



**UNIVERSITY OF MACEDONIA
MASTER INFORMATION SYSTEMS**

COURSE: NETWORKING TECHNOLOGIES

PROFESSOR: Dr. A.A. ECONOMIDES & A. POMPORTSIS

**SURVIVABILITY, FAULT TOLERANCE AND SELF-HEALING
TECHNIQUES FOR MOBILE NETWORKS**

KARAGIANNIS IOANNIS, mis0532@uom.gr

Thessaloniki

January 2006



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΜΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

ΜΑΘΗΜΑ: Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων

ΥΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Α.Α. ΟΙΚΟΝΟΜΙΔΗΣ, Α. ΠΟΜΠΟΡΤΣΗΣ

**ΕΠΙΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ, ΑΝΟΧΗ ΣΤΑ ΛΑΘΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ
ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ**

ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, mis0532@uom.gr

Θεσσαλονίκη
Ιανουάριος 2006

Abstract

The rapid growth of mobile communications has been witnessed from new services and emerging technologies in the past years. As societal dependence on mobile services increases, especially for emergency services, failures that inhibit communications or result in loss of critical data can not be tolerated. This paper discusses the effects of failures and survivability issues in mobile cellular networks with emphasis on the unique difficulties presented by user mobility and the wireless channel environment. A simulation model to study a variety of failure scenarios on a GSM network is described and the results show that user mobility significantly worsens network performance after failures, as disconnected users move among adjacent cells and attempt to reconnect to the network. The result from the analysis suggests that survivability strategies must be designed specifically to contend with spatial as well as temporal network behavior in mobile cellular networks.

Περίληψη

Η ραγδαία ανάπτυξη των κινητών επικοινωνιών επιβεβαιώνεται από τις νέες υπηρεσίες και τεχνολογίες που εμφανίστηκαν τα προηγούμενα χρόνια. Καθώς η κοινωνική εξάρτηση από τις κινητές υπηρεσίες αυξάνεται, ειδικά για υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης, οι αποτυχίες που εμποδίζουν τις επικοινωνίες ή έχουν ως αποτέλεσμα την απώλεια κρίσιμων δεδομένων δεν είναι ανεκτές. Στη παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι επιπτώσεις των ανεπαρκειών καθώς επίσης και θέματα επιβιωσιμότητας των κινητών (κυψελοειδών κατά κύριο λόγο) δικτύων με έμφαση στις ξεχωριστές δυσκολίες που προκύπτουν εξαιτίας της κινητικότητας του χρήστη αλλά και της ίδιας της φύσης του ασύρματου καναλιού μετάδοσης. Διάφορες προσομοιώσεις δικτύων φανερώνουν ότι η κινητικότητα του χρήστη επιδεινώνει σημαντικά την απόδοση του δικτύου μετά από αποτυχίες, καθώς οι χρήστες που έχουν χάσει την επαφή με το δίκτυο κινούνται μεταξύ γειτονικών κυψελών και προσπαθούν να επανασυνδεθούν. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων δείχνουν ότι οι διάφορες στρατηγικές επιβιωσιμότητας στα κινητά δίκτυα πρέπει να σχεδιαστούν έτσι ώστε να συμφωνούν τόσο με τη χωρική όσο και με τη χρονική συμπεριφορά του δικτύου.

CONTENTS

MASTER INFORMATION SYSTEMS.....	1
ΠΙΣΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	2
<i>Εισαγωγή.....</i>	<i>5</i>
<i>Κεφάλαιο 1.....</i>	<i>6</i>
1.1 Εισαγωγή στα κινητά δίκτυα.....	6
1.2 Αρχιτεκτονική των κυψελοειδών δικτύων.....	7
1.3 Επιβιωσιμότητα των κυψελοειδών δικτύων.....	9
1.4 Ανάλυση Επιβιωσιμότητας.....	10
1.5 Προσαρμοστικοί αλγόριθμοι επιβιωσιμότητας.....	13
<i>1.5.1 Adaptive Load Sharing.....</i>	<i>13</i>
<i>1.5.2 Voluntary Handover.....</i>	<i>14</i>
<i>1.5.3 Channel Rearrangement.....</i>	<i>14</i>
<i>1.5.4 Πρωτόκολλο δήλωσης ADRCA.....</i>	<i>14</i>
<i>1.5.5 Adaptive Admission Control.....</i>	<i>15</i>
<i>Κεφάλαιο 2.....</i>	<i>15</i>
2.1 Αποφυγή και Ανοχή στα λάθη.....	16
2.2 Διαχείριση τοποθεσίας.....	17
2.3 Διαχείριση hand-offs.....	18
<i>2.3.1 Relative signal strength.....</i>	<i>19</i>
<i>2.3.2 Relative signal strength with threshold.....</i>	<i>19</i>
<i>2.3.3 Relative signal strength with hysteresis.....</i>	<i>19</i>
<i>2.3.4 Relative signal strength with hysteresis and threshold.....</i>	<i>19</i>
<i>2.3.5 Prediction techniques.....</i>	<i>20</i>
<i>Κεφάλαιο 3.....</i>	<i>20</i>
3.1 Εισαγωγή στις τεχνικές αποκατάστασης κινητών δικτύων.....	20
3.2 Επιβιωσιμότητα στο επίπεδο πρόσβασης.....	21
3.3 Επιβιωσιμότητα στο επίπεδο μεταφοράς.....	21
<i>3.3.1 Σχέδιο Automatic Protection Switch (APS).....</i>	<i>22</i>
<i>3.3.2 Σχέδιο multi-homing.....</i>	<i>23</i>
<i>3.3.3 Σχέδιο δακτυλίου.....</i>	<i>24</i>
3.4 Επιβιωσιμότητα στο λογικό επίπεδο.....	25
<i>Συμπεράσματα.....</i>	<i>25</i>
<i>Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα.....</i>	<i>26</i>
<i>Βιβλιογραφία.....</i>	<i>26</i>

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

MASTER INFORMATION SYSTEMS.....	1
---------------------------------	---

ΠΙΣΤ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	2
<i>Εισαγωγή</i>	5
<i>Κεφάλαιο 1</i>	6
1.1 Εισαγωγή στα κινητά δίκτυα.....	6
1.2 Αρχιτεκτονική των κυψελοειδών δικτύων.....	7
1.3 Επιβιωσιμότητα των κυψελοειδών δικτύων.....	9
1.4 Ανάλυση Επιβιωσιμότητας.....	10
1.5 Προσαρμοστικοί αλγόριθμοι επιβιωσιμότητας.....	13
<i>1.5.1 Adaptive Load Sharing</i>	13
<i>1.5.2 Voluntary Handover</i>	14
<i>1.5.3 Channel Rearrangement</i>	14
<i>1.5.4 Πρωτόκολλο δήλωσης ADRCA</i>	14
<i>1.5.5 Adaptive Admission Control</i>	15
<i>Κεφάλαιο 2</i>	15
2.1 Αποφυγή και Ανοχή στα λάθη.....	16
2.2 Διαχείριση τοποθεσίας.....	17
2.3 Διαχείριση hand-offs.....	18
<i>2.3.1 Relative signal strength</i>	19
<i>2.3.2 Relative signal strength with threshold</i>	19
<i>2.3.3 Relative signal strength with hysteresis</i>	19
<i>2.3.4 Relative signal strength with hysteresis and threshold</i>	19
<i>2.3.5 Prediction techniques</i>	20
<i>Κεφάλαιο 3</i>	20
3.1 Εισαγωγή στις τεχνικές αποκατάστασης κινητών δικτύων.....	20
3.2 Επιβιωσιμότητα στο επίπεδο πρόσβασης.....	21
3.3 Επιβιωσιμότητα στο επίπεδο μεταφοράς.....	21
<i>3.3.1 Σχέδιο Automatic Protection Switch (APS)</i>	22
<i>3.3.2 Σχέδιο multi-homing</i>	23
<i>3.3.3 Σχέδιο δακτυλίου</i>	24
3.4 Επιβιωσιμότητα στο λογικό επίπεδο.....	25
<i>Συμπεράσματα</i>	25
<i>Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα</i>	26
<i>Βιβλιογραφία</i>	26

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΕΠΙΒΙΩΣΙΜΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Η ραγδαία ανάπτυξη των ασύρματων επικοινωνιών επιβεβαιώνεται από τις νέες υπηρεσίες και τεχνολογίες που εμφανίστηκαν τα προηγούμενα χρόνια. Καθώς οι κοινωνικές και επιχειρηματικές δραστηριότητες βασίζονται ολοένα και περισσότερο

στις ασύρματες επικοινωνίες, τα ασύρματα δίκτυα πρόσβασης προσπαθούν να παρέχουν στους κινητούς χρήστες πρόσβαση σε πόρους που βρίσκονται κατά κύριο λόγο σε δίκτυα με υποδομή (π.χ. PSTN, Internet). Παραδείγματα δικτύων ασύρματης πρόσβασης είναι τα αναλογικά και ψηφιακά κυψελοειδή τηλεφωνικά δίκτυα, τα δίκτυα των προσωπικών συστημάτων επικοινωνίας (PCS), τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (wireless LAN) καθώς επίσης και κινητά δίκτυα ευρείας περιοχής όπως το GPRS. Μεταξύ όλων αυτών των δικτύων τα κυψελοειδή και τα PCS δίκτυα αποτελούν το πλέον αναπτυσσόμενο τομέα με έμφαση στις κινητές υπηρεσίες πληροφοριών. Η έρευνα συνεχίζεται ώστε να επεκτείνει τις δυνατότητες των ασύρματων δικτύων πρόσβασης για κινητούς χρήστες προκειμένου να είναι σε θέση να παρέχει φωνή, δεδομένα και υπηρεσίες πολυμέσων σε υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης ανεξαρτήτως της τοποθεσίας, του μοντέλου κινητικότητας ή του τύπου του τερματικού που χρησιμοποιείται για την πρόσβαση.

Σε γενικές γραμμές, η ευκαμψία που παρέχεται από την κινητικότητα έχει ικανοποιήσει τους χρήστες των ασυρμάτων δικτύων παρά τη χαμηλή ποιότητα και τις μειωμένες προσφερόμενες υπηρεσίες σε σχέση με τα καλωδιωμένα δίκτυα. Παρόλα αυτά, καθώς η κοινωνική εξάρτηση από τις κινητές υπηρεσίες αυξάνεται, ειδικά για υπηρεσίες επείγουσας ανάγκης, οι χρήστες απαιτούν την ίδια λειτουργικότητα και αξιοπιστία με αυτήν που χαρακτηρίζει τα καλωδιωμένα δίκτυα τηλεπικοινωνιών και δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι οι αποτυχίες που εμποδίζουν τις επικοινωνίες ή έχουν ως αποτέλεσμα την απώλεια κρίσιμων δεδομένων δεν είναι ανεκτές. Για το λόγο αυτό μεγάλη προσπάθεια καταβάλλεται ώστε τα δίκτυα αυτά να γίνουν επιβιώσιμα και αυτοθεραπευόμενα. Παρόλα αυτά λίγη δουλειά έχει γίνει πάνω στην κατανόηση και τη βελτίωση των δικτύων ασύρματης πρόσβασης μετά από αποτυχίες του δικτύου. Τα ξεχωριστά χαρακτηριστικά των δικτύων αυτών (π.χ. κινητικότητα του χρήστη, ασύρματο κανάλι μετάδοσης, εξοικονόμηση ισχύος) συνηγορούν στο γεγονός ότι οι διαθέσιμες τεχνικές επιβιωσιμότητας για τα καλωδιωμένα δίκτυα δεν μπορούν να εφαρμοστούν απευθείας στα ασύρματα. Επομένως είναι σημαντικό να κατανοήσουμε την επίδραση ποικίλων σεναρίων αποτυχίας προτού κάποιος μηχανισμός επιβιωσιμότητας να μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία στα κινητά κυψελοειδή δίκτυα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΠΙΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ

1.1 Εισαγωγή στα κινητά δίκτυα

Τα κινητά δίκτυα χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες: σε αυτά με υποδομή (κυψελοειδή) και σε αυτά χωρίς υποδομή (ad hoc). Τα κυψελοειδή δίκτυα συνήθως

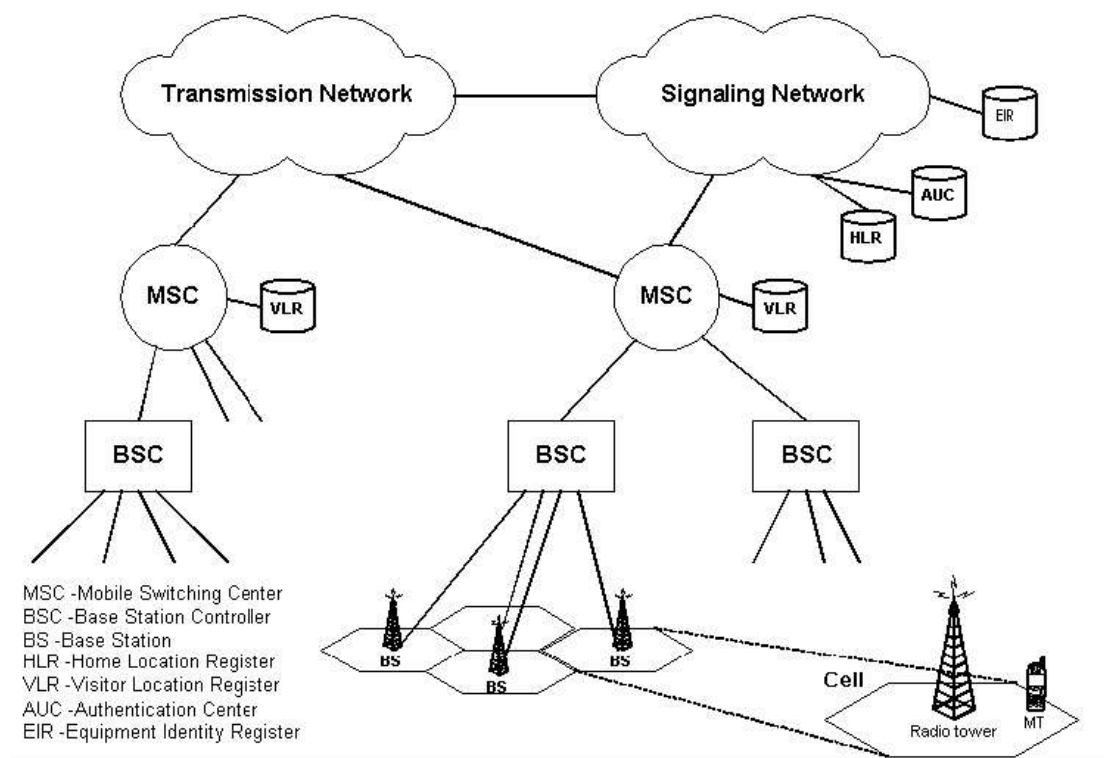
περιλαμβάνουν ένα μονό άλμα (single hop) ασύρματης σύνδεσης μέχρι να φτάσουν σε ένα κινητό τερματικό, ενώ τα δίκτυα ad hoc κανονικά απαιτούν πολλαπλά άλματα από την πηγή μέχρι τον προορισμό.

Τα δίκτυα χωρίς υποδομή δεν έχουν σταθερές πύλες και δρομολογητές. Όλοι οι κόμβοι είναι δυνατόν να κινούνται και μπορούν να συνδέονται δυναμικά με ένα τυχαίο τρόπο. Οι κόμβοι αυτών των δικτύων λειτουργούν ως δρομολογητές, οι οποίοι ανακαλύπτουν και διατηρούν τις διαδρομές προς τους άλλους κόμβους του δικτύου.

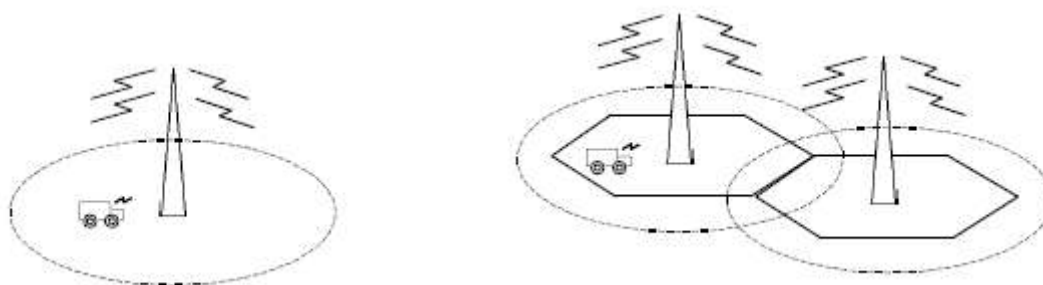
Για να προσθέσουμε υποστήριξη κινητικότητας στα ασύρματα δίκτυα, η διαχείριση της πρέπει να περιλαμβάνει γενικά δυο τύπους κινητικότητας, την κινητικότητα του χρήστη και την κινητικότητα του τερματικού. Η κινητικότητα χρήστη αναφέρεται στην ικανότητα που έχουν οι τελικοί χρήστες να παράγουν και να δέχονται κλήσεις και να έχουν πρόσβαση σε άλλες συνδρομητικές υπηρεσίες σε κάθε τερματικό και σε κάθε πιθανή θέση, και η ικανότητα του δικτύου να αναγνωρίζει τους χρήστες αυτούς καθώς κινούνται. Η κινητικότητα του τερματικού είναι η ικανότητα ενός κινητού τερματικού να έχει πρόσβαση στις υπηρεσίες από οποιαδήποτε θέση κατά τη διάρκεια που κινείται και η δυνατότητα του δικτύου να εντοπίζει και να αναγνωρίζει το κινητό τερματικό καθώς αυτό κινείται. Η κινητικότητα του τερματικού σχετίζεται με την ασύρματη πρόσβαση και απαιτεί από το χρήστη να κουβαλάει ένα τερματικό και να βρίσκεται εντός της περιοχής κάλυψης του δικτύου. Στην παρούσα εργασία θα μελετήσουμε κατά κύριο λόγο τα κυψελοειδή δίκτυα (cellular) αλλά θα γίνουν και κάποιες μικρές αναφορές για τα δίκτυα ad hoc.

1.2 Αρχιτεκτονική των κυψελοειδών δικτύων

Ένα κυψελοειδές κινητό δίκτυο μπορεί γενικά να περιγραφεί σαν μια σταθερή υποδομή που αποτελείται από δικτυακά στοιχεία τα οποία επιτρέπουν στους κινητούς χρήστες να έχουν πρόσβαση σε δικτυακές υπηρεσίες μέσω ασύρματων καναλιών. Ένα δίκτυο τέτοιας αρχιτεκτονικής φαίνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1 – Αρχιτεκτονική κυψελοειδών δικτύων



Σχήμα 2 – Τοποθεσία κυψέλης και γειτονικές κυψέλες

Ένα κινητό κυψελοειδές δίκτυο συνήθως καλύπτει μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή η οποία με τη σειρά της χωρίζεται σε πολλές μικρότερες περιοχές οι οποίες ονομάζονται κυψέλες (cells). Κάθε κυψέλη εξυπηρετείται από ένα σταθμό βάσης (base station BS) ο οποίος ενεργεί σαν ένα σταθερό σημείο πρόσβασης για όλα τα κινητά τερματικά (mobile terminals MT) τα οποία βρίσκονται προσωρινά εντός της κυψέλης. Ο σταθμός βάσης τερματίζει την ασύρματη επικοινωνιακή σύνδεση στην πλευρά του χρήστη. Οι ασύρματες συνδέσεις ανάμεσα στο σταθμό βάσης και τα κινητά τερματικά εντός μιας κυψέλης είναι ψηφιακές και χρησιμοποιούν είτε την τεχνική TDMA (time division multiple access) είτε την τεχνική CDMA (code division multiple access). Το δίκτυο μπορεί επίσης να περιλαμβάνει ελεγκτές του σταθμού βάσης (base station controllers BSC), οι οποίοι διαχειρίζονται ένα σύνολο σταθμών βάσης. Οι σταθμοί βάσης αλλά και οι ελεγκτές τους είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο

κορμού (backbone network) μέσω κινητών κέντρων μεταγωγής (mobile switching centers MSC). Ένα τέτοιο κέντρο είναι συνδεδεμένο τόσο στο δίκτυο μετάδοσης όσο και στο δίκτυο σηματοδοσίας το οποίο χρησιμοποιεί το SS7 (signalling system 7) για τον έλεγχο του δικτύου. Το MSC παρέχει λειτουργίες μεταγωγής, εντοπισμό και ενημέρωση των συντεταγμένων τοποθεσίας και διανομή κλήσεων. Σχετιζόμενες με το δίκτυο σηματοδοσίας και τα MSCs είναι οι βάσεις δεδομένων που υποστηρίζουν την κινητικότητα του χρήστη και των υπηρεσιών (π.χ. πιστοποίηση και περιαγωγή του χρήστη). Αυτές οι βάσεις δεδομένων περιλαμβάνουν το HLR (Home Location Register), το VLR (Visitor Location Register), πιθανώς ένα EIR (Equipment Identity Register) και το AUC (Authentication Center). Το HLR περιέχει πληροφορίες για το προφίλ του χρήστη όπως είναι οι τύποι των υπηρεσιών στις οποίες είναι συνδρομητής, πληροφορίες χρέωσης και πληροφορίες τοποθεσίας. Το VLR αποθηκεύει πληροφορίες για τους κινητούς χρήστες που επισκέπτονται την περιοχή κάλυψης ενός αντίστοιχου MSC. Το AUC αποθηκεύει ένα αναγνωριστικό κλειδί για κάθε κινητό που καταχωρείται με το HLR και κλειδί κρυπτογράφησης για τους χρήστες προκειμένου να εξασφαλίζεται η ασφάλεια. Η βάση δεδομένων EIR αποθηκεύει τις ταυτότητες των κινητών σταθμών. Οι σύνδεσμοι επικοινωνίας που μεταφέρουν την κυκλοφορία ανάμεσα στα BS, BSC και MSC είναι καλωδιωμένες γραμμές ή σταθερές μικροκυματικές ζεύξεις.

1.3 Επιβιωσιμότητα των κυψελοειδών δικτύων

Ο όρος επιβιωσιμότητα χρησιμοποιείται για να περιγράψει την υπάρχουσα απόδοση ενός δικτύου μετά από μια αποτυχία. Για να σχεδιάσουμε ένα επιβιώσιμο δίκτυο πρέπει να συμπεριλάβουμε στην τοπολογία του εφεδρικές διαδρομές και πρωτόκολλα αποκατάστασης που θα ανιχνεύουν τα λάθη, θα αναδρομολογούν την κυκλοφορία μέσω των εφεδρικών καναλιών και θα επαναφέρουν την αρχική κατάσταση του συστήματος όταν οι συνθήκες λειτουργίας ομαλοποιούνται. Η σχεδίαση ενός επιβιώσιμου καλωδιωμένου δικτύου αντιμετωπίζεται συνήθως ως πρόβλημα ελαχιστοποίησης κόστους. Αντικειμενικός σκοπός είναι η σωστή τοποθέτηση των εφεδρικών ζεύξεων και η επιλογή των πρωτοκόλλων αποκατάστασης που ελαχιστοποιούν την επίδραση της αποτυχίας στους χρήστες του δικτύου. Ο βασικός περιορισμός στην επίτευξη του παραπάνω στόχου είναι η υλοποίηση του συστήματος και η διατήρηση της πολυπλοκότητας του κόστους και των πρωτοκόλλων αποκατάστασης σε λογικά επίπεδα.

