ένα κόστος για το κάθε μήνυμα paging που εκπέμπεται (καθώς καταναλώνει bandwidth). Συνολικά σε μια PA μπορεί να υπολογίσουμε το κόστος όλου του paging με έναν τύπο που αναφέρεται πιο κάτω. Σε mobile δίκτυα που δεν έχουν χαρακτήρα κινητής τηλεφωνίας πάντως γενικά δεν υπάρχει paging όπως στα δίκτυα κινητής, γιατί όποτε κάποιος κόμβος μεταπηδά σε ένα νέο τοπικό δίκτυο με την σύνδεση δηλώνεται και σε αυτό (δηλαδή γίνεται μόνο LU και είναι λίγες οι μετακινήσεις), ενώ πολλές φορές δεν συνδέεται και δεν αλληλεπιδρά καθόλου με μερικά δίκτυα που διασχίζει γεωγραφικά (πχ μεταφορά ενός φορητού από LAN σε LAN).

Επίσης η καθυστέρηση μέχρι την ολοκλήρωση του paging (ειδικά στα ακολουθιακά σχήματα) έχει εμμέσως κάποιο κόστος λόγω του ότι το δίκτυο δεν αποκρίνεται γρήγορα και η δυσαρέσκεια των πελατών αυξάνεται.

Το κόστος του paging πρέπει να μελετηθεί έχοντας υπόψη ότι σε ένα πραγματικό mobile network μπορεί να γίνονται πολλές κλήσεις από πολλούς χρήστες, και έτσι τα κόστη να αυξάνονται συνδυαστικά, ειδικά όσον αφορά την καθυστέρηση από τεχνικές με ακολουθιακό paging.

Το κόστος του paging πρέπει να αντιπαραβάλλεται με το κόστος του LU. Όταν σπαταλάμε πολύ σε LU μπορούμε να σπαταλήσουμε λιγότερο σε paging, paging και LU λειτουργούν κάπως ανταγωνιστικά. Με βάση αυτά τα δύο κόστη γίνεται προσπάθεια να ελαχιστοποιηθεί το τελικό (συνολικό) κόστος του LM με την εύρεση ενός βέλτιστου συνδυασμού από paging και LU.

Για αυτήν την ελαχιστοποίηση του LM χρειάζεται να γνωρίζουμε τα επιμέρους κόστη paging, και LU. Μετά με ανάλυση προκύπτει η βέλτιστη πολιτική για το πότε και πως θα γίνεται paging ή LU.

Ο υπολογισμός του κόστους paging/LU και η ακόλουθη ανάλυση κανονικά θα πρέπει να γίνονται μόνο με παράγοντες όπως το πλήθος χρηστών, η κινητικότητα, ο ρυθμός κλήσεων, το μέγεθος κυψελίδων, το μέγεθος των LA και PA, όμως υπάρχει εξάρτηση και από το εκάστοτε σύστημα και τις τεχνικές του λεπτομέρειες (πχ μέγεθος πακέτων). Σύμφωνα με μελέτες τυπικά το κόστος LU είναι 10 φορές μεγαλύτερο αυτού του paging

(στην κινητή τηλεφωνία) αν και μπορεί τεχνικές λεπτομέρειες ενός δικτύου να αλλάξουν τον λόγο [\[Cowling04\]](#)

Ένας τύπος για το τελικό κόστος είναι ο εξής [\[Cowling04\]](#)

$$CTOTAL = clu/tla + \lambda * cp * Nc$$

Σε αυτόν ο όρος $\lambda * cp * Nc$ είναι ο ρυθμός κλήσεων επί το κόστος ανά σήμα paging επί το πλήθος κυψελών στην paging area, ενώ ο άλλος όρος είναι το κόστος του location update προς το dwelling time, δηλαδή τον αναμενόμενο χρόνο που ο χρήστης παραμένει μέσα στο Location Area. Το TLA ενός LA είναι κάπως δύσκολο να υπολογιστεί. Προκύπτει (εμπειρικά με simulation) ότι ένα καλό μέτρο είναι ο σταθμισμένος μέσος όρος των dwelling times στην κάθε κυψέλη του LA επί την πιθανότητα ο χρήστης να βρίσκεται σε αυτήν την κυψέλη, ο οποίος μετά διαιρείται και με το movement factor γ του χρήστη, το οποίο περιγράφεται παρακάτω.

$$EstTLA = \sum(\text{for each cell in LA}) pCell(i) * TCell$$

$$TLA = EstTLA / \gamma$$

Το movement factor γ κάθε χρήστη μετριέται ανά γεωγραφική περιοχή με βάση τις πληροφορίες hand-off και location update. Για μια περιοχή A και έναν χρήστη X είναι ο χρόνος που χρειάστηκε ο X για να διασχίσει την A, προς τον χρόνο που χρειάστηκαν όλοι οι χρήστες κατά μέσο όρο για να την διασχίσουν. Άρα μεγάλες τιμές του γ σημαίνουν χρήστες που κινούνται σχετικά γρήγορα. Η μέτρηση του γ γίνεται για εξαρτώμενες από την θέση του χρήστη γεωγραφικές περιοχές και όχι για σταθερές κυψέλες ή LA, καθώς εκεί ανάλογα με τα σημεία εσόδου εξόδου από αυτές μπορεί να προκύψουν μετρήσεις που ανεβάζουν το γ πάρα πολύ.

Οι πολιτικές για το paging, είναι αυτή του παράλληλου paging σε όλο το PA και αυτή του sequential paging όπου το paging γίνεται κατά βήματα μιας ή περισσότερων κυψελών μέχρι να καλυφθεί όλο το PA. Στα πρώτα βήματα ελέγχονται οι κυψέλες όπου κρίνεται ότι ο χρήστης βρίσκεται με μεγάλη πιθανότητα, ενώ στα τελευταία βήματα οι κυψέλες που θεωρείται λιγότερο πιθανό να περιέχουν τον χρήστη. Το παράλληλο paging έχει πιο μεγάλο κόστος γιατί στέλνονται μηνύματα και σε κυψέλες που είναι λιγότερο πιθανό να βρίσκεται ο χρήστης, από την άλλη όμως επειδή γίνεται παράλληλα είναι και μικρότερος (και όχι μεταβλητός) ο χρόνος μέχρι την έναρξη της συνομιλίας. Με sequential paging μπορεί κανείς να γλυτώσει το κόστος αποστολής μηνυμάτων σε κυψέλες του PA που είναι λιγότερο πιθανόν να βρίσκεται ο χρήστης, όμως από την άλλη αν ο χρήστης ήταν τελικά σε μια κυψέλη που θεωρήθηκε λιγότερο πιθανόν να βρίσκεται, τότε και όλα τα μηνύματα paging θα σταλούν, και θα καθυστερήσει η αρχή της συνομιλίας μέχρι το paging να φτάσει βήμα βήμα στην κυψέλη του χρήστη.

