



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Παράρτημα Χανίων

Πτυχιακή Εργασία

Θέμα :

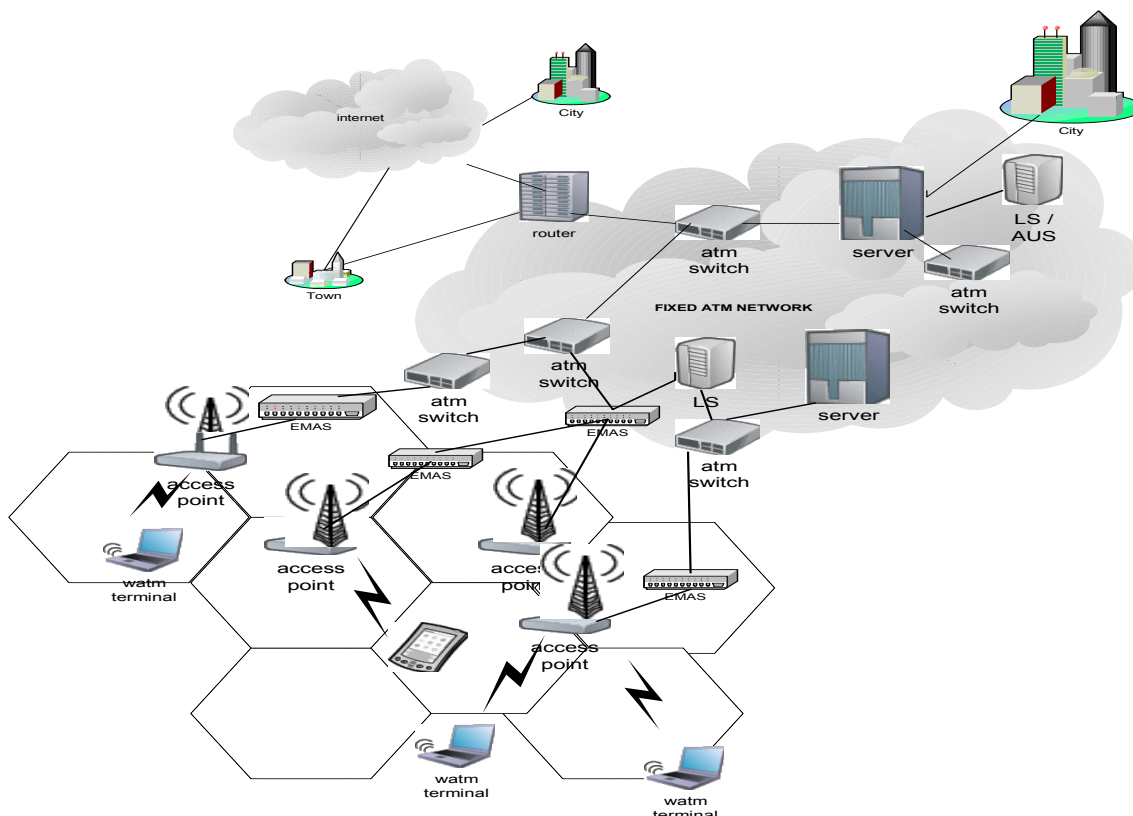
Τεχνικές Handover σε δίκτυα WATM

&

Πρωτόκολλα MAC σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (WSNs)