Για ένα δίκτυο ασύρματης πρόσβασης, όπως είναι τα κινητά δίκτυα που εξετάζουμε, εκτός από τα παραπάνω, υπάρχουν και πιο αυστηροί περιορισμοί στη σχεδίαση ενός επιβιώσιμου δικτύου όπως είναι η περιορισμένη διαθεσιμότητα φάσματος συχνότητας ανάμεσα στα κινητά τερματικά και τους σταθμούς βάσης. Γίνονται πολλές μελέτες προκειμένου να ανακαλυφθούν κυψελοειδείς αρχιτεκτονικές και πρωτόκολλα κατανομής καναλιών που θα βελτιώνουν την απόδοση του συστήματος αναφορικά με τους περιορισμούς που εισάγονται από το περιορισμένο φάσμα συχνοτήτων. Πολύ λιγότερη δουλειά όμως γίνεται πάνω στη μελέτη της απόδοσης τέτοιων δικτύων σε περιπτώσεις αποτυχιών.

Μια ανάλυση της επιβιωσιμότητας μετράει το βαθμό της λειτουργικότητας που απομένει σε ένα σύστημα μετά από μια αποτυχία και αποτελείται από μετρήσεις που ποσοτικοποιούν την απόδοση του δικτύου τόσο κατά τη διάρκεια σεναρίων αποτυχίας όσο και κατά τη διάρκεια κανονικής λειτουργίας. Μια μεγάλη ποικιλία τέτοιων σεναρίων μπορεί να οριστεί ανάλογα με το στοιχείο του δικτύου που αποτυγχάνει αλλά και την τοποθεσία. Παραδείγματα τέτοιων σεναρίων στα κυψελοειδή μπορούν

να περιλαμβάνουν αποτυχία του σταθμού βάσης, απώλεια ενός κινητού κέντρου μεταγωγής ή της ζεύξης μεταξύ του σταθμού βάσης και του κινητού κέντρου μεταγωγής, αδυναμία εντοπισμού της θέσης του κινητού τερματικού. Οι μετρήσεις χρησιμοποιούνται για να αποτιμήσουν την επιβιωσιμότητα του δικτύου όσον αφορά την απόδοση και την αποκατάσταση της κυκλοφορίας. Ο ιδανικός στόχος επιβιωσιμότητας είναι μια πιθανή αποτυχία του δικτύου να είναι ανεπαίσθητη στον χρήστη παρέχοντας του συνεχείς υπηρεσίες ελαχιστοποιώντας παράλληλα τη συμφόρηση του δικτύου.

Οι στρατηγικές που βελτιώνουν την ικανότητα επιβίωσης του δικτύου μπορούν να καταταγούν σε τρεις κατηγορίες:

- 1) Πρόληψη
- 2) Σχεδιασμό δικτύου και κατανομή χωρητικότητας
- 3) Διαχείριση της κυκλοφορίας και αποκατάσταση

Οι τεχνικές πρόληψης βασίζονται πρωταρχικά στην βελτίωση των συστατικών του δικτύου και της αξιοπιστίας του συστήματος. Παραδείγματα είναι η χρησιμοποίηση αρχιτεκτονικών υλικού ανεκτικών στα λάθη στα κέντρα μεταγωγής των δικτύων καθώς επίσης και ο εφοδιασμός των συστατικών του δικτύου με εφεδρικές πηγές ισχύος.

Οι τεχνικές της δεύτερης κατηγορίας προσπαθούν να μετριάσουν τις αποτυχίες σε επίπεδο συστήματος, όπως για παράδειγμα η απώλεια μιας ζεύξης του δικτύου, ενσωματώνοντας επάρκεια χωρητικότητας και εναλλακτικών διαδρομών στην τοπολογία του δικτύου. Για παράδειγμα, θα έπρεπε να σχεδιάσουμε την τοπολογία του δικτύου και να καθορίσουμε την χωρητικότητα των συνδέσεων ενός δικτύου κορμού έτσι ώστε το δίκτυο να μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις ακόμα κι αν θαθεί μια ζεύξη εξαιτίας κάποιας βλάβης.

Οι τεχνικές διαχείρισης και αποκατάστασης της κυκλοφορίας προσανατολίζονται απευθείας στο φορτίο του δικτύου καταβάλλοντας προσπάθεια ώστε μια πιθανή αποτυχία να έχει το μικρότερο δυνατό αντίκτυπο και οι συνδέσεις οι οποίες θα επηρεαστούν να αποκατασταθούν μόλις επέλθει η ευστάθεια του δικτύου. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η χρησιμοποίηση δυναμικών αλγορίθμων δρομολόγησης αποκατάστασης βλαβών οι οποίοι να κάνουν χρήση της περίσσειας χωρητικότητας μετά από μια αποτυχία (τεχνικές self-healing).

1.4 Ανάλυση Επιβιωσιμότητας

Στον τομέα της ανάλυσης της επιβιωσιμότητας γίνεται προσπάθεια ώστε να προσδιορίζονται real-time μετρήσεις που να προσδιορίζουν τις κρίσιμες καταστάσεις της απόδοσης του κινητού δικτύου όσον αφορά τις ανεπάρκειες καναλιών, την κυκλοφοριακή συμφόρηση, την εξασθένηση του σήματος και άλλα παρόμοια. Οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν ένα δείκτη επιβιωσιμότητας ως μια συνάρτηση κόστους-απόδοσης.

Η απόδοση των κινητών δικτύων εξαρτάται και από το φυσικό περιβάλλον. Η τοποθεσία του χρήστη, η κινητικότητα του, τα πρότυπα χρήσης και η ποιότητα του λαμβανομένου σήματος επηρεάζονται από την εδαφική μορφολογία, την κατανομή πληθυσμού και του υπάρχοντος συστήματος μεταφοράς. Η ανάπτυξη επιβιωσιμων δικτύων ασύρματης πρόσβασης απαιτεί η απόδοση των αρχιτεκτονικών του δικτύου και των πρωτοκόλλων να μελετηθούν τόσο σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας όσο

και σε προβληματικές όπου η προσοχή στρέφεται σε λάθη που συμβαίνουν εντός του δικτύου αλλά και στο φυσικό περιβάλλον. Αν ανατρέξουμε στη βιβλιογραφία τη σχετική με την επιβιωσιμότητα των κινητών δικτύων μπορούμε να δούμε ότι η επιβιωσιμότητα εξετάζεται αρκετά σε προγράμματα όπως το WAMIS (Wireless Adaptive Mobile Information Systems) και το DARPA G1oMo.

Για να συγκρίνουμε τους διάφορους αλγορίθμους που προτείνονται χρησιμοποιούμε εργαλεία προσομοίωσης διακριτού χρόνου. Καθώς αυτοί οι αλγόριθμοι πρέπει να λειτουργούν σε πολλαπλά επίπεδα της επικοινωνιακής αρχιτεκτονικής, οι σωστοί υπολογισμοί πρέπει να λαμβάνουν υπόψη μια μεγάλη ποικιλία σεναρίων προσομοίωσης τα οποία να είναι παραμετροποιημένα από ένα μεγάλο πλήθος μεταβλητών και οι οποίες πρέπει να παρακολουθούνται σε πραγματικό χρόνο. Για τον αποτελεσματικό χειρισμό αυτού του μεγάλου όγκου πληροφοριών χρησιμοποιούνται τεχνικές οπτικοποίησης ώστε να γίνουν αντιληπτές οι σύνθετες χωρικές και χρονικές εξαρτήσεις μεταξύ των μετρήσεων απόδοσης και κόστους που επηρεάζουν τους προσαρμόσιμους αλγορίθμους. Οι δυναμικές οπτικοποιήσεις των μεταβλητών του συστήματος και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους είναι βασικές προκειμένου να αυξήσουν τη διαίσθηση και την άποψη του χρήστη ώστε να μπορεί να μελετήσει, και ίσως και να μειώσει, το μεγάλο εύρος έρευνας αυτών των μεταβλητών.

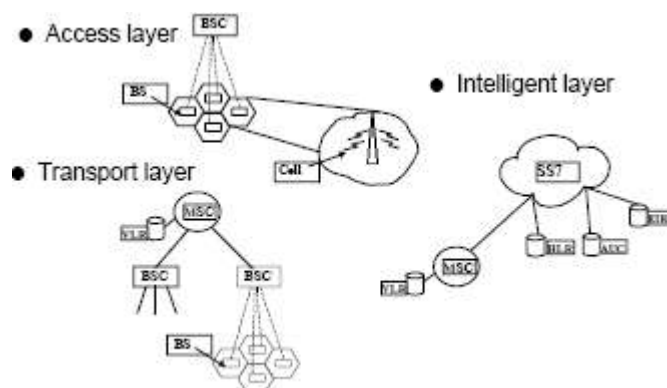
Ένα τυπικό κινητό κυψελοειδές δίκτυο όπως αυτό του σχήματος 1 αποτελείται από μια συλλογή συστατικών που συνλειτουργούν το ένα με το άλλο και έχουν μια δενδροειδή τοπολογία με το MSC να βρίσκεται στη ρίζα. Οποιοδήποτε από τα συστατικά στην κυψελοειδή δικτυακή υποδομή μπορεί να σταματήσει να λειτουργεί και να έχει διαφορετικό βαθμό επίδρασης στο όλο σύστημα. Σημαντικότερες είναι οι αποτυχίες των BS, BSC, MSC, HLR/VLR καθώς επίσης και των ζεύξεων επικοινωνίας. Για να είναι το δίκτυο επιβιώσιμο πρέπει να υπάρχουν εναλλακτικές διαδρομές μεταξύ των συστατικών του δικτύου μαζί με τις κατάλληλες μεθόδους αποκατάστασης της κυκλοφορίας. Προκειμένου να διευκολυνθεί η ανάλυση επιβιωσιμότητας των ασυρμάτων δικτύων πρόσβασης, αναπτύχθηκε ένα πλαίσιο εργασίας παρόμοιο με τις προσεγγίσεις για ένα καλωδιωμένο δίκτυο κορμού όπως φαίνεται στον πίνακα 1.

Layer	Components	Communication Links	Function
Access-Radio level	mobile units, base stations	digital radio channels with TDMA, FDMA, or CDMA	Define physical interface for radio communication
Access-Link level	base stations, BS controllers	wireline links and/or terrestrial microwave	BS cluster management, Radio channel management
Transport	BS,BSC,MSC, signaling network	wireline links and/or terrestrial microwave, SS7 wireline links	Call/connection management, Mobility management
Intelligent	MSC, HLR, VLR, EIR, AUC, signaling network	wireline links and/or terrestrial microwave, SS7 wireline links	Service management, Mobility management

Πίνακας 1 – Πλαίσιο εργασίας για την ανάλυση επιβιωσιμότητας

Το πλαίσιο εργασίας της επιβιωσιμότητας για τα δίκτυα ασύρματης πρόσβασης αποτελείται από τρία επίπεδα: πρόσβασης (access), μεταφοράς (transport) και λογικό (intelligent). Τα επίπεδα αυτά δεν έχουν καμία σχέση με τα επτά επίπεδα του μοντέλου OSI. Τα συστατικά και οι λειτουργίες που υποστηρίζονται σε κάθε επίπεδο

φαίνονται στον προηγούμενο πίνακα. Το επίπεδο πρόσβασης έχει δύο υποεπίπεδα (radio level και link level), προκειμένου να είναι δυνατός ο διαχωρισμός μεταξύ των ασύρματων συστατικών και του επίγειου τμήματος.