Για να πετύχει το Sequential Paging χρειάζεται να γίνουν καλές προβλέψεις για την θέση του χρήστη. Χρειάζονται δηλαδή περισσότερες πληροφορίες για τον χρήστη. Όμως αυτό γενικά επιτυγχάνεται μέσω περισσότερων LU, που είναι ένα είδος αντίφασης. Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι υπολογισμού μιας κατάταξης των κυψελών του PA με βάση το πόσο πιθανόν είναι να βρίσκεται ο χρήστης σε αυτές. Στην λιγότερο συγκεκριμένη μέθοδο αρχικά γίνεται paging στην τελευταία κυψέλη που βρέθηκε ο χρήστης και μετά σειριακά με τυχαία σειρά γίνεται ο έλεγχος και των άλλων κυψελών. Μια καλύτερη μέθοδος είναι αυτή στην οποία ελέγχεται πρώτα η τελευταία κυψέλη του χρήστη και μετά σειριακά λαμβάνουμε αυξανόμενης ακτίνας κύκλους κυψελών γύρω από την αρχική θέση. Σε κάθε ένα από τους οποίους γίνεται παράλληλο paging στις κυψέλες του. Αυτή είναι και η μέθοδος που χρησιμοποιείται συνήθως καθώς έχει καλά αποτελέσματα χωρίς να είναι πολύπλοκη.

Μια πιο γενική και δυναμικά καλύτερη μέθοδος είναι αυτή στην οποία βάση ενός συνόλου από παραμέτρους, με κύρια παράμετρο την τελευταία κυψέλη του χρήστη, υπολογίζεται για κάθε κυψέλη του PA και μια πιθανότητα να βρίσκεται σε αυτήν ο χρήστης. Στην συνέχεια το paging γίνεται με την σειρά φθίνουσας πιθανότητας. Αυτή η μέθοδος όμως είναι πολύπλοκη και ακριβή καθώς χρειάζονται πολλοί υπολογισμοί για να διατηρηθεί ο πίνακας πιθανοτήτων που χρησιμοποιεί, ενώ επίσης αν τα δεδομένα που χρησιμοποιεί είναι

πολλά θα χρειάζεται και περισσότερα LU για να τα αποκτήσει. Το πλήθος παραμέτρων και μετρήσεων που συμμετέχουν στον υπολογισμό του πίνακα πιθανοτήτων είναι ευρύ και ανάλογο του συνόλου παραμέτρων που συμμετέχουν στα δυναμικά συστήματα εντοπισμού. Πχ θεωρητικά θα μπορούσαν να βρουν χρησιμότητα παράμετροι όπως η ταχύτητα του χρήστη, ο προορισμός του, οι κυψέλες που επισκεπτόταν στο παρελθόν πιο συχνά, το αν ακολουθεί κάποιο μεγάλο δρόμο του οδικού δικτύου. κα.

Τέλος αν και συνήθως το PA είναι υποσύνολο του LA επιτρέπεται πολλές φορές να ξεπεράσει τα όρια του και να περιέχει κυψέλες άλλων LA (πχ αν πιστεύεται ότι χάθηκε ένα LU).

Location Update (Ενημέρωση Θέσης Αναζήτησης)

Η δεύτερη τεχνική που χρησιμοποιείται στον εντοπισμό της θέσης είναι αυτή του Location Update (LU). Σε ένα LU ο κόμβος στέλνει στο σύστημα του LM ένα μήνυμα από μόνος του, δηλώνοντας την θέση του, αντί να ψάξει το σύστημα αυτόν. Η αποστολή γίνεται αρχικά στην κυψέλη όπου βρίσκεται ο κόμβος και στην συνέχεια με δρομολόγηση στο σύστημα LM. Εκεί καταγράφεται η κυψέλη από όπου στάλθηκε το μήνυμα μαζί με το αναγνωριστικό του κόμβου. Ο κόμβος, από τότε που έκανε το location update, το πιο πιθανόν είναι να έχει μετακινηθεί κάπως αλλά να βρίσκεται σε μια περιοχή κοντά στην τελευταία που δήλωσε. Έτσι η καταχώριση χρησιμεύει για να κατευθύνει το paging.

Το LU έχει και αυτό κόστος, κατ αρχήν το bandwidth που χρειάζεται να σταλεί το σήμα, και από την άλλη την ενέργεια που σπαταλάται για την αποστολή και που για κινητές συσκευές όπως τα τηλέφωνα είναι περιορισμένη, και έτσι περιορίζει και το πλήθος των LU.

Διάφοροι αλγόριθμοι εντοπισμού προτείνουν διάφορες πολιτικές για το πότε γίνεται το LU. Αυτές οι πολιτικές/αλγόριθμοι γενικά εξαρτιούνται από το χρόνο που πέρασε από το τελευταίο LU, την απόσταση που έχει διανυθεί από τότε, τα όρια περιοχών όπως τα LA, χαρακτηριστικά που εξαρτιούνται από τον χρήστη όπως οι πιθανοί προορισμοί του και οι κυψέλες που βρίσκεται συχνά και άλλα. Λεπτομερής περιγραφή γίνεται παρακάτω. Γενικά ένα LU γίνεται κατά την αλλαγή του LA είτε αυτό είναι στατικό είτε προσαρμοσμένο για τον κάθε χρήστη (με εξαιρέσεις όπως το always update scheme)

Location Areas (Θέσεις Αναζήτησης)

Σε κάθε mobile network υπάρχει μια λογική διαίρεση του δικτύου σε location areas (LA), η οποία σχετίζεται και με την οργάνωση των πληροφοριών που συλλέγονται από αυτούς. Ένας από τους στόχους ενός LM scheme είναι να υπάρχει μια προσβάσιμη βάση δεδομένων η οποία να δίνει πληροφορίες θέσης για κάθε αναγνωριστικό κόμβου, πληροφορίες οι οποίες συλλέγονται με τους μηχανισμούς εντοπισμού. Η βάση μπορεί να είναι κεντρική ή κατακεντρωμένη. Εδώ θα αναφερθεί η οργάνωση της βάσης στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, και παρακάτω θα γίνει αναφορά και στην αρχιτεκτονική του mobile IP.

Στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας η βάση έχει ιεραρχική δομή. Μπορεί να χωριστεί στον Home Location Register (HLR) που είναι ένας, και σε ένα σύνολο από VLRs. Ο κάθε VLR αντιστοιχεί και σε μια περιοχή LA. Κάθε LA έχει έναν και μοναδικό VLR ενώ μπορεί να έχει πολλά Mobile Switching Centers (MSC) τα οποία εδώ μπορεί κανείς να τα σκεφτεί ως δρομολογητές που ενώνουν τις κυψέλες.

Στον HLR καταχωρούνται για κάθε κινητό κόμβο του δικτύου το VLR και το MSC στα οποία ανήκει. Ενώ σε κάθε VLR καταχωρείται η κυψέλη στην οποία βρίσκονταν κατά το τελευταίο Location Update, για όσους κόμβους είναι στο LA του VLR. Όταν κάποιος προσπαθεί να εντοπίσει έναν κόμβο ζητάει την πληροφορία από τον HLR (εμμέσως από τον VLR του).. Ο HLR παίρνει το αναγνωριστικό του κόμβου παραλήπτη και το αντιστοιχίζει στο VLR όπου βρίσκεται. Στην συνέχεια ζητάει από αυτόν τον VLR να του στείλει πληροφορίες. Ο VLR τότε εκτελεί paging και επιστρέφει την θέση (στην ουσία επιστρέφει μια νέα τιμή του MSC) του κόμβου. Ο HLR επιστρέφει την τιμή σε αυτόν που την ζήτησε. Όποτε γίνεται κάποια αλλαγή του LA ενός

κόμβου K τότε αυτός κάνει και ένα LU. Ο παλιός VLR, V1, στου οποίο ήτανε καταγεγραμμένος ο K σβήνει την καταχώρηση για τον K, ενώ ο VLR του νέου LA, V2, καταχωρεί τον K και ενημερώνει τον HLR ότι ο K βρίσκεται στο LA του V2.

Στην κίνηση ενός κόμβου K μέσα σε ένα Location Area και από κυψέλη σε κυψέλη, δεν χρειάζεται να αλλάξει η τιμή VLR που υπάρχει τον HLR για τον K.

Τα location areas στις απλούστερες τεχνολογίες είναι σταθερά και τα ίδια για κάθε χρήστη. Έχουν δε τη μορφή ενός συνεκτικού σύνολου διπλανών κυψελών σε σχήμα δίσκου. Σε άλλες τεχνολογίες γίνεται προσπάθεια τα location areas να ορίζονται ανά χρήστη, και να έχουν πιο πολύπλοκα σχήματα, ώστε να προσαρμόζονται καλύτερα στο προφίλ κίνησης και κλήσεων του.

Παρουσίαση αλγορίθμων

Οι αλγόριθμοι (καλύτερα μπορούν να αναφερθούν ως σχήματα ή πολιτικές καθώς η ουσία είναι στις επιλογές τους σε διάφορα θέματα και όχι σε κάποια αλληλουχία βημάτων επεξεργασίας), που λύνουν το πρόβλημα του Location Management χωρίζονται σε στατικούς και δυναμικούς. Η διαφορά τους είναι ότι οι δυναμικοί αλγόριθμοι προσαρμόζουν τις παραμέτρους τους (πχ τα LA PA) ανά χρήστη και δυναμικά, ενώ οι στατικοί έχουν στατικές παραμέτρους και οι παράμετροι αυτοί βελτιστοποιούνται για το σύνολο των χρηστών και όχι για τον κάθε ένα ξεχωριστά. Η στατικότητα των σχημάτων είναι δηλαδή σε μεγάλο βαθμό η αδυναμία εξατομίκευσης για κάθε χρήστη. Αυτή τη στιγμή στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούνται κυρίως στατικά σχήματα. Αυτό συμβαίνει γιατί είναι πιο απλά στο να εφαρμοστούν και προς το παρόν το κέρδος από την εφαρμογή ενός δυναμικού αλγορίθμου δεν καλύπτει το κόστος της επιπλέον πολυπλοκότητας. Συγκεκριμένα στο GSM χρησιμοποιείται το σύστημα εντοπισμού GSM-MAP (Global System for Mobile Communications - Mobile Applications Part) ενώ σε άλλου τύπου δίκτυα κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιείται το EIA/TIA IS-41 (Electronic and Telephone Industry Associations Interim Standard 41) Παρακάτω αναφέρονται οι επιλογές πολιτικής του κάθε ενός.

Στα στατικά σχήματα στην ουσία ο χώρος που καλύπτει το δίκτυο χωρίζεται σαν grid από τις σταθερές και σταθερού μεγέθους LA. Επειδή οι LA βρίσκονται και συνορεύουν σε συγκεκριμένη γεωγραφική θέση είναι δυνατόν κάποιος χρήστης που μετακινείται σε ένα μικρό χώρο γύρω από αυτήν να αλλάζει συνέχεια LA, και κατά συνέπεια να κάνει συνέχεια LU που είναι άσκοπα γιατί δεν φεύγει μακριά από το σημείο που τα LA συνορεύουν. Αν γινόταν να προσαρμοστούν οι LA για τον χρήστη και θέταμε ως τρέχουσα LA του αυτόν τον μικρό χώρο στον οποίο κινείται δεν θα χρειαζότανε να γίνει κανένα LU.

Στατικοί αλγόριθμοι-πολιτικές-σχήματα

-Always update

Σε αυτόν το scheme γίνεται ένα LU κάθε φορά που ο κινητός κόμβος αλλάζει κυψέλη. Αυτό σημαίνει ότι δεν χρειάζεται να γίνει paging γιατί στον VLR υπάρχει πάντα μια εγγραφή με την κυψελίδα που βρίσκεται ο κόμβος,. Με αυτήν την τεχνική το κόστος σε LU είναι μεγάλο. Οι κόμβοι στέλνουν περισσότερα LU ειδικά

αν είναι πολύ κινητικοί. Χάνεται πολύ ενέργεια (η μπαταρία του κινητού τελειώνει πιο γρήγορα) .. Αν ένας χρήστης κινείται πολύ αλλά επιστρέφει στο ίδιο σημείο ή/και αν δεν δέχεται πολλές κλήσεις, τότε επίσης θα κάνει περισσότερα LU από ότι θα χρειαζόταν.