Σπουδάστρια : Καντζαβέλου Νικολέτα – Αργυρούλα

Επιβλέπων Καθηγητής : Δρ. Μηχ. Μπαρμπουνάκης Ιωάννης



Χανιά

Ιούλιος 2005

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

WIRELESS ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE.....	1
Κεφάλαιο 1 ΑΣΥΡΜΑΤΟΣ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ.....	2
1.1 Λόγοι εξέλιξης του WATM	2
1.2 Ορισμός του Ασύρματου Ασύγχρονου Τρόπου Μεταφοράς.....	3
1.3 Τι ταχύτητες μετάδοσης χρησιμοποιεί ;.....	4
1.4 Με ποιους τρόπους δουλεύει ;.....	4
1.4.1 Συνοπτική παρουσίαση του ATM.....	4
1.5 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ?	
1.5.1 Η αρχιτεκτονική του WATM.....	7
1.5.2 Οντότητες από τις οποίες αποτελείται ένα WATM δίκτυο ;.....	9
1.5.3 Η δομή του πρωτοκόλλου του WATM.....	10
1.5.4 Η αρχιτεκτονική της ασύρματης διεπαφής	13
1.5.4.1 Το ασύρματο φυσικό στρώμα	13
1.5.5 Ασύρματος έλεγχος.....	15
1.5.5.1 Καταχώρηση	15
1.5.5.2 Μετρήσεις Ισχύος.....	15
1.5.5.3 Έλεγχος Ισχύος.....	16
1.5.6 Η αρχιτεκτονική του MAC στρώματος	16
1.5.7 Ο MAC αλγόριθμος.....	18
1.6 Μορφή πακέτων WATM.....	20
1.6.1 Γενική μορφή των WATM Κελιών	20
1.6.2 Πακέτα Ελέγχου	21
1.7 Έλεγχος ζεύξης δεδομένων	23
1.7.1 Ακολουθία σηματοδότησης της ασύρματης ζεύξης	23
1.8 Πρωτόκολλα διαχείρισης κινητικότητας.....	25
1.8.1 Λειτουργικές οντότητες της διαχείρισης κινητικότητας	25
1.8.2 Διαμόρφωση πληροφοριών.....	26
1.8.3 Τοπική κινητικότητα και σενάρια περιαγωγής	27
1.8.4 Απαιτήσεις Ασύρματου Επιπέδου για Περιοχές Διαχείρισης Εντοπισμού.....	28
1.8.4.1 Σελιδοποίηση.....	28
1.8.5 Διαδικασίες Διαχείρισης Εντοπισμού και Αναγνωριστές Ροής Ελέγχου.....	29
1.8.5.1 Ενημέρωση Τοποθεσίας	29
1.8.5.2 Πιστοποίηση Χρήστη.....	32
1.8.6 Δρομολόγηση Σύνδεσης, Άντληση Πληροφοριών Τοποθεσίας και Επαναδρομολόγηση	32
1.9 ΈΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ QoS ΣΤΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ ATM	35
1.9.1 Το μοντέλο «soft QoS».....	36
1.9.2 Έλεγχος εισόδου κινητών κλήσεων	38
1.9.3 Αφίξεις Κλήσεων.....	41
1.9.4 Τι είναι η κινητικότητα (mobility).....	41
1.9.5 Τι προκαλεί την υποβάθμιση του QoS.....	41