Σχήμα 3 – Επίπεδα του πλαισίου εργασίας για την επιβιωσιμότητα

Το επίπεδο πρόσβασης στο radio level καθορίζει τη φυσική διασύνδεση της επικοινωνίας πάνω από ασύρματες ζεύξεις εντός μιας κυψέλης. Το επίπεδο πρόσβασης στο link level περιλαμβάνει τα BSs, BSC και τα σχέδια διαχείρισης των επικοινωνιακών πόρων (εντοπισμός καναλιού και handoff). Το επίπεδο μεταφοράς υποστηρίζει λειτουργίες διαχείρισης του αιτήματος για εξυπηρέτηση (εγκατάσταση και κατάργηση της σύνδεσης) και λειτουργίες διαχείρισης της κινητικότητας (π.χ. εντοπισμός θέσης) χρησιμοποιώντας τη καλωδιωμένη διασύνδεση των BS, BSC και MSC, με το MSC να είναι ο κυρίαρχος ελεγκτής. Το MSC στο επίπεδο μεταφοράς χρησιμοποιεί το δίκτυο σηματοδοσίας και τις υπηρεσίες που παρέχονται από τις λειτουργίες διαχείρισης δεδομένων υπηρεσιών, που υλοποιούνται στο λογικό επίπεδο, για να υποστηρίξει τη διαχείριση κλήσεων και κινητικότητας. Το λογικό επίπεδο υποστηρίζει λειτουργίες διαχείρισης δεδομένων υπηρεσιών ώστε να παρέχει στο επίπεδο μεταφοράς πρόσβαση στις βάσεις δεδομένων του συστήματος (π.χ. HLR).

Έχοντας το παραπάνω πλαίσιο εργασίας για να διεξάγει κανείς μια ανάλυση επιβιωσιμότητας πρέπει να προσδιορίσει μετρήσεις απόδοσης μαζί με τεχνικές για την αποτίμηση των μετρήσεων αυτών σε ποικίλες μορφές λειτουργίας. Οι μορφές αυτές περιλαμβάνουν κανονική λειτουργία, λειτουργία απλής αποτυχίας και λειτουργία πολλαπλών αποτυχιών. Ο πίνακας 2 που ακολουθεί περιλαμβάνει παραδείγματα πιθανών μετρήσεων επιβιωσιμότητας και δείγματα συνθηκών αποτυχίας σε κάθε επίπεδο του πλαισίου εργασίας.

Στο επίπεδο πρόσβασης μια τυπική αποτυχία είναι η απώλεια ενός σταθμού βάσης με τις κατάλληλες μετρήσεις της πιθανότητας απόρριψης κλήσεων και της πιθανότητας εξαναγκαστικού τερματισμού κλήσεων. Η πρώτη πιθανότητα μετράει το ποσοστό των αιτημάτων που απορρίπτονται εξαιτίας της έλλειψης πόρων ενώ η δεύτερη πιθανότητα μετράει το ποσοστό των αιτημάτων που τερματίζονται πρόωρα συμπεριλαμβανομένων αυτών που απορρίπτονται εξαιτίας των handoffs.

Layer	Failure Scenario	Potential Impact	Possible Metrics
Access	Loss of BS	Partial/full service loss in cell, Increased traffic in cells adjacent to failure	Call blocking probability, Forced call termination probability
Transport	Loss of BSC-MSK link	Partial/full service loss in a cluster of cells, Increased traffic in cells adjacent to failure	Call blocking probability, Forced call termination probability, Call setup delay, Call release delay, Paging/location update/registration delays
Intelligent	Loss of VLR	Loss of roaming service in a MSC coverage area	Lost user load (Erlangs), Database access delay, Information accuracy probability

Πίνακας 2 – Μετρήσεις επιβιωσιμότητας και δείγματα αποτυχιών

Στο επίπεδο μεταφοράς μια τυπική αποτυχία μπορεί να είναι η πτώση μιας ζεύξης BSC-MSK που θα έχει σαν αποτέλεσμα την απώλεια υπηρεσιών σε μια ομάδα κυψελών. Οι κατάλληλες μετρήσεις περιλαμβάνουν τις πιθανότητες απόρριψης κλήσεων και εξαναγκαστικού τερματισμού κλήσεων όπως και στην περίπτωση του επιπέδου πρόσβασης. Από τη στιγμή που ένα μεγάλο πλήθος χρηστών έχει επηρεαστεί από την βλάβη και προσπαθεί να επανασυνδεθεί πρέπει να λάβει κανείς υπόψη μετρήσεις όπως η καθυστέρηση της εγκατάστασης της σύνδεσης, η καθυστέρηση της απελευθέρωσης της σύνδεσης και η καθυστέρηση της ενημέρωσης της τοποθεσίας του χρήστη όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα. Τέτοιες μετρήσεις ορίζονται για ολόκληρη την περιοχή κάλυψης ενός MSK/VLR και έχουν ως στόχο τιμές μεγαλύτερες από 95% σύμφωνα με τις συστάσεις τις ITU.

Στο λογικό επίπεδο ένα πιθανό σενάριο αποτυχίας θα μπορούσε να είναι η απώλεια μιας VLR βάσης δεδομένων που θα είχε ως αποτέλεσμα τη μερική ή πλήρη απώλεια της υπηρεσίας περιαγωγής (roaming) στην περιοχή κάλυψης του VLR/MSK. Πιθανές μετρήσεις επιβιωσιμότητας θα μπορούσαν να είναι το φορτίο των χαμένων χρηστών και το ποσοστό των ερωτημάτων στη βάση HLR που οδηγούν σε ορθές απαντήσεις.

1.5 Προσαρμοστικοί αλγόριθμοι επιβιωσιμότητας

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται διάφοροι προσαρμοστικοί αλγόριθμοι που σαν στόχο έχουν την επίτευξη επιβιώσιμων κινητών δικτύων. Οι αλγόριθμοι αυτοί είναι δυναμικοί και προσπαθούν να ρυθμίσουν διάφορες παραμέτρους του δικτύου ανάλογα με το φορτίο ώστε να επιτευχθεί η πλέον επιβιώσιμη δομή του.

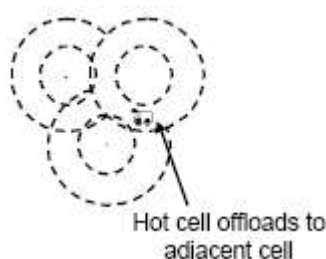
1.5.1 Adaptive Load Sharing

Οι αλγόριθμοι αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούν τη γνώση του φορτίου των ομάδων καναλιών για να αποφασίσουν για τον τρόπο με τον οποίο θα γίνει η κατανομή των καναλιών. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι αλγόριθμοι Adaptive load-based channel allocation (ALBCA) και ALBCA with channel rearrangement

(ALBCA/CR). Η διαφορά τους έγκειται στο ότι ο δεύτερος μπορεί να επανακαθορίσει την κατανομή των καναλιών από την αρχή αν αυτό κριθεί σκόπιμο.

1.5.2 Voluntary Handover

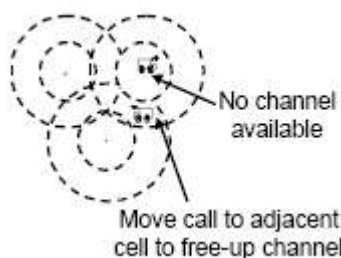
Οι αλγόριθμοι αυτής της κατηγορίας κατανέμουν τα κανάλια για τις νέες αιτήσεις εξυπηρέτησης ξεκινώντας από τις ομάδες καναλιών που είναι λιγότερο φορτωμένες όπως φαίνεται στο σχήμα 4. Προκειμένου λοιπόν να εξισορροπηθεί η κατανομή του φορτίου χρησιμοποιείται εθελούσιο handover στις περιπτώσεις στις οποίες χρειάζεται. Μάλιστα για το σκοπό αυτό μπορεί να προσαρμόζεται δυναμικά και η ακτίνα δράσης του handover για την καλύτερη εξισορρόπηση του φορτίου.



Σχήμα 4 – Voluntary Handover

1.5.3 Channel Rearrangement

Οι αλγόριθμοι που εντάσσονται στην κατηγορία αυτή προσδιορίζουν τα κανάλια στα οποία θα προωθηθούν οι νέες αιτήσεις εξυπηρέτησης ξεκινώντας από την ομάδα που είναι λιγότερο φορτωμένη. Χρησιμοποιείται επανακαθορισμός καναλιών για την αναδιανομή του φορτίου στις περιπτώσεις στις οποίες χρειάζεται. Μάλιστα αυτή η πολιτική επανακαθορισμού μπορεί να προσαρμόζεται δυναμικά για ακόμα καλύτερα αποτελέσματα.



Σχήμα 5 – Channel Rearrangement

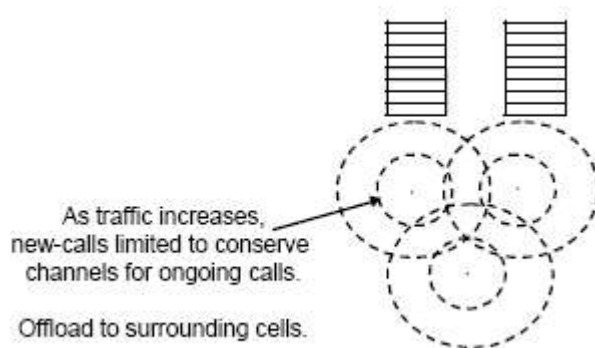
1.5.4 Πρωτόκολλο δήλωσης ADRCA

Το πρωτόκολλο αυτό προσδιορίζει τα κανάλια στα οποία θα προωθηθούν τα νέα αιτήματα για εξυπηρέτηση ξεκινώντας την αναζήτηση από τον πλησιέστερο σταθμό βάσης. Επίσης χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων επιφυλακής για να προφυλάξει τις

κλήσεις που είναι σε εξέλιξη και να μην τερματιστούν βίαια ενώ χρησιμοποιεί το FTR (Forced Termination Rate) για να πραγματοποιεί προσαρμοσμένο έλεγχο εισόδου.

1.5.5 Adaptive Admission Control

Ο προσαρμοστικός έλεγχος πρόσβασης χρησιμοποιεί κανάλια επιφυλακής για να διαχειριστεί το ισοζύγιο μεταξύ των νέων κλήσεων που απορρίπτονται και του ρυθμού εξαναγκασμένου τερματισμού τους. Καθώς αυξάνεται η κυκλοφορία τα νέα αιτήματα εξυπηρέτησης που περιορίζονται στα κανάλια που έχουν διατηρηθεί για τα αιτήματα που βρίσκονται σε εξέλιξη προωθούνται στις γειτονικές κυψέλες. Επίσης προσαρμόζει δυναμικά το πλήθος των καναλιών επιφυλακής για κάθε κυψέλη.



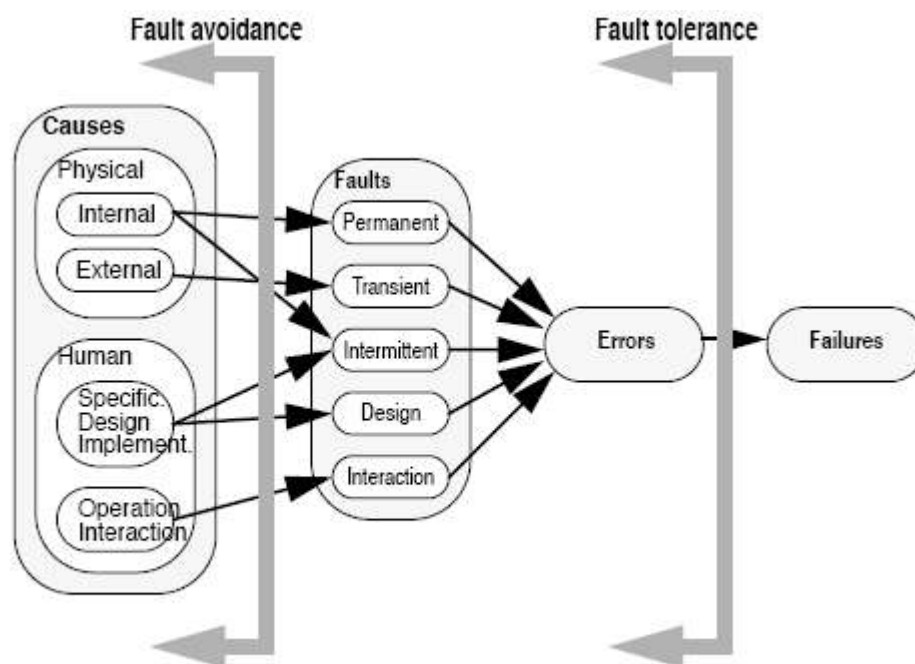
Σχήμα 6 – Adaptive Admission Control

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΝΟΧΗ ΣΤΑ ΛΑΘΗ

2.1 Αποφυγή και Ανοχή στα λάθη

Υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις για να εξασφαλισθούν αξιόπιστα συστήματα. Η πρώτη είναι η αποφυγή λαθών (fault avoidance) και η δεύτερη η ανοχή σε αυτά (fault tolerance). Οι βασικές αρχές φαίνονται στο σχήμα 7 που ακολουθεί. Στην πρώτη προσέγγιση της αποφυγής λαθών προσπαθούμε να αποφύγουμε τα λάθη, όπως συμβαίνει για παράδειγμα με την εγγυημένη ποιότητα του λογισμικού ή με την εξασφάλιση ήπιων συνθηκών λειτουργίας των υλικών. Στην δεύτερη προσέγγιση της ανοχής στα λάθη, το σύστημα έχει σχεδιασθεί με δομή και μηχανισμούς που εμποδίζουν στα σφάλματα να παρουσιαστούν σαν αποτυχίες. Υπάρχει ένα πλήθος ώριμων και διαδεδομένων τεχνικών όπως είναι για παράδειγμα η FEC (Forward Error Correcting codes) ή η CRC (Cyclic Redundancy Check) που συνδυάζονται με την επανεκπομπή των προβληματικών πακέτων ώστε να αντιμετωπίσουν τα προσωρινά σφάλματα μετάδοσης. Άλλη τεχνική είναι η επαναδρομολόγηση της κυκλοφορίας όταν κάποιοι κόμβοι και ζεύξεις του δικτύου σταματούν να λειτουργούν.