-Never update

Στο never update scheme ο χρήστης κάνει LU μόνο αλλάζοντας LA Με αυτό το scheme αναγκαστικά θα πρέπει ο VLR να κάνει paging σε όλη την LA κάθε φορά που δέχεται μια κλήση. Με το paging μπορεί ο VLR να προσδιορίσει την κυψέλη στην οποία βρίσκεται μέσα στο LA ο χρήστης. Όπως αναφέρεται και παραπάνω το paging μπορεί να γίνει παράλληλα σε όλες τις κυψέλες του LA ή σειριακά σε κυψέλες με αυξανόμενη πιθανότητα να έχουν τον χρήστη στο εσωτερικό του.

Με το never update έχουμε πολύ μικρότερο κόστος για τα LU αλλά αυξάνει το κόστος για το paging. Αυτό μπορεί να συμφέρει ή όχι ανάλογα με το πόσο κοστίζει ένα LU σε σύγκριση με ένα μήνυμα paging. Οι χρήστες που είναι προβλέψιμοι, όσον αφορά την κινητικότητα τους, ή που δεν δέχονται πολλές κλήσεις, είναι καλύτερο να μην κάνουνε LU. Οι χρήστες που κινούνται πολύ και δέχονται πολλές κλήσεις θα ήτανε καλύτερο να κάνουν πολλά LU άρα τους ταιριάζει το always update. Όταν όμως τα schemes είναι στατικά και άρα δεν γίνεται να προσαρμοστούν ανά χρήστη δεν γίνεται να εφαρμοστούν και τα δύο μαζί.

Μελέτες [Halperidon 05] έχουνε δείξει ότι στο 10% των χρηστών που είναι πιο κινητικοί αναλογεί γύρω στα 2/3 των κλήσεων. Επίσης γύρω στο 50% των χρηστών είναι σχεδόν στατικοί στον χώρο, και το πόσο κλήσεων που κάνουν διαφέρει αρκετά από τον ένα στον άλλο. Οι παραπάνω παρατηρήσεις δείχνουν πως ένα στατικό scheme δεν μπορεί να είναι βέλτιστο.

-Update on interval

Σε αυτό το στατικό scheme οι κόμβοι κάνουνε LU κάθε φορά που ολοκληρώνεται ένα χρονικό διάστημα. Το διάστημα αυτό είναι σταθερό και δεν αλλάζει καθώς λειτουργεί το σύστημα ενώ συνήθως είναι και το ίδιο για όλους τους χρήστες (στατικότητα). Ανάλογα με το αν το χρονικό διάστημα είναι μικρό η μεγάλο θα έχουμε και περισσότερα LU. Ανάλογα με το αν ο χρήστης κινείται συχνά ή όχι αυτό μπορεί να συμφέρει ή όχι. Με κατάλληλη επιλογή του διαστήματος το scheme αυτό μπορεί να λειτουργεί με ρυθμό LU σαν του always update scheme ή μεγαλύτερο ή και μικρότερο. Συνήθως επιλέγεται ένας ρυθμός ώστε το interval based scheme να έχει συμπεριφορά ενδιάμεση του always update και του never update scheme. Όπως και στο always update χρήστες που παραμένουν στατικοί στον χώρο κάνουνε επιπλέον LU από ότι χρειάζεται. Ενώ αν ο ρυθμός που γίνονται τα LU είναι μικρότερος από αυτόν του ίδιου χρήστη σε always update scheme θα υπάρχει λιγότερη πληροφορία για τον χρήστη όταν δεχθεί μια κλήση οπότε και θα αυξηθεί το paging cost. Επίσης αν το χρονικό διάστημα είναι πολύ μεγάλο τότε υπάρχει το ενδεχόμενο ο σταθμός να περάσει σε ένα άλλο LA πριν λήξει το χρονόμετρο του LU του, κάτι που θα δυσκολέψει πολύ την εύρεση του μέχρι να κάνει το LU καθώς θα βρίσκεται σε άλλο LA από αυτό του VLR που τον έχει καταγεγραμμένο. Αυτό αντιμετωπίζεται πχ με το να απαιτείται να γίνει LU σε αλλαγή LA ακόμα και αν δεν έχει λήξει το χρονόμετρο.

Βελτιστοποίηση στατικών μεθόδων

Οι στατικές μέθοδοι δεν κάνουνε διάκριση ανάμεσα στους χρήστες οπότε η βελτιστοποίηση γίνεται με βάση τα μέσα χαρακτηριστικά του συνόλου των χρηστών, πχ μέσος ρυθμός κλήσεων λ και μέση κινητικότητα γ , και από ιδιότητες του δικτύου όπως το μέγεθος κυψέλης, τα μεγέθη των PA και LA, το κόστος paging και LU κ.α. Παραπάνω είχε δοθεί ένας τύπος για το συνολικό κόστος με βάση τα paging και LU κόστη. Αυτός για να εφαρμοστεί θα χρειαστεί να προσδιοριστούν πρώτα οι LAs και PAs. Σε αυτήν την κατεύθυνση ο τύπος δίνει το πλήθος κυψελών ανά LA με βάση την υπόθεση ότι όλες έχουνε το ίδιο μέγεθος και σχήμα.

$$N_{opt} = \sqrt{\frac{vC_{lu}}{\pi RC_{pg}}}$$

Ο τύπος [Giner 04] βγαίνει από ανάλυση ροής υγρών (επιχειρησιακή έρευνα) και λέει ότι εν τέλει οι κυψέλες ανά LA πρέπει να είναι λίγες όταν το κόστος paging είναι μεγάλο, ή το μέγεθος κυψέλης είναι μεγάλο. Ενώ θα πρέπει να είναι πολλές όταν είναι δαπανηρά τα LU ή η κινητικότητα είναι μεγάλη. Στο μοντέλο γίνονται υποθέσεις ότι οι χρήστες κινούνται ομοιόμορφα και χρησιμοποιείται η μέση ταχύτητα σαν μια προσέγγιση της ιδεατής λειτουργίας του συστήματος.