Κεφάλαιο 2 HANDOVER.....	43
2.1 Τι είναι το handover	43
2.1.1 Προβλήματα στο handover του ασύρματου ATM.....	44
2.1.2 Χρήση της Ενδοκαναλικής Σηματοδότησης	45
2.2 Υλοποίηση Handover	47
2.3 Ταξινόμηση των ειδών του handover.....	48
2.4 Διαγράμματα Δρομολόγησης Handover	52
2.4.1 Διαγράμματα Επαναδρομολόγησης Handover	52

2.4.1.1	Διάγραμμα Hard Handover	52
2.4.1.2	Διάταξη Handover «χωρίς απώλειες»	53
2.4.1.3	Διάταξη Soft Handover	54
2.4.1.4	Διάταξη Handover Προβλεπόμενης Επαναδρομολόγησης	55
2.4.2	Διαγράμματα Κατανομής Καναλιού Handover	56
2.4.2.1	Διάταξη Handover Τρόπου Κράτησης	56
2.4.2.2	Διάταξη Handover Ουρών	57
2.4.2.3	Διάταξη Handover Μεταφοράς Καναλιού	58
2.4.2.4	Διάταξη Handover Υπό-κατανομής Καναλιού	58
2.4.2.5	Διάταξη Handover Προσαρμοσμένης Προτεραιότητας	59
2.5	Περιγραφή του οπισθοδρομικού handover που αρχικοποιείται από το δίκτυο	61
2.6	Περιγραφή του Εμπρόσθιου Handover που αρχικοποιείται από το κινητό τερματικό	65
2.7	Ανάλυση των χρονικών καθυστερήσεων και των προϋποθέσεων των buffer	70
2.8	Επίλογος για το Handover στο Ασύρματο Ασύγχρονο Τρόπο Μεταφοράς	77
	WIRELESS SENSOR NETWORKS	78
	Κεφάλαιο 3 Τι είναι τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων	79
3.1	Αρχιτεκτονική των δικτύων αισθητήρων	80
3.2	Η Αρχιτεκτονική ενός Ασύρματου Αισθητήρα	81
3.3	Εφαρμογές των δικτύων αισθητήρων	86
3.3.1	Στρατιωτικές εφαρμογές	86
3.3.2	Περιβαλλοντικές εφαρμογές	88
3.3.3	Εφαρμογές υγείας	90
3.3.4	Οικιακές εφαρμογές	92
3.4	Μέσο Μετάδοσης	93
3.5	Πρωτόκολλο για τα WSN	94
	Κεφάλαιο 4 Sensor-MAC (S-MAC)	96
4.1	Σκοπός του S-MAC	96
4.2	Περιοδική «Ακρόαση» και «Ύπνος»	96
4.3	Διαλογή και Συντήρηση των προγραμμάτων	99
4.4	Διατήρηση Συγχρονισμού	101
4.5	Προσαρμόσιμη «ακρόαση»	104
4.6	Αποφυγή Συγκρούσεων	106
4.7	Αποφυγή «κρυφακούσματος» και μετάδοσης δεδομένων	106
4.7.1	Αποφυγή «κρυφακούσματος»	107
4.7.2	Μετάδοση δεδομένων	108
4.7.3	Μετάδοση μηνυμάτων (Message Passing)	109
4.8	Ανάλυση της χρονικής καθυστέρησης	111
	Κεφάλαιο 5 Timeout-MAC (T-MAC)	117
5.1	Ομαδοποίηση και συγχρονισμός	118
5.2	Λειτουργία RTS και αποφυγή κρυφακούσματος	119