Σχήμα 7 – Τα σχεδιαστικά όρια της αποφυγής και της ανοχής στα λάθη

Όπως φαίνεται στο σχήμα 7, η αποφυγή λαθών προσπαθεί να απομακρύνει από το σύστημα λάθη που οφείλονται σε φυσικά αίτια, εσωτερικά και εξωτερικά, αλλά και στον ανθρώπινο παράγοντα είτε πρόκειται για υλοποίηση συγκεκριμένων διατάξεων είτε για αλληλεπίδραση λειτουργιών. Όλα αυτά τα αίτια δημιουργούν σφάλματα μόνιμα, μεταβατικά, ασυνέχειας, σχεδίασης και αλληλεπίδρασης τα οποία κάνοντας ένα σύστημα ανεκτικό στα λάθη προσπαθούμε να τα αποκρύπτουμε από τους τελικούς χρήστες. Η ανοχή στα λάθη περιλαμβάνει θέματα διαχείρισης της

τοποθεσίας του κινητού τερματικού αλλά και των handoffs που αναλύονται παρακάτω.

2.2 Διαχείριση τοποθεσίας

Η διαχείριση της τοποθεσίας (Location Management) έχει να κάνει με το πώς θα κρατήσουμε τα ίχνη ενός ενεργού κινητού σταθμού μέσα σε ένα κυψελοειδές δίκτυο. Αφού η ακριβής θέση του κινητού σταθμού πρέπει να είναι γνωστή στο δίκτυο κατά τη διάρκεια μιας κλήσης, η διαχείριση της θέσης συνήθως σημαίνει το πώς να εντοπίζουμε ένα κινητό σταθμό κατά το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί ανάμεσα σε δύο συνεχόμενες κλήσεις. Αν η διαχείριση της τοποθεσίας δεν γίνεται αποτελεσματικά τότε η θέση του τερματικού δεν θα είναι γνωστή και ο σταθμός βάσης δεν θα είναι δυνατό να επικοινωνήσει μαζί του.

Τα σχήματα διαχείρισης τοποθεσίας βασίζονται ουσιαστικά στην κινητικότητα του χρήστη και στα χαρακτηριστικά του ρυθμού των εισερχόμενων κλήσεων. Η διαδικασία της κινητικότητας του δικτύου έχει να αντιμετωπίσει ένα σκληρό ανταγωνισμό ανάμεσα στις δυο βασικές εργασίες της διαχείρισης τοποθεσίας:

1. Ενημέρωση (ή εγγραφή) που είναι η διαδικασία με την οποία ένας κινητός σταθμός αρχικοποιεί μια αλλαγή στη βάση δεδομένων των τοποθεσιών σύμφωνα με τη νέα του τοποθεσία.
2. Εύρεση (ή σελιδοποίηση) που είναι η διαδικασία με την οποία ένα δίκτυο πραγματοποιεί ένα ερώτημα για την τοποθεσία του κινητού σταθμού (το οποίο μπορεί επίσης να οδηγήσει στην ενημέρωση της βάσης).

Η διαδικασία ενημέρωσης της τοποθεσίας επιτρέπει στο σύστημα να γνωρίζει την τοποθεσία του χρήστη με σχετική ακρίβεια έτσι ώστε να μπορεί να τον εντοπίζει στην περίπτωση, για παράδειγμα, ενός αιτήματος επικοινωνίας με αυτόν. Η ενημέρωση τοποθεσίας χρησιμοποιείται επίσης στο να φέρνει το προφίλ υπηρεσιών του χρήστη στην τοποθεσία του και να επιτρέπει στο δίκτυο να παρέχει ακαριαία σ' αυτόν τις υπηρεσίες του. Η διαδικασία σελιδοποίησης επιτυγχάνεται από το σύστημα στέλνοντας μηνύματα σελιδοποίησης σε όλες τις κυψέλες όπου το κινητό τερματικό θα μπορούσε να βρίσκεται.

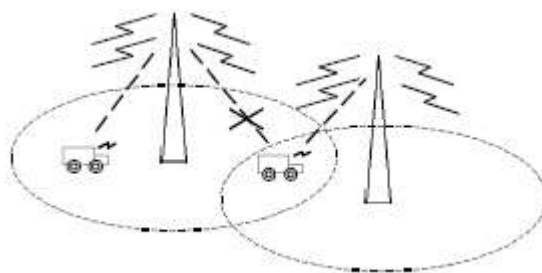
Οι περισσότερες τεχνικές διαχείρισης τοποθεσίας χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό ενημέρωσης και αναζήτησης σε μια προσπάθεια επιλογής του καλύτερου συνδυασμού ανάμεσα στην υπερβολική ενημέρωση και στην καθυστέρηση αναζήτησης. Πιο συγκεκριμένα οι ενημερώσεις δε στέλνονται συνήθως κάθε φορά που ένας τελικός χρήστης εισέρχεται σε μία νέα κυψέλη αλλά προτιμότερα στέλνονται σύμφωνα με μια προκαθορισμένη στρατηγική έτσι ώστε η λειτουργία αναζήτησης να μπορεί να περιορίζεται σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Υπάρχει επίσης ένα ισοζύγιο ανάμεσα στο κόστος ενημέρωσης και σελιδοποίησης. Για το λόγο αυτό ο κινητός σταθμός συχνά στέλνει μηνύματα ενημέρωσης στο τρέχον MSC. Αν ο κινητός σταθμός στέλνει σπάνια ενημερώσεις τότε η θέση του δεν είναι γνωστή με ακρίβεια και η αναζήτησή του είναι χρονοβόρα. Από την άλλη πλευρά εάν η τοποθεσία ενημερώνεται πολύ συχνά τότε είναι γνωστή με μεγάλη ακρίβεια και τα πακέτα δεδομένων μπορούν να παραδίνονται χωρίς άλλη πρόσθετη καθυστέρηση

αναζήτησης. Στην περίπτωση αυτή όμως σπαταλιέται μεγάλη χωρητικότητα καναλιού. Γι' αυτό μια καλή στρατηγική διαχείρισης θέσης πρέπει να αποτελείται από ένα συμβιβασμό ανάμεσα στις δυο ακραίες περιπτώσεις έτσι ώστε να βελτιστοποιείται ο χρόνος αναζήτησης αλλά και η σπάταλη εύρους φάσματος του καναλιού.

2.3 Διαχείριση hand-offs

Η κινητικότητα είναι το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό ενός ασύρματου κυψελοειδούς δικτύου. Συνήθως η συνεχής υπηρεσία επιτυγχάνεται υποστηρίζοντας handoff (ή handover) από τη μία κυψέλη στην άλλη. Το handoff είναι η διαδικασία αλλαγής του καναλιού (συχνότητα, slot χρόνου, κωδικού εκπομπής ή συνδυασμού των παραπάνω). Η διαδικασία αυτή, η οποία φαίνεται στο σχήμα 8, σχετίζεται με την υπάρχουσα σύνδεση και ενώ η κλήση είναι σε εξέλιξη. Αρχικοποιείται συνήθως είτε διασχίζοντας τα όρια μιας κυψέλης είτε με τη χαμηλή ποιότητα του σήματος στο τρέχον κανάλι. Το handoff διαιρείται σε δυο μεγάλες κατηγορίες: hard και soft handoff. Χαρακτηρίζονται επίσης σαν “break before make” και “make before break”. Στα hard handoffs οι υπάρχοντες πόροι απελευθερώνονται προτού χρησιμοποιηθούν οι νέοι. Στα soft handoffs τόσο οι υπάρχοντες όσο και οι νέοι πόροι χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας handoff. Τα handoff σχήματα που δεν έχουν σχεδιαστεί σωστά δημιουργούν συνήθως κυκλοφοριακή συμφόρηση και επομένως μια δραματική μείωση στην ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) που μπορεί να οδηγήσει ακόμα και στην κατάρρευση του δικτύου. Ο λόγος για το οποίο τα handoffs είναι κρίσιμα στα κυψελοειδή συστήματα πληροφορίας είναι ότι οι γειτονικές κυψέλες χρησιμοποιούν συνήθως ένα ασύμβατο υποσύνολο μπάντων συχνοτήτων, και γι' αυτό πρέπει να γίνουν διαπραγματεύσεις ανάμεσα στον κινητό σταθμό, στον τρέχον σταθμό βάσης και στον επόμενο πιθανό σταθμό βάσης.

Στα επόμενα υποκεφάλαια αναλύονται πέντε κατηγορίες μεθόδων οι οποίες προσπαθούν να βελτιστοποιήσουν τον τρόπο με τον οποίο γίνονται τα handoffs. Τα handoffs πρέπει να πραγματοποιούνται ομαλά και ο σκοπός είναι να γίνονται όσα είναι απαραίτητα ώστε να μην σπαταλιούνται άδικα επικοινωνιακοί πόροι.



Σχήμα 8 – Διαδικασία handoff

2.3.1 Relative signal strength

Η μέθοδος αυτή επιλέγει σε κάθε χρονική στιγμή το σταθμό βάσης που έχει το ισχυρότερο σήμα. Η απόφαση βασίζεται σε μια μέση μέτρηση του σήματος που λαμβάνεται από κάθε σταθμό βάσης. Αυτή η μέθοδος έχει παρατηρηθεί ότι προκαλεί πολλά handoffs τα οποία δεν είναι απαραίτητα, καθώς ακόμα κι όταν το σήμα από τον τρέχον σταθμό βάσης παραμένει σε ένα αποδεκτό επίπεδο μπορεί να συμβεί handoff αν το κινητό τερματικό βρεθεί στην περιοχή δράσης ενός BS που εκπέμπει σήμα μεγαλύτερης ισχύος.