Δυναμικές μέθοδοι

Οι δυναμικές μέθοδοι προσαρμόζουν τις παραμέτρους του LM ανά χρήστη ή ομάδα χρηστών και επιτρέπουν το να μεταβάλλονται αυτές οι παράμετροι στον χρόνο, σε αντίθεση με τις στατικές. Δηλαδή παράμετροι όπως η πολιτική του πότε γίνεται το LU, και το ποιο είναι το LA μπορούν να καθοριστούν δυναμικά και για τον κάθε χρήστη ξεχωριστά. Οι δύο μεγάλες κατηγορίες δυναμικών μεθόδων για LM είναι αυτή του δυναμικού LU και αυτή του δυναμικού LA. Δεν αποκλείεται να γίνει και συνδυασμός των δύο σε ένα σχήμα LM.

Dynamic Location Update

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι με dynamic LU οι κυριότερες από τις οποίες είναι οι εξής:

Threshold Based Dynamic Location Update (Δυναμική ανανέωση θέσης αναζήτησης με χρήση κατωφλίου)

Σε αυτήν την ομάδα μεθόδων το LU γίνεται μόλις η τιμή μιας μεταβλητής που σχετίζεται με τον χρήστη φτάσει να έχει κάποια τιμή. Για παράδειγμα κάθε χρήστης διατηρεί μια μεταβλητή με το πόσες αλλαγές κυψέλης έχει κάνει. Όταν η μεταβλητή φτάσει την τιμή V (με το να αυξάνεται κάθε φορά που ο χρήστης αλλάζει κυψέλη) τότε γίνεται ένα LU και η μεταβλητή μηδενίζεται ώστε να αρχίσει ένας νέος κύκλος λειτουργίας της μεθόδου. Για κάθε χρήστη αντιστοιχεί και κάποια διαφορετική τιμή όριο Vi, η οποία είναι η κατάλληλη με βάση τα χαρακτηριστικά του. Χαρακτηριστικά που είτε το δίκτυο υποθέτει ότι έχει, ή το δηλώνει ο ίδιος με κάποιου είδους συμβόλαιο προς το δίκτυο.

Πχ αν ο χρήστης δηλώσει ότι στο επόμενο χρονικό διάστημα θα κινείται γρήγορα μέσα στο δίκτυο, τότε η τιμή Vi του είναι καλό να μικρύνει καθώς δεν θα είναι προβλέψιμη η θέση του. Ενώ αν δηλώσει ότι θα παραμείνει στατικός, το Vi μπορεί να μεγαλώσει ώστε να γλυτώσει η μέθοδος το κόστος από μερικά LU. Αν πάλι δεν είναι σε θέση να το δηλώσει εκ των προτέρων στο δίκτυο, τότε αυτό θα πρέπει με κάποιο τρόπο να καταλάβει την κατάσταση του χρήστη, ελέγχοντας με κάποιο τρόπο την θέση του, και εφόσον αυτός ο έλεγχος δεν προσθέτει άχρηστα κόστη εντοπισμού.

Η τιμή Vi μπορεί να μην είναι σταθερή στο χρόνο, όπως σε μια στατική μέθοδο. Αν δηλαδή ο χρήστης δηλώσει ότι τα χαρακτηριστικά κίνησης του αλλάζουν, η Vi αλλάζει και αυτή αναλόγως. Τέλος οι threshold based μέθοδοι συχνά χρησιμοποιούνται και σε συνδυασμό με πιο εξελιγμένες μεθόδους dynamic LU και dynamic LA, από τις οποίες αντλούν στοιχεία για τον χρήστη ώστε να προσαρμόσουν καλύτερα τα Vi.

Οι 3 πιο γνωστές threshold based μέθοδοι είναι οι

Time Based

Σε αυτήν το χαρακτηριστικό-μεταβλητή που καθορίζει το πότε θα γίνει το LU είναι ο χρόνος που έχει περάσει από το προηγούμενο LU. Λειτουργεί δηλαδή παρόμοια με την στατική update on interval μόνο που εδώ το interval μπορεί να αλλάξει δυναμικά και μπορεί να είναι και διαφορετικό ανάλογα με τον χρήστη. Εφόσον δεν γίνει αλλαγή του interval ο χρήστης στέλνει ένα LU κάθε φορά που λήγει.

Μια άλλη μέθοδος δυναμικού LU είναι αυτή στην οποία ο χρήστης στέλνει ένα LU κάθε φορά που συμπληρώνει ένα πλήθος βημάτων αλλαγών κυψέλης, και η οποία περιγράφηκε και λίγο πιο πάνω. Η μέθοδος αυτή μοιάζει σαν δυναμική always update και εκεί τείνει αν θέσουμε το πλήθος βημάτων της στο 1. Έχει όμως καλύτερες δυνατότητες από την always update γιατί προσαρμόζει το πλήθος αλλαγών μέχρι το LU ανάλογα με τον χρήστη. Ένα πρόβλημα της είναι ότι κάποιος χρήστης που κινείται πολύ αλλά σε έναν συγκεκριμένο χώρο (πιθανώς και στην χειρότερη γύρω από ένα σημείο που τέμνονται LA, κάτι που ονομάζεται ring pong effect) κάνει συνεχώς LU μολονότι η περιοχή στην οποία βρίσκεται είναι σχετικά μικρή και θα μπορούσε να βρεθεί σε αυτήν γρήγορα με paging. Δηλαδή το πρόβλημα είναι ότι το "πραγματικό" LA του χρήστη, η λογική περιοχή στην οποία κινείται, τέμνεται από πολλά φυσικά LA, δηλαδή περιοχές στις οποίες έχει χωριστεί το δίκτυο. Το πρόβλημα λύνεται κατ αρχήν με μεθόδους dynamic LA αλλά και από την επόμενη μέθοδο που είναι και αυτή threshold based. Πάντως σε μελέτες βρέθηκε ότι αυτή η μέθοδος έχει καλύτερα αποτελέσματα από την time based, εκτός και αν οι χρήστες είναι πολύ κινητικοί (οπότε συμπεριφέρεται σαν always update) []

Distance Covered

Σε αυτήν την μέθοδο γίνεται προσπάθεια να αποφευχθεί το πρόβλημα της προηγούμενης. Αντί το LU να γίνεται ανάλογα με το πόσες κυψέλες έχει αλλάξει ο χρήστης, γίνεται με βάση το πόσο απέχει (σε κυψέλες ή μονάδες μήκους) από την τελευταία κυψέλη που έκανε LU. Για να γίνει αυτή η μέτρηση χρειάζεται ο κόμβος να κάνει υπολογισμούς με τις αλλαγές κυψέλης που κάνει ή/και μέσω κάποιας συσκευής μέτρησης απόστασης που έχει, έχοντας έναν χάρτη του δικτύου όπως κατανέμεται σε κυψέλες. Αυτό για να γίνει όμως χρειάζεται πολύ υπολογιστική ισχύς στους χρήστες (στην συσκευή κινητού τηλεφώνου πχ) και έτσι η μέθοδος αν και δίνει καλύτερα αποτελέσματα από την προηγούμενη είναι και πιο ακριβή στην υλοποίηση. Υπενθυμίζεται ότι από την στιγμή που έχουμε δυναμικό LU η ευθύνη για το πότε θα σταλεί το σήμα εντοπισμού ανήκει στον χρήστη και όχι στο δίκτυο άρα αυτός πρέπει να κάνει τους υπολογισμούς θέσης και όχι το δίκτυο.