5.3	Σταθερό διάστημα ανταγωνισμού	120
5.4	Ξαναπροσπάθειες RTS.....	120
5.5	Αποφυγή «κρυφακούσματος»	122
5.6	Ασύμμετρη επικοινωνία	123
5.7	Μελλοντική αίτηση αποστολής.....	124
5.8	Έχοντας προτεραιότητα στα γεμάτα buffers.....	126
5.9	Αποτελέσματα συγκριτικής ανάλυσης.....	127
5.10	Επίλογος για τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	131
	<i>ΛΕΞΙΚΟ - ΟΡΟΛΟΓΙΑ.....</i>	<i>132</i>
	<i>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</i>	<i>135</i>

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1	Το καθεστώς των εφαρμογών του ασύρματου ATM σε σχέση με το ρυθμό μεταφοράς bit (bit rate) και την κινητικότητα.	4
Εικόνα 2	Σχέσεις Συνδέσεων $W(ATM)$ (Πηγή [1]).....	5
Εικόνα 3	Υπηρεσίες και Εφαρμογές που προσφέρει το WATM.	6
Εικόνα 3		7
Εικόνα 4	Αντιπροσωπευτικές απαιτήσεις υπηρεσιών για ασύρματες εφαρμογές ευρείας ζώνης.....	7
Εικόνα 5	Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα ενός WATM δικτύου.....	8
Εικόνα 6	Οι συσκευές ενός ασύρματου ATM δικτύου.....	10
Εικόνα 7	Τα στοιχεία του WATM πρωτοκόλλου της ασύρματης πρόσβασης και η διεπαφή του με το στρώμα ATM.....	11
Εικόνα 8	Η μετατροπή του ATM Πρωτοκόλλου σε WATM Πρωτόκολλο με τις επεκτάσεις κινητικότητας.....	12
Εικόνα 9	Το περίγραμμα ενός αντιπροσωπευτικού δυναμικού TDMA / TDD πρωτόκολλου που χρησιμοποιείται στο WATM MAC.....	17
Εικόνα 10	Αντιπροσωπευτικός σχηματισμός πακέτου για μια ασύρματη ζεύξη του WATM., όπου κάθε σειρά είναι και μια οκτάδα από bit.....	20
Εικόνα 11	Αντιπροσωπευτικός σχηματισμός πακέτου ελέγχου για μια ασύρματη ζεύξη του WATM (α), πακέτου επιβεβαίωσης λήψης (β) και του πακέτου πληροφοριών του WATM (γ) όπου κάθε σειρά είναι και μια οκτάδα από bit.....	22
Εικόνα 12	Παράδειγμα ακολουθίας σηματοδότησης της ασύρματης ζεύξης.....	24
Εικόνα 13	Διαμόρφωση πληροφοριών του ασύρματου ATM.....	27
Εικόνα 14	Παράδειγμα ροής ελέγχου ενημέρωσης τοποθεσίας.....	31
Εικόνα 15	Έναρξη κλήσης όταν το κινητό τερματικό είναι στο δίκτυο της έδρας του.....	33
Εικόνα 16	Εγκατάσταση κλήσης όταν το κινητό τερματικό είναι σε επισκεπτόμενο δίκτυο.....	34
Εικόνα 17	Η ροή ελέγχου για την έναρξη μιας κλήσης που έχει τερματιστεί από το κινητό.....	35
Εικόνα 18	Δυναμική διαμοίραση του εύρους ζώνης.....	37
Εικόνα 19	Στατιστικά.....	41
Εικόνα 20	Η δενδρική δομή κατηγοριοποίησης των handover.....	50
Εικόνα 21	Δενδρική δομή σχημάτων Handover κατά bauer & rees.....	51
Εικόνα 22	Η διαδικασία του Hard Handover. Στο (α) το κινητό τερματικό είναι συνδεδεμένο στο παλιό σταθμό βάσης, μετά το δίκτυο ενεργοποιεί το καινούργιο σταθμό βάσης (β), ενώ στη (γ) φάση το δίκτυο έχει τερματίσει την παλιά ζεύξη και το κινητό τερματικό έχει συνδεθεί στην νέα.....	52
Εικόνα 23	Handover «χωρίς απώλειες».....	53
Εικόνα 24	Soft Handover.....	54
Εικόνα 25	Handover προβλεπόμενης επαναδρομολόγησης.....	55
Εικόνα 26	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του κάθε διαγράμματος Handover.....	60
Εικόνα 27	Τα είδη των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται ανάμεσα στις δικτυακές οντότητες κατά την διάρκεια του hard backward network-initiated handover.....	63
Εικόνα 28	Η ροή των μηνυμάτων σε ένα hard οπίσθιο handover που αρχικοποιείται από το δίκτυο.....	64
Εικόνα 29	Η διαμόρφωση του δικτυακού μοντέλου handover.....	65
Εικόνα 30	Η ροή των μηνυμάτων στο hard forward αρχικοποιημένο από το κινητό τερματικό handover.....	66
Εικόνα 31	Τα μηνύματα που χρησιμοποιούνται κατά την διάρκεια ενός hard forward mobile-initiated handover.....	67
Εικόνα 32	Πίνακας των επεξηγήσεων των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση του handover.....	71
Εικόνα 33	Παράμετροι της προσομοίωσης.....	75
Εικόνα 34	Η μέση τιμή του μέγιστου αριθμού πακέτων που αποθηκεύονται στον προσωρινό καταχωρητή προς την άνω ζεύξη στο BSC_2 για $AVCR= 2, 4, 8$ ΚΑΙ 16 Mbps.....	75
Εικόνα 35	Η μέση τιμή (Δ_{HO} [ms]) της χρονικής καθυστέρησης εξαιτίας της διαδικασίας του εμπρόσθιου handover και το 95 % (${}^{\Omega}95_{\Delta}$ [ms]) της χρονικής καθυστέρησης εξαιτίας της διαδικασίας του εμπρόσθιου handover για $AVCR = 2, 4, 8$ και 16 Mb/s.....	76
Εικόνα 36	Απλοϊκό παράδειγμα ενός δικτύου πολλαπλών αλμάτων.....	79
Εικόνα 37	Δίκτυο Αισθητήρων.....	80
Εικόνα 38	Η αρχιτεκτονική ενός ασύρματου αισθητήρα.....	81