2.3.2 Relative signal strength with threshold

Η μέθοδος αυτή επιτρέπει το handoff ενός κινητού σταθμού μόνο εάν το τρέχον σήμα είναι ασθενέστερο από ένα επίπεδο στάθμης και το άλλο είναι ισχυρότερο από αυτό. Η επίδραση του επιπέδου στάθμης εξαρτάται από την τιμή του, συγκρινόμενη με τις ισχύς σημάτων των δυο σταθμών βάσης. Αν το επίπεδο στάθμης είναι υψηλότερο από αυτή την τιμή τότε η μέθοδος αυτή είναι η ίδια ακριβώς με την προηγούμενη. Αν όμως το επίπεδο στάθμης είναι χαμηλότερο από αυτή την τιμή τότε η διαδικασία handoff θα καθυστερήσει για τον κινητό σταθμό μέχρι το επίπεδο του τρέχοντος σήματος να πέσει κάτω από το επίπεδο στάθμης. Αυτό μειώνει την ποιότητα της επικοινωνιακής ζεύξης με τον πρώτο σταθμό βάσης και μπορεί να οδηγήσει σε απόρριψη κλήσης. Επιπλέον αυτό το σχήμα μπορεί να δημιουργήσει κυψέλες με επικάλυψη των περιοχών δράσης τους.

2.3.3 Relative signal strength with hysteresis

Η μέθοδος αυτή επιτρέπει το handoff ενός χρήστη μόνο όταν ο νέος σταθμός βάσης είναι επαρκώς πιο ισχυρός (με ένα συγκεκριμένο περιθώριο υστέρησης) από τον τρέχοντα σταθμό. Η τεχνική αυτή μας προστατεύει από το αποτέλεσμα που είναι γνωστό ως “ping-pong”, το οποίο δεν είναι τίποτε άλλο από τα επαναλαμβανόμενα handoff μεταξύ των δυο σταθμών βάσης που προκαλούνται από τις γρήγορες διακυμάνσεις στις λαμβανόμενες ισχύς σημάτων και από τους δυο σταθμούς. Παρόλα αυτά, το πρώτο handoff μπορεί να μην είναι απαραίτητο εάν ο τρέχον σταθμός βάσης είναι επαρκώς ισχυρός.

2.3.4 Relative signal strength with hysteresis and threshold

Η μέθοδος αυτή είναι συνδυασμός των δύο προηγούμενων. Επιτρέπει το handoff μόνο εφόσον το επίπεδο ισχύος του τρέχοντος σήματος πέσει κάτω από ένα επίπεδο στάθμης και συγχρόνως ο νέος σταθμός βάσης είναι ισχυρότερος από τον τρέχοντα κατά ένα δεδομένο περιθώριο υστέρησης.

2.3.5 Prediction techniques

Οι τεχνικές πρόβλεψης βασίζουν την απόφαση για το handoff στην αναμενόμενη μελλοντική τιμή της ισχύος του λαμβανομένου σήματος. Εφαρμόζονται διάφοροι αλγόριθμοι ώστε να προβλεφθούν με σχετική ακρίβεια οι μελλοντικές τιμές ισχύος του τρέχοντος αλλά και του σήματος του νέου σταθμού βάσης και να επιλεγεί έτσι το ισχυρότερο. Σκοπός των τεχνικών αυτών είναι να μειώσουν τον αριθμό των handoffs που δεν είναι απαραίτητα σε σχέση με όλες τις προηγούμενες τεχνικές βασιζόμενες πλέον στην υπόθεση ότι γνωρίζουμε τις τιμές των ισχύων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

3.1 Εισαγωγή στις τεχνικές αποκατάστασης κινητών δικτύων

Ο όρος self-healing αναφέρεται στην αυτόματη και εξαιρετικά γρήγορη (της τάξης των msecs) αποκατάσταση της επικοινωνίας μετά από ένα γεγονός που επηρεάζει την απόδοση του δικτύου. Οι τεχνικές αποκατάστασης δικτύων επιτρέπουν σε ένα δίκτυο να παρέχει αδιάλειπτη επικοινωνία. Στηρίζονται στην ύπαρξη πλεονασμού σε επίπεδο εξοπλισμού και στην ενσωμάτωση στο δίκτυο της

κατάλληλης «ευφυΐας», που θα επιτρέπει την ταχύτατη διερμηνεία των αποτελεσμάτων από τις διαδικασίες διάγνωσης και την αντίδραση στις παρουσιαζόμενες καταστάσεις. Παρακάτω αναλύονται οι τεχνικές αποκατάστασης για καθένα από τα τρία επίπεδα: πρόσβασης, μεταφοράς και λογικό.

3.2 Επιβιωσιμότητα στο επίπεδο πρόσβασης

Οι στρατηγικές επιβιωσιμότητας στο επίπεδο πρόσβασης είναι οι πιο κατάλληλες για το χειρισμό της ανάκαμψης από σφάλματα που αφορούν τις θέσεις των κυψελών και για τη διαχείριση της λειτουργίας του συστήματος σε υποβαθμισμένη κατάσταση. Η πανομοιότυπη αναπαραγωγή των πόρων της τοποθεσίας όπως είναι τα κανάλια επικοινωνίας μπορεί να μας δώσει τη δυνατότητα τα αιτήματα εξυπηρέτησης σε μια προβληματική περιοχή να προωθηθούν και να εξυπηρετηθούν από μια γειτονική περιοχή κυψελών. Αυτό απαιτεί να υπάρχουν κατάλληλα πρωτόκολλα επιπέδου μεταφοράς που να διασφαλίζουν ότι το VLR ενός αιτήματος σε μια προβληματική περιοχή θα είναι προσβάσιμο από τη γειτονική κυψέλη. Επιπλέον, τα σχήματα δυναμικής κατανομής καναλιών, που εφαρμόζονται στο BSC, μπορούν να μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της κανονικής, της αποτυχημένης και της υποβαθμισμένης κατάστασης προκειμένου να βελτιστοποιείται το ισοζύγιο ανάμεσα στην πιθανότητα απόρριψης νέων αιτημάτων και στη πιθανότητα απόρριψης αιτημάτων λόγω handoff σε γειτονικές κυψέλες που μπορεί να υπερφορτωθούν.

Αντί να μοιράσουμε επιπλέον πόρους στις κυψέλες είναι προτιμότερο να έχουμε μια ιεραρχική αρχιτεκτονική δύο επιπέδων. Για το σενάριο αυτό καθορίζεται μια μακροκυψέλη σαν μια γεωγραφική περιοχή που περιλαμβάνει πολλές απλές κυψέλες. Η κεραία του BS τοποθετείται σε ένα ικανοποιητικό ύψος της μακροκυψέλης ώστε να διασφαλιστεί η κάλυψη με σήμα σε όλη την περιοχή της. Η μακροκυψέλη θα λειτουργεί σαν ένα εφεδρικό σύστημα που θα αναλαμβάνει την κυκλοφορία σε κάθε προβληματική κυψέλη.

Οι προσαρμοστικές τεχνικές διαχείρισης των πόρων μπορούν να εφαρμοστούν στην επιβιωσιμότητα των κυψελοειδών τοποθεσιών. Τα προσαρμοστικά σχήματα διαμόρφωσης τα οποία μπορούν να μεταβάλλουν το ισοζύγιο ανάμεσα στην ποιότητα του σήματος και στη χωρητικότητα του καναλιού μπορούν να εφαρμοστούν για να επιτρέψουν μια αύξηση στο bit error rate μετά από μια αποτυχία, ή κατά τη διάρκεια της υποβαθμισμένης λειτουργίας προκειμένου να διατηρηθεί ένα αποδεκτό QoS όσον αφορά τη πιθανότητα απόρριψης.

Διάφορα σχήματα εφαρμόζονται για να αυξήσουν την αξιοπιστία ενός ασύρματου καναλιού σε ένα προβληματικό περιβάλλον. Αυτά περιλαμβάνουν την χρησιμοποίηση μετάδοσης ευρείας ζώνης, όπως είναι το CDMA, ή την ενσωμάτωση αλμάτων συχνότητας σε σχήματα TDMA. Χρειάζονται όμως και επιπλέον τεχνικές για να μειώσουν την πιθανότητα διακοπής επικοινωνίας η οποία περιλαμβάνεται στην παράμετρο της πιθανότητας εξαναγκασμένου τερματισμού κλήσεων.

3.3 Επιβιωσιμότητα στο επίπεδο μεταφοράς

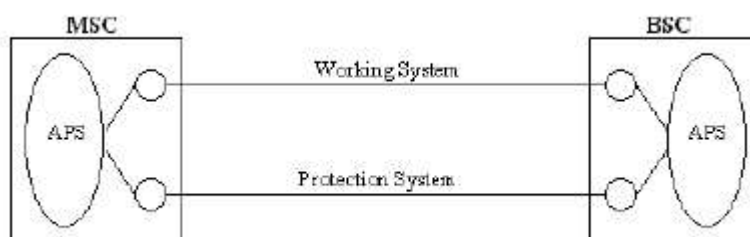
Η επιβιωσιμότητα στο επίπεδο μεταφοράς πρωταρχικά αφορά το σταθερό τμήμα του κινητού δικτύου. Οι στρατηγικές για ανάκαμψη και αποκατάσταση του δικτύου μετά από μια αποτυχία μπορούν να καταταγούν σε δύο κατηγορίες: την

αποκατάσταση της κυκλοφορίας και την αποκατάσταση υπηρεσιών. Η πρώτη περιλαμβάνει τη δρομολόγηση ανεξάρτητων αιτημάτων κατά τη διάρκεια μιας αποτυχίας. Μπορεί να μη λειτουργεί αρκετά γρήγορα για να διασώσει όλες τις κλήσεις που είναι σε εξέλιξη, αλλά μπορεί να αποκαταστήσει μια κλήση στην πρώτη προσπάθεια. Το πλεονέκτημα της αποκατάστασης κυκλοφορίας είναι ότι στην περίπτωση μιας καταστροφικής αποτυχίας, οι βασικές υπηρεσίες ή χρήστες μπορούν να έχουν μια προτεραιότητα καθώς γίνονται οι κλήσεις. Η αποκατάσταση υπηρεσιών περιλαμβάνει την επαναδρομολόγηση μεγάλων μπλοκ εύρους ζώνης γύρω από μια αποτυχία. Μια λειτουργία μεταφοράς μεταφέρει μαζί έναν αριθμό κυκλωμάτων και επομένως η αποκατάσταση λειτουργίας έχει την ικανότητα να αποκαθιστά περισσότερες υπηρεσίες σε λιγότερο χρόνο σε σχέση με την αποκατάσταση κυκλοφορίας.

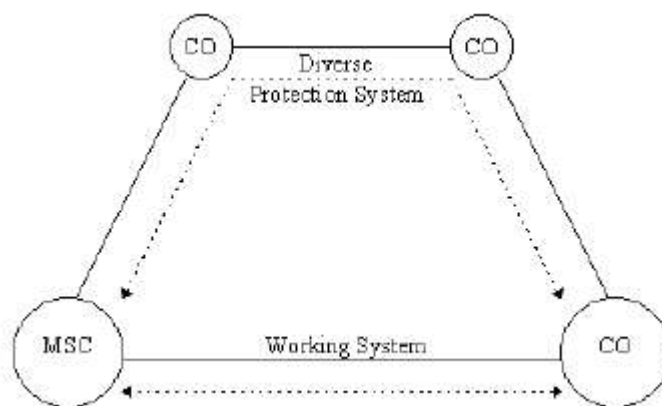
Οι κλασικές τεχνικές αποκατάστασης περιλαμβάνουν APS (Automatic Protection Switching), dual ή multihoming, cross-connects και τοπολογίες self-healing. Καθένα από αυτά μπορεί να εφαρμοστεί στο σταθερό τμήμα του δικτύου σύμφωνα με τα παρακάτω.

3.3.1 Σχέδιο Automatic Protection Switch (APS)

Η μέθοδος APS της αποκατάστασης χρησιμοποιεί προκαθορισμένες αποκλειστικές ζεύξεις που αυτόματα μπαίνουν σε λειτουργία για την ανάκαμψη από μια αποτυχία του δικτύου όπως φαίνεται στο σχήμα 9 το οποίο απεικονίζει μια αρχιτεκτονική APS 1:1. Κάθε καλωδιωμένη ζεύξη στο σταθερό τμήμα του δικτύου θα αναπαραχθεί πανομοιότυπα. Αυτό σημαίνει ότι παρέχονται οι δύο ζεύξεις ανάμεσα σε ένα CO και ένα MSC και οι δύο ζεύξεις ανάμεσα σε ένα MSC και σε κάθε BSC. Η επιβιωσιμότητα μπορεί να αυξηθεί χρησιμοποιώντας ανάστροφη προστασία (Diverse Protection – DP) όπως φαίνεται στο σχήμα 10 το οποίο δείχνει μια φυσικά διαχωρισμένη γραμμή για εφεδρικές ζεύξεις.