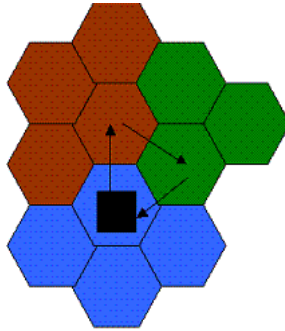
Profile Based

Σε αυτήν την μέθοδο που έχει και στοιχεία dynamic LA, γίνεται προσπάθεια να καταγραφούν στοιχεία από κάθε χρήστη ώστε να δημιουργηθεί για αυτόν ένα προφίλ με τις πιο συχνές κυψέλες που επισκέπτεται. Αν αυτό το προφίλ περιέχει λίγες κυψέλες τότε μπορεί να λειτουργήσει ως ένα LA για τον χρήστη, ο χρήστης να εντοπίζεται με paging μέσα σε αυτό, και μόνο αν βγαίνει έξω από αυτό να χρειάζεται να κάνει LU, με κάποια άλλη δυναμική μέθοδο. Αν δημιουργηθούν πολλά τέτοια προφίλ και καλύπτουν τις περισσότερες κυψέλες έχουμε ένα σύστημα δυναμικού LA. Για να λειτουργήσει όμως ένα profile based σύστημα χρειάζεται να γίνει η συλλογή απαραίτητων δεδομένων για τους χρήστες και αυτοί να είναι και αρκετά προβλέψιμοι. Αν δεν ισχύουν αυτές οι προϋποθέσεις τότε το σύστημα είναι μη αποδοτικό.

Dynamic LA

Οι τεχνικές δυναμικού LA είναι γενικά μια επέκταση των profile based τεχνικών δυναμικού LU. Γίνεται μια προσπάθεια να δημιουργηθούν ξεχωριστά LAs για τον κάθε χρήστη τέτοια ώστε να ελαχιστοποιήσουν το κόστος σε LU που απαιτείται για αυτόν. Το σχήμα θεωρεί ότι το LU γίνεται μόνο κατά την αλλαγή LA όμως το LA θα έχει προσαρμοστεί ώστε και η αλλαγή να είναι σπάνια και το κόστος του paging μέσα στο LA να είναι μικρό. Τα LA αυτής της μεθόδου έχουν πολύπλοκο σχήμα και όχι απαραίτητα αυτό του συνεκτικού δίσκου από κυψέλες. Είναι διαφορετικά για κάθε χρήστη πχ μια κυψέλη που ανήκε σε συγκεκριμένο LA σε στατικό σχήμα να ανήκει σε πολλά διαφορετικά LA χρηστών σε dynamic LA. Επίσης γίνεται να

μεταβάλλονται στο χρόνο ανάλογα με την κατάσταση του χρήστη. Μπορούνε εύκολα να αποτρέψουν προβλήματα όπως το ping pong effect (καλύπτοντας το χώρο κίνησης του χρήστη σε ένα μόνο LA) ή και να προσαρμοστούν σε χρήστες με πολύ υψηλή κινητικότητα (μικραίνοντας το LA). Για να δημιουργηθούν αυτά τα LA χρειάζονται πληροφορίες για τον χρήστη που αναφέρθηκαν παραπάνω όπως η κινητικότητα, ο ρυθμός κλήσεων οι κυσέλες που βρίσκεται πιο συχνά, οι διαδρομές που ακολουθεί κ.α. Επειδή για να προκύψουν τα LAs του χρήστη από αυτές τις πληροφορίες χρειάζεται ανάλυση, κατά συνέπεια προς το παρών οι τεχνικές δυναμικού LA θεωρούνται δαπανηρές και δεν είναι σε χρήση.



Στην εικόνα φαίνεται το ping pong effect, ο χρήστης κινείται σε μια περιοχή που αν και μικρή έχει τμήματα σε 3 διαφορετικές LA (οι χρωματισμένες περιοχές) Αν γινόταν να προσαρμόσουμε το LA του χρήστη στις κυσέλες που περνάει θα γλυτώναμε πολλά LU. [Keshav 04]

Mobile IP (Κινητό IP)

Πέρα από την τεχνολογία της κινητής τηλεφωνίας οι ανάγκες για LM εμφανίζονται και στα κλασικά δίκτυα υπολογιστών, και συγκεκριμένα στο Internet. Το Internet έχει μερικές σημαντικές διαφορές από τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας που αλλάζουν και τις τεχνικές εντοπισμού που απαιτούνται για να λειτουργήσει ως mobile network. Στο Internet, τουλάχιστον προς το παρών, συμμετέχουν συσκευές που έχουνε μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύ, και περισσότερη διαθέσιμη ενέργεια από ότι στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (υπολογιστής συγκριτικά με ένα κινητό τηλέφωνο). Επίσης αυτές οι συσκευές είναι λιγότερο κινητικές από ότι ένα κινητό τηλέφωνο. Συνήθως το σενάριο που αντιμετωπίζουμε είναι το πως θα γίνει να μεταφερθεί ομαλά ένας υπολογιστής ανάμεσα σε το πολύ λίγες δεκάδες τοπικά δίκτυα Wi-Fi, ή το πως θα διατηρήσει την IP του αλλάζοντας τοπικό δίκτυο αλλά χωρίς να χρειάζεται να παραμείνει συνδεδεμένος κατά την αλλαγή. Όταν η γεωγραφική κλίμακα είναι μεγάλη και εισάγονται απαιτήσεις hand-off τότε το πεδίο έρευνας που ασχολείται με το θέμα είναι αυτό της κινητής τηλεφωνίας, άσχετα από το αν γίνεται μετάδοση δεδομένων ή φωνής.