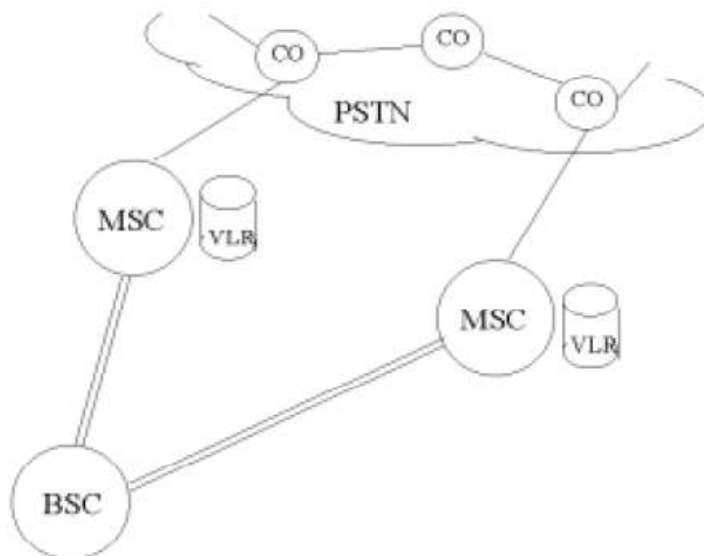
Σχήμα 9 – Αρχιτεκτονική 1:1 APS για κινητά δίκτυα



Σχήμα 10 – Αρχιτεκτονική 1:1 APS με DP

3.3.2 Σχέδιο multi-homing

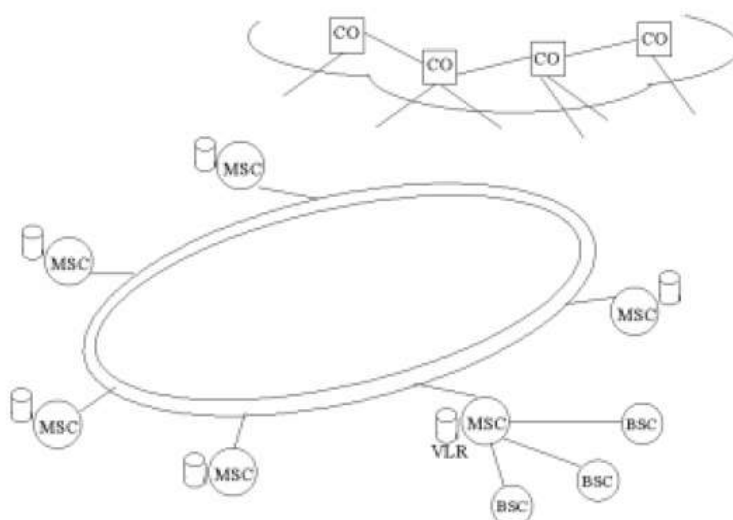
Η στρατηγική σχεδίασης multi-homing μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη γρήγορη ανάκαμψη από μια αποτυχία σύνδεσης χωρίς τη δαπάνη πιστής αναπαραγωγής κάθε ζεύξης. Η τεχνική multi-homing χρησιμοποιείται για να μειώσει την επίδραση μιας αποτυχίας του κεντρικού κόμβου (hub) παρέχοντας διασυνδέσεις σε ένα άλλο hub. Το σχήμα 11 δείχνει ένα BSC που συνδέεται σε δύο MSC. Ένα από τα δύο MSC είναι αυτό που είναι πρωταρχικά σχεδιασμένο για το BSC. Οι συνδέσεις, ανεβαίνοντας η ιεραρχία από το BSC μοιράζονται ανάμεσα στα πολλαπλά MSC ανάλογα με χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας και τα πρότυπα φορτίου του κάθε MSC. Όταν συμβαίνει μια αποτυχία σε ένα MSC το multi-homing αρχικοποιεί μια ακολουθία ενεργειών ελέγχου για την επανεκχώρηση όλων των συνδέσεων των BSC προς τον προβληματικό MSC σε κάποιο άλλο MSC. Οι παράμετροι υπηρεσίας κάθε σύνδεσης φορτώνονται στο δευτερεύον MSC και οι χρήστες που επηρεάστηκαν μπορούν να δημιουργήσουν από την αρχή νέα αιτήματα εξυπηρέτησης.



Σχήμα 11 – Multi-homing σε κινητό δίκτυο

3.3.3 Σχέδιο δακτυλίου

Βασιζόμενοι σε επιτυχημένες υλοποιήσεις αρχιτεκτονικών δακτυλίου σε δίκτυα SONET και FDDI, ίσως θα έπρεπε να δοκιμάσουμε την αρχιτεκτονική αυτή για την ανάκαμψη από ένα προβληματικό MSC. Μια πιθανή σχεδίαση ενός κυψελοειδούς δικτύου φαίνεται στο σχήμα 12 στο οποίο το δίκτυο είναι ακόμα από τη φύση του ιεραρχικό. Παρόλα αυτά, στο επίπεδο των MSC το δέντρο γίνεται ένας κυκλικός γράφος κι έτσι τα MSC μπορούν όλα να συνδέονται μαζί σε ένα δακτύλιο.



Σχήμα 12 – Αρχιτεκτονική δακτυλίου σε ένα κινητό δίκτυο

Από τη στιγμή που δεν είναι εφικτό να συνδέσουμε όλα τα MSC ενός κυψελοειδούς συστήματος σε ένα μεγάλο δακτύλιο, μια εναλλακτική υλοποίηση είναι να σχηματίσουμε μικρότερους δακτυλίους MSCs και να συνδέσουμε τους δακτυλίους αυτούς μαζί χρησιμοποιώντας συσκευές όμοιες με τις πύλες στα τοπικά και μητροπολιτικά δίκτυα. Στην πραγματικότητα το δίκτυο αυτών των MSCs μπορεί να θεωρηθεί ως μια αρχιτεκτονική MAN βασισμένη σε δακτυλίους. Όλη αυτή η δομή θυμίζει το δίκτυο FDDI και η φύση της αυτοαποκατάστασης που ενυπάρχει σε έναν τέτοιο δακτύλιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ανακάμψουμε από μια αποτυχία σε ένα MSC ή σε ένα CO.

Όταν ένα MSC αποτυγχάνει, η αρχιτεκτονική δακτυλίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σύνδεση με το multi-homing για να επιτρέψουν σε άλλα MSC να αναλάβουν και να μοιράσουν την λειτουργία του αποτυχημένου MSC. Παρόμοια όταν ένα CO αποτυγχάνει, η κυκλοφορία ανάμεσα στο αποτυχημένο CO και το επηρεασμένο MSC μπορεί να αναδρομολογηθεί σε ένα διαφορετικό CO μέσω κάποιου άλλου MSC του δακτυλίου.

3.4 Επιβιωσιμότητα στο λογικό επίπεδο

Το λογικό επίπεδο υποστηρίζει την κινητικότητα του χρήστη σε ένα κινητό δίκτυο μέσω της διαχείρισης του δικτύου σηματοδότησης, του MSC και των καταχωρητών τοποθεσίας. Τα θέματα επιβιωσιμότητας στο λογικό επίπεδο περιλαμβάνουν αύξηση της αξιοπιστίας και της ακεραιότητας των βάσεων δεδομένων και του ελεγχόμενου λογισμικού. Τα νέα σχήματα περιλαμβάνουν ποικιλία λειτουργιών των βάσεων καθώς και πρωτόκολλα ελέγχου για χρήση σε αποκατάσταση αποτυχιών.

Για παράδειγμα έχει προταθεί τεχνική [19] που απαιτεί την τροποποίηση της αρχιτεκτονικής του δικτύου σηματοδότησης SS7. Η αρχιτεκτονική αυτή απαιτεί ποικιλία SS7 STPs σε διαφορετικές περιοχές του δικτύου. Περιλαμβάνει επίσης εφεδρικές ζεύξεις ανάμεσα στα σημεία σηματοδότησης και στα σημεία ελέγχου, και πιστή αναπαραγωγή των λειτουργιών μετάφρασης των βάσεων δεδομένων για να εξασφαλισθεί η ακεραιότητα του δικτύου σηματοδότησης μετά από μια αποτυχία.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Καθώς η κοινωνική εξάρτηση από τις κινητές υπηρεσίες αυξάνεται, ειδικά για υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης, οι αποτυχίες που εμποδίζουν τις επικοινωνίες ή έχουν ως αποτέλεσμα την απώλεια κρίσιμων δεδομένων δεν είναι ανεκτές. Είναι ως εκ τούτου επιτακτικό να γίνει ο χρόνος διακοπής όσο το δυνατόν πιο μικρός. Οι αυτοθεραπευόμενοι (self-healing) αλγόριθμοι έχουν προταθεί για να επιτύχουν τη γρήγορη αποκατάσταση μετά από μια αποτυχία, αλλά η επιτυχία τους εξαρτάται κατά πολύ από το πως η κυκλοφορία διανέμεται και από το πως η εφεδρική χωρητικότητα κατανέμεται πάνω στο δίκτυο, όταν συμβαίνει η αποτυχία.

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει ένα πλαίσιο για την ανάλυση της επιβιωσιμότητας ενός κινητού δικτύου. Τα μοναδικά χαρακτηριστικά των δικτύων αυτών και ειδικά η κινητικότητα του χρήστη μπορεί να μειώσει δραματικά την απόδοση του δικτύου μετά από μια αποτυχία. Αντίθετα με τα καλωδιωμένα δίκτυα, η επίδραση μιας αποτυχίας στο ασύρματο δίκτυο εξαρτάται από μια ποικιλία παραγόντων όπως είναι η τοποθεσία και η μορφολογία της περιοχής σφάλματος, η κινητικότητα και η συμπεριφορά του χρήστη. Η ανάλυση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διευκολύνει τη σχεδίαση του δικτύου έτσι ώστε αυτό να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις των χρηστών όσον αφορά την αξιοπιστία των παρεχόμενων υπηρεσιών. Δυναμικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν την ικανότητα επιβίωσης των δικτύων αυτών. Σημαντική είναι η ανεκτικότητα τους στα λάθη έτσι ώστε να εξασφαλίζουν συνεχείς υπηρεσίες στους χρήστες και να αποκρύπτουν τα τυχόν σφάλματα. Ιδιαίτερο ρόλο στην ανεκτικότητα διαδραματίζουν ο τρόπος που διαχειρίζεται το δίκτυο την τοποθεσία του χρήστη (Location Management) αλλά και τη διαδικασία των handoff.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΈΡΕΥΝΑ

Ανοικτό πεδίο αποτελεί η έρευνα πάνω στην απόδοση των πρωτοκόλλων κατανομής πόρων σε διάφορους τύπους επικαλυπτόμενων αρχιτεκτονικών όπως είναι για παράδειγμα οι μακροκυψελοειδείς και μικροκυψελοειδείς ιεραρχικές δομές. Επίσης ερευνάται η χρησιμοποίηση προσαρμοστικών υβριδικών πρωτοκόλλων τα οποία να παρέχουν καλύτερη απόδοση σε διάφορα σενάρια όπως είναι η επανακατανομή των καναλιών για μείωση των φορτίων, το εθελούσιο handover και η κατευθυνόμενη επανάλυση για τα μεγάλα φορτία. Στον τομέα της ανάλυσης της επιβιωσιμότητας μπορούν να μελετηθούν και νέα μοντέλα που να συμπεριλαμβάνουν τη δημιουργία νέων γεωγραφικών δεδομένων για διάφορες περιοχές και για πρόσθετα μοντέλα λαθών. Η ανάλυση μπορεί να στραφεί περισσότερο στο ασύρματο τμήμα του δικτύου και να μελετήσει την επίδραση των σφαλμάτων σε αυτό.