Επομένως κοιτώντας τις περιπτώσεις mobile δικτύων που δεν έχουνε την υφή ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας, καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε κυρίως το πρόβλημα της ομαλής αλλαγής θέσης ενός κόμβου, χωρίς να αλλάξει η διεύθυνση του (συγκεκριμένα στο Internet, να αλλάξουμε τοπικό δίκτυο χωρίς να αλλάξουμε IP) Οι διευθύνσεις IP περιέχουν πληροφορίες θέσης και δρομολόγησης (το τοπικό δίκτυο του κόμβου). Όταν αλλάξει η θέση ενός κόμβου δεν γίνεται να διατηρήσει την ίδια IP γιατί η δρομολόγηση πακέτων προς αυτή θα πηγαίνει πάλι προς το αρχικό δίκτυο. Δρομολόγηση ανά κόμβο αντί για ανά τοπικό δίκτυο από την άλλη θα ήτανε πολύ πολύπλοκη έως αδύνατη. Έτσι η μοναδική λύση είναι με κάποιο τρόπο ο μετακινούμενος κόμβος να έχει δύο διευθύνσεις, την κανονική διεύθυνση αναγνωριστικό με την οποία τον γνωρίζουν οι άλλοι χρήστες και τα προγράμματα, και την διεύθυνση που αποκτάει όταν μεταβαίνει σε κάποιο άλλο δίκτυο που λειτουργεί ως προσωρινή ένδειξη θέσης και χρησιμεύει στην δρομολόγηση. Με κάποιον τρόπο θα πρέπει το Internet να είναι σε θέση να αντιστοιχίζει τις δύο αυτές διευθύνσεις και να παραδίδει την πληροφορία σε όποιον την χρειάζεται, οπότε όλο αυτό αποτελεί τελικά ένα σύστημα LM.

Στο Internet είναι δυνατόν να γίνει ένα είδος LM κάνοντας χρήση διάφορων αναγνωριστικών και εφαρμογών

υψηλότερου επιπέδου, όπως πχ η αυθεντικοποίηση σε ένα δίκτυο τηλεσυνδιάλεξης (chat). Όμως σημασία έχει αυτό να μπορεί να γίνει και σε ένα πιο χαμηλό επίπεδο, και με αυτόματο τρόπο, ώστε οι εφαρμογές υψηλότερου επιπέδου να μην μπορούν να λειτουργούν όλες χωρίς να χρειασθούν αλλαγές. Επιπλέον για την περίπτωση μετάβασης ανάμεσα σε Wi Fi δίκτυα το να πρέπει να δοθεί κωδικός κάθε φορά που γίνεται μια αλλαγή δικτύου Wi Fi θα είναι κουραστικό.

Η λύση σε αυτό το πρόβλημα δίνεται από μια τεχνολογία/σύσταση που ονομάζεται Mobile IP. Σε αυτήν έχουμε ένα καταναμημένο σύστημα LM (πιο καταναμημένο από ότι στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας που έχουν κεντρική διαχείριση) στο οποίο δεν χρησιμοποιούνται τεχνικές όπως το paging (καθώς οι συσκευές είναι έξυπνες και η κινητικότητα μικρή) και ούτε υπάρχει κάποιο κεντρικό σημείο ανάλογο του HLR.

Έστω ο χρήστης X του οποίου η κανονική διεύθυνση, αυτή που τον προσδιορίζει και θέλει να διατηρεί ενώ μετακινείται, είναι η 85.49.36.12 του τοπικού δικτύου 85.49.36.0. Το δίκτυο αυτό ονομάζεται οικείο δίκτυο του X. Όταν ο X μετακινηθεί σε κάποιο άλλο τοπικό δίκτυο, το οποίο ονομάζεται ξένο δίκτυο, τα πακέτα προς την διεύθυνση 85.49.36.12 θα εξακολουθούν να δρομολογούνται προς το οικείο αντί για το ξένο δίκτυο. Η λύση του Mobile IP είναι η εξής. Τόσο στο οικείο όσο και σε κάθε πιθανό ξένο δίκτυο υπάρχουν κάποιες οντότητες (διεργασίες που τρέχουν) που ονομάζονται αντιπρόσωποι ή πράκτορες. Ο πράκτορας του οικείου δικτύου ονομάζεται οικείος πράκτορας ενώ οι άλλοι ξένοι πράκτορας. Αν υποθέσουμε ότι τα τοπικά δίκτυα είναι Ethernet (ανάλογη διαδικασία γίνεται και σε άλλου τύπου τοπικά δίκτυα) τότε μόλις ο X φύγει από το οικείο δίκτυο στέλνει μέσω κάποιου ειδικού μηνύματος (gratuitous ARP) ένα μήνυμα στον δρομολογητή του οικείου δικτύου ότι φεύγει, δηλαδή η IP του δεν αντιστοιχεί άλλο στην MAC address. Αυτό ώστε όταν εν τέλει φτάσει κάποιο πακέτο από έξω προς την διεύθυνση IP, ο δρομολογητής του οικείου δικτύου να ψάξει με ARP να βρει ποια συσκευή την έχει, και τότε αντί να απαντήσει η απύσχα X που έχει φύγει σε άλλο δίκτυο να απαντήσει ο οικείος πράκτορας.

Μόλις η X φτάσει στο δίκτυο προορισμού της, συνδέεται και ψάχνει για τον ξένο πράκτορα αυτού του δικτύου. Εκεί του δίνει την διεύθυνση του οικείου πράκτορα και ζητάει τον ξένο να ενημερώσει τον οικείο πράκτορα για την νέα θέση του X. Μάλιστα αν μπορεί στο νέο δίκτυο να λάβει και καινούργια IP μπορεί ο ίδιος ο X να ενεργήσει ως ξένος πράκτορας. Εν τέλει κάποιος χρήστης A θέλει να στείλει μερικά πακέτα στον X, γνωρίζοντας μόνο την οικεία του διεύθυνση. Τα πακέτα αυτά θα φτάσουν στο οικείο δίκτυο και εν τέλει στον οικείο πράκτορα. Τότε αυτός μπορεί με tunneling, δηλαδή τρέχοντας το πρωτόκολλο IP πάνω σε σύνδεση που είναι πάλι IP, να στείλει τα πακέτα στον ξένο πράκτορα, ο οποίος στη συνέχεια τα μεταδίδει σε δεύτερο επίπεδο αλλά ολόκληρα στον X με τον οποίο βρίσκονται στο ίδιο τοπικό δίκτυο. Ο X να είναι ο ίδιος ξένος πράκτορας οπότε το σχήμα είναι πιο απλό. Τέλος γίνεται ο οικείος πράκτορας να ενημερώσει τον A για το ποιος είναι ο ξένος πράκτορας του X, ώστε το tunneling να γίνεται απευθείας χωρίς την συνδρομή του οικείου, η αν το επιτρέπει η εφαρμογή να χρησιμοποιηθεί κατευθείαν η νέα διεύθυνση του X χωρίς tunneling.

Σημασία πάντως σε όλα αυτά έχει και η αυθεντικοποίηση των χρηστών, καθώς όταν έρχονται στο τοπικό δίκτυο αιτήματα ανακατεύθυνσης από έξω είναι πιθανόν αυτά να είναι ύποπτα.

Συμπεράσματα

Το ζήτημα του Location Management σε mobile δίκτυα προς το παρών εμφανίζεται κυρίως σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Υπάρχει και το Mobile IP για την αντιμετώπιση του προβλήματος στο Internet, όπου οι χρήστες και οι συνδέσεις τους δεν έχουν τα χαρακτηριστικά αυτών που επικοινωνούν με κινητά τηλέφωνα. Στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας το location management λύνεται σε επίπεδο δικτύου της εταιρείας, με τον βέλτιστο για το εκάστοτε δίκτυο τρόπο, και στη συνέχεια η εταιρεία ασχολείται με το πως θα ενσωματώσει το δίκτυο της στο Internet. Στα κλασικά δίκτυα ο κινητός χρήστης στην ουσία παίρνει νέες διευθύνσεις καθώς μετακινείται στο Internet, διατηρώντας με κάποιον proxy την παλιά διεύθυνση ώστε να γίνει ανακατεύθυνση με tunneling.

Στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούνται πιο εξελιγμένες τεχνικές λόγω της μεγαλύτερης κινητικότητας και της απλότητας των συσκευών επικοινωνίας. Οι τεχνικές αυτές προσπαθούν να βρουν ένα συνδυασμό από paging και location updates που θα έχει το ελάχιστο κόστος. Οι δυναμικές τεχνικές προσπαθούν να προσαρμόσουν ανά χρήστη το location management κάνοντας συλλογή στατιστικών στοιχείων και προσπαθώντας να δημιουργήσουμε ένα μόνιμο ή προσωρινό προφίλ της κινητικότητας του. Το επιπλέον κόστος αυτής της στατιστικής ανάλυσης κάνει τις δυναμικές τεχνικές μη εφαρμόσιμες στα τωρινά δίκτυα τουλάχιστον σε πλήρη βαθμό. Έτσι ακόμα χρησιμοποιούνται στατικές τεχνικές που δεν κάνουνε διάκριση των χρηστών με βάση τα χαρακτηριστικά τους.

Στο μέλλον αναμένονται αλλαγές στα mobile δίκτυα που ίσως επιδράσουν τον τομέα του Location Management. Η εκτενής χρήση Wi-Fi τοπικών δικτύων ίσως αντικαταστήσει τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας με κάτι που είναι πιο κοντά στον τρόπο λειτουργίας του Internet. Υπάρχει το ενδεχόμενο στο μέλλον να σχηματίζονται ευρείας περιοχής mobile δίκτυα από ένα πλήθος από τοπικά δίκτυα Wi-Fi που ενεργούν όλα με τρόπο ανάλογο με τις κυψέλες ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Θα επιτρέπεται δηλαδή η κινητικότητα των χρηστών από ένα Wi-Fi δίκτυο σε διπλανά του σε ένα χώρο μεγάλης γεωγραφικής κλίμακας. Σε αυτό θα συμβάλλει και η ανάπτυξη νέων πρωτοκόλλων ασύρματου μητροπολιτικού δικτύου όπως το 802.16. Επίσης αναμένεται στο μέλλον να γίνει αύξηση του πλήθους κινητών συσκευών που είναι διασυνδεδεμένες σε ασύρματα δίκτυα, και αυτές οι συσκευές να έχουνε μεγαλύτερες υπολογιστικές δυνατότητες και ίσως και μικρότερες απαιτήσεις ενέργειας. Οι περισσότεροι αλγόριθμοι και τεχνικές για location management ασχολούνται με δίκτυα που έχουν την μορφή των δικτύων κινητής τηλεφωνίας, και αν και μπορούνε θεωρητικά να εφαρμοστούν και σε δίκτυα που στηρίζονται καθαρά σε τοπικά δίκτυα Wi-Fi και συσκευές πιο αυτόνομες από τα κινητά, αναμένεται στο μέλλον να αναπτυχθούν πιο εξειδικευμένοι για αυτήν την κατηγορία δικτύων αλγόριθμοι. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να καταστήσει συμφέροντα σχήματα location management που ως τώρα θεωρούνταν μη εφαρμόσιμα. Μένει να γίνει έρευνα και ανάλυση σεναρίων σε αυτήν την κατεύθυνση.

Βιβλιογραφία

[Keshav 04] Location Management in Wireless Cellular Networks, includes discussion of static/dynamic LM/LA, theories/proposals, www.cs.wustl.edu/~jain/cse574-06/cellular_location.htm

[Halepovic05] Emir Halepovic and Carey Williamson, "Characterizing and Modeling User Mobility in a Cellular Data Network," University of Calgary. http://portal.acm.org/ft_gateway.cfm?id=1089969&type=pdf&coll=GUIDE&dl=ACM&CFID=67915996&CFTOKEN=3

6591408

[Cowling04] James Cowling, "Dynamic Location Management in Heterogeneous Cellular Networks," MIT Thesis.<http://people.csail.mit.edu/cowling/thesis/jcowling-dynamic-Nov04.pdf>

Extensive overview of Static and Dynamic LM as well as paging and several other parameters.

[Giner04] Vicenete Casares Giner, "State of the art in Location Management procedures," Eurongi Archive.<http://eurongi.enst.fr/archive/127/JRA151.pdf>

Provides an informative view of the HLR/VLR architecture, as well as providing an overview of LM techniques.

[Xiao et al 04] Design and Analysis of Location Management for 3G Cellular Networks

[Tannenbaum] Δίκτυα Υπολογιστών 4η έκδοση