Ένα πραγματικά κινητό δίκτυο όμως όπως είναι το ad hoc το οποίο δεν έχει σταθερές πύλες και δρομολογητές εμφανίζει πολλές ιδιαιτερότητες. Όλοι οι κόμβοι είναι δυνατόν να κινούνται και μπορούν να συνδέονται δυναμικά με ένα τυχαίο τρόπο. Οι κόμβοι αυτών των δικτύων λειτουργούν ως δρομολογητές, οι οποίοι ανακαλύπτουν και διατηρούν τις διαδρομές προς τους άλλους κόμβους του δικτύου. Πολύ έρευνα μπορεί να γίνει πάνω σε τέτοια δίκτυα ώστε να βρεθούν επιβιώσιμες αρχιτεκτονικές και κυρίως τεχνικές αυτόματης επιδιόρθωσης που θα παρέχουν υψηλά επίπεδα προστασίας ελαχιστοποιώντας τον απαιτούμενο βαθμό πλεονασμού σε αποδεκτό κόστος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

BIBΛΙΑ

- [1] *Location management and Routing in Mobile Wireless Networks*, Amitava Mukherjee, Somprakash Bandyopadhyay, Debashis Saha, Artech House Publishers, 2003.
- [2] *Handbook of Wireless Networks and Mobile Computing*, Ivan Stojmenovic, Wiley Interscience, 2002.
- [3] *Mobile Radio Networks: Networking, Protocols and Traffic Performance*, Second Edition, Bernhard H. Walke, Wiley, 2002.
- [4] *QoS in integrated 3G Networks*, Robert Lloyd - Evans, Artech House Publishers, 2002.

ΑΡΘΡΑ ΠΕΡΙΟΔΙΚΩΝ / ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΣΥΝΕΔΡΙΩΝ

- [5] *Trends in handover design*, G. P. Pollini, *IEEE Commun.Magazine*, pp. 82-90, March 1996.
- [6] *Handoff in Cellular Systems*, N. D. Tripathi, J. H. Reed, H. F. Vanlandingham, *IEEE Personal Commun.*, December 1998.
- [7] *Performance analysis of a handoff scheme in integrated voice/data wireless networks*, Q-A.Zeng, D. P. Agrawal, *Proc. IEEE VTC 2000 Fall*, Val. 4, pp. 1986-1992, September 2000.
- [8] *An analytical modelling of handoff for integrated voice/data wireless networks with priority reservation and preemptive priority procedures*, Q-A. Zeng, D. P. Agrawal, *Proc. ICPP 2000 Workshop on Wireless Networks and Mobile Computing*, pp.523-529, August 2000.
- [9] *Assignment scheme and its applications*, J. Zhang, *Proceedings ICPP Workshop on Wireless Networks and Mobile Computing*, Toronto, Canada, pp. 507-512, August 2000.
- [10] *PCS Network Survivability*, D. Tipper, S. Ramaswamy and T. Dahlberg , In *Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'99)*, New Orleans, LA, 1999.
- [11] *Traffic Engineering Experience from Operating Cellular Networks*, V. Brass and W. Fuhrmann, *IEEE Communications Magazine*, Aug.1997.
- [12] *Some Performance Benchmarks for the Design of Wireless Systems and Networks*, R. Pandya, S. Tseng, and K. Basu, In *Proceedings of 15th International Teletraffic Congress*, pp. 243-253, 1997.

- [13] *Modeling Nonuniform Mobile Communications Traffic*, T. Dahlberg, *Proc. COMCON6*, June 1997.
- [14] *Adaptive Recovery for Mobile Environments*, N. Neves, W.K. Fuchs, *Comm. of the ACM*, Vol. 40, No. 1, pp.68-74, Jan 1997.
- [15] *Framework for Network Survivability Performance*, A. Zolfaghari, F.J. Kaudel, *IEEE JSAC*, Vol. 12, No. 1, pp. 46-51, Jan. 1994.
- [16] *Emerging Mobile and Personal Communication Systems*, R.Pandya, *IEEE Comm. Mag.*, pp. 44-52, June 1995.
- [17] *Issues on the Design of Survivable Common Channel Signaling Networks*, M.M. Mostrel, *IEEE JSAC*, Vol.12, No.3, pp. 526-532, April 1994.
- [18] *A Technical Report on Enhance Analysis of FCC-Reportable Service Outage Data*, TIA1.2 Working Group on Networking Survivability Performance, Report No. 42, August 1995.
- [19] *Service Assurance in Modern Telecommunications Networks*, W.E.Falconer, *IEEE Comm. Mag.*, pp.32-39, June 1990.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- [20] http://www.cstp.umkc.edu/public/papers/dmedhi/m_jweee99.pdf
Από το επίσημο site του πανεπιστημίου του Missouri, paper του Deepankar Medhi του Department of Computer Networking το οποίο περιέχει εξαιρετικό υλικό για ανοχή σε λάθη, ανίχνευση λαθών και απομόνωσή τους, επαναφορά και γενικότερη προετοιμασία του δικτύου.
- [21] <http://www.alaska.net/~research/Net/S.htm - Letters>
Site του Network Design and Research Center, το οποίο, όπως αναφέρεται και από τους δημιουργούς του, υπάρχει για να καταργήσει την πολυπλοκότητα και το μπέρδεμα που υπάρχει σχετικά με τα δίκτυα H/Y. Περιέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με άλλα sites που ασχολούνται με το networking, tutorials, white papers, downloads, links, λεξικό όρων και άλλες πηγές.
- [22] <http://www.cs.uncc.edu/~tdahlber/winet99.pdf>
Site που περιέχει pdf αρχείο των T.A. Dahlberg και J. Jung στο οποίο γίνεται ανάλυση επιβιώσιμων πρωτοκόλλων κατανομής φορτίου και προσομοίωση δικτύων στα οποία εφαρμόζονται οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι.
- [23] http://www.sis.pitt.edu/~dtipper/3955/DRCN_final.pdf

Από το πανεπιστήμιο του Pittsburgh ένα άρθρο των Chalermopol Charnsripinyo και David Tipper το οποίο παρουσιάζει ένα μοντέλο βελτιστοποίησης του σχεδιασμού ενός επιβιώσιμου δικτύου

[24] <http://www2.sis.pitt.edu/~srikitja/>

Επίσημος δικτυακός τόπος του κοινού project που διεξάγεται από το πανεπιστήμιο του Pittsburgh και το North Carolina-Charlotte με αντικείμενο έρευνας τις τεχνικές σχεδίασης και αποκατάστασης δικτύων ασύρματης πρόσβασης ανθεκτικών στα λάθη.

[25] <http://www.cs.uncc.edu/~tdahlber/mswim00.pdf>

Άρθρο της T.A. Dahlberg στο οποίο παρουσιάζονται και αναλύονται real-time μετρήσεις της επιβιωσιμότητας των κινητών δικτύων καθώς επίσης και τρόποι οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων.

[26]

http://www.darpa.mil/DARPA_Tech2000/Presentations/ito_pdf/4MaughanSecureNetB&W.pdf

Άρθρο του Dr. Douglas Maughan στο οποίο παρουσιάζονται η επιβιωσιμότητα και η ανεκτικότητα στα λάθη δικτύων που χρησιμοποιούνται σε στρατιωτικές εφαρμογές.

[27] <http://www.artes.uu.se/events/summer01/Dahlberg.pdf>

Αρχείο που περιέχει διαφάνειες της T.A. Dahlberg σχετικά με την σχεδίαση επιβιώσιμων δικτύων, την ανάλυση της επιβιωσιμότητας και την παρουσίαση αποτελεσμάτων μετρήσεων.

[28] http://en.wikipedia.org/wiki/Cellular_network

Δωρεάν online εγκυκλοπαίδεια που περιλαμβάνει χρήσιμες συνδέσεις για κυψελοειδή δίκτυα.

[29]

http://portal.acm.org/browse_dl.cfm?linked=1&part=journal&idx=J547&coll=portal&dl=ACM&CFID=66290128&CFTOKEN=76604473

Portal ψηφιακής βιβλιοθήκης που περιλαμβάνει χρήσιμα link για κινητά δίκτυα.

[30] <http://www.ir.bbn.com/projects/sumowin/>

Δικτυακός τόπος του SUMOWIN Project το οποίο μελετά επιβιώσιμα κινητά δίκτυα και έχει ως πρωταρχικό σκοπό να διασφαλίσει την ανθεκτικότητα των δικτύων σε επιθέσεις χρησιμοποιώντας δυναμικές προσαρμοστικές αρχιτεκτονικές.

[31] <http://www.sterbenz.org/jpgs/papers/wise2002.pdf>

Άρθρο που μελετά θέματα επιβιωσιμότητας των κινητών δικτύων και το οποίο δίνει ιδιαίτερη έμφαση σε απαιτήσεις στρατιωτικών εφαρμογών.

[32] <http://www.cs.uncc.edu/~tdahlber/mwcn97.pdf>

Site που περιέχει pdf αρχείο των T.A. Dahlberg και Sreenivas Ramaswamy, David Tipper στο οποίο περιγράφεται με συντομία η αρχιτεκτονική των cellular

networks, αναλύονται μοντέλα λαθών και παρουσιάζονται στρατηγικές επιβιωσιμότητας και αυτοθεραπείας τους.

- [33] <http://www.cse.dmu.ac.uk/~amp/ppt/Mob.ppt>
Site στο οποίο περιέχεται μια παρουσίαση της αρχιτεκτονικής των κυψελοειδών δικτύων.
- [34] <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=599559>
Site που παρουσιάζει ένα μοντέλο για soft handoff σε κυψελοειδή δίκτυα. Παρουσιάζεται ένα μαθηματικό μοντέλο και εξετάζονται διάφορες μετρήσεις απόδοσης του.
- [35] http://polaris.cse.fau.edu/~jie/teaching/fall_2004_files/locationmanagement.pdf
Άρθρο που μελετά τη διαχείριση της τοποθεσίας (Location Management) των κινητών τερματικών σε κυψελοειδή δίκτυα και παρουσιάζει όλες τις πρόσφατες εξελίξεις πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο.
- [36] <http://www.sigmobile.org/phd/9495/theses/seshan.pdf>
Άρθρο του Srinivasan Seshan που εξετάζει το πρόβλημα της γρήγορης πραγματοποίησης των handoff σε κυψελοειδή δίκτυα ώστε να μην υπάρχει διακοπή στις παρεχόμενες υπηρεσίες προς τον χρήστη.
- [37] <http://www.actapress.com/PaperInfo.aspx?PaperID=16824>
Άρθρο των G. Sridhar και V. Sridhar που εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να ρυθίσουμε το QoS πραγματοποιώντας επιλεκτικά handoff. Με το μηχανισμό αυτό το handoff είτε καθυστερείται είτε επισπεύδεται χρησιμοποιώντας τους πόρους που είναι διαθέσιμοι είτε στην τρέχουσα είτε σε γειτονικές κυψέλες.
- [38] <http://cedric.cnam.fr/PUBLIS/RC390.pdf>
Άρθρο που μελετά την επίδραση των handoff στο σταθερό τμήμα του κυψελοειδούς δικτύου.
- [39] <https://www.cs.tcd.ie/~htewari/papers/tripathi98.pdf>
Άρθρο των Nishith D. Tripathi, Nortel Jeffrey, H. Reed και Hugh F. VanLandingham του Virginia Tech που περιγράφει αποτελεσματικούς αλγορίθμους handoff για την διασφάλιση του QoS.
- [40] <http://www.utdallas.edu/~venky/pubs/mobile-tracking-vtc.pdf>
Άρθρο των Subbiah Shenbagaraman, B. Prabhakaran, S. Venkatesan του πανεπιστημίου του Τέξας που περιγράφει σχήματα εξασφάλισης πόρων και παρακολούθησης της θέσης των κινητών τερματικών σε κυψελοειδή δίκτυα.