Εικόνα 39	Παράμετροι υλοποίησης του S-MAC του Mica Motes	84
Εικόνα 40	Παραδείγματα κόμβων αισθητήρων.....	85
Εικόνα 41	Παράδειγμα στρατιωτικής εφαρμογής.....	88
Εικόνα 42	Παράδειγμα περιβαλλοντικής εφαρμογής.....	90
Εικόνα 43	Παράδειγμα ιατρικής εφαρμογής των δικτύων αισθητήρων.....	91
Εικόνα 44	Πιθανές τοπολογίες Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων.....	93
Εικόνα 45	Το διαθέσιμο εύρος συχνοτήτων για τις ISM εφαρμογές.....	94
	Μέχρι τώρα η ζώνη των 915 MHz θεωρείται ιδανική για την χρήση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων....	94
Εικόνα 46	Η δομή του Πρωτοκόλλου των WSN.....	95
Εικόνα 47	Η βασική αυτή ιδέα των καταστάσεων «ακρόασης» και «ύπνου».....	96
Εικόνα 48	Ο κόμβος A μεταδίδει στον B, όταν ο B αρχίζει να ακούει.....	97
Εικόνα 49	Οι γειτονικοί κόμβοι A και B, έχουν διαφορετικό χρονοδιάγραμμα. Συγχρονίζονται με τους κόμβους C και D αντίστοιχα.....	98
Εικόνα 50	Διαμοιρασμός του διαστήματος «ακρόασης» σε δύο κομμάτια (σε ένα δέκτη), ένα κομμάτι για τα πακέτα SYNC και το υπόλοιπο για πακέτα πληροφοριών.....	102
Εικόνα 51	Ο πομπός 1 στέλνει μόνο ένα πακέτο SYNC για ενημέρωση των υπόλοιπων κόμβων για το χρονοδιάγραμμά του.....	103
Εικόνα 52	Ο πομπός 2 στέλνει ένα πακέτο πληροφοριών σε ένα άλλο κόμβο. Δεν στέλνει πακέτο SYNC, άρα δεν γίνεται ενημέρωση των άλλων κόμβων για το χρονοδιάγραμμά του. Βλέπουμε ότι στέλνει δεδομένα αφού λάβει το πακέτο CTS.....	103
Εικόνα 53	Ο πομπός 3 στέλνει και πακέτο SYNC, ενημερώνοντας τους άλλους κόμβους για το χρονοδιάγραμμά του και αφού λάβει το πακέτο CTS από τον δέκτη, στέλνει τα δεδομένα.....	104
Εικόνα 54	Ποιος πρέπει να πέσει σε νάρκη όταν ο κόμβος A μεταδίδει στον κόμβο B;.....	107
Εικόνα 55	Η προσαρμοστική ακρόαση μπορεί να μειώσει την εξαιτίας της νάρκης χρονική καθυστέρηση τουλάχιστον στο μισό.....	114
Εικόνα 56	Το βασικό σχήμα του πρωτοκόλλου S-MAC , T-MAC με προσαρμοσμένους ενεργούς χρόνους.....	118
Εικόνα 57	Μια βασική ανταλλαγή δεδομένων. Ο κόμβος C κρυφακούει το CTS από τον κόμβο B και δεν θα ενοχλήσει την επικοινωνία μεταξύ του A και του B. Το TA θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο για να μπορέσει ο κόμβος C να ακούσει το CTS.....	122
Εικόνα 58	Το πρόβλημα της πρώιμης νάρκης. Ο κόμβος D πέφτει σε νάρκη πριν μπορέσει ο κόμβος C να στείλει ένα πακέτο CTS στον D.....	124
Εικόνα 59	Η ανταλλαγή του πακέτου της μελλοντικής αίτησης αποστολής κρατά ενεργό τον κόμβο D..	126
Εικόνα 60	Παίρνοντας προτεραιότητα αφού λάβουμε το RTS.....	127
Εικόνα 61	Οι προϋποθέσεις που τέθηκαν για την διεξαγωγή της προσομοίωσης.....	128
Εικόνα 62	Αποτελέσματα προσομοίωσης και πραγματικής υλοποίησης.....	130

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια η ασύρματη τεχνολογία κατακλύζει όλο και περισσότερο τη ζωή μας. Χωρίς να το καταλάβουμε έχουμε συνδέσει τη καθημερινότητά μας με μικροσκοπικές ασύρματες συσκευές. Ραγδαία ανάπτυξη έχει έλθει στο διαδίκτυο με την εκρηκτική εξέλιξη των δικτυακών τεχνολογιών. Η παράλληλη ανάπτυξη των κυψελωτών συστημάτων για την ασύρματη κινητή τηλεφωνία είναι ένα παγκόσμιο φαινόμενο. Ο αριθμός των συνδρομητών του GSM¹ στην Ευρώπη αυξάνονται ραγδαία πλησιάζοντας τον αριθμό των τερματικών του PSTN², ενώ σε μερικές χώρες ο αριθμός των GSM τηλεφώνων είναι ήδη μεγαλύτερος από εκείνον των σταθερών τηλεφώνων. Ανάλογα εντυπωσιακούς ρυθμούς ανάπτυξης παρουσιάζουν και τα ασύρματα συστήματα στις Η.Π.Α. και την Ιαπωνία, αλλά και στην Αυστραλία, την Κίνα, την Αμερική κ.α.. Αυτή η τεράστια τεχνική και εμπορική επιτυχία στις υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας θεωρείται ότι είναι ο προθάλαμος της εποχής των προσωπικών επικοινωνιών και ότι σύντομα θα οδηγήσει σε μια εξίσου δυνατή απαίτηση για ανάπτυξη για υπηρεσίες πολυμέσων προς τους κινητούς χρήστες. Το μέλλον λοιπόν φαίνεται ότι ανήκει χωρίς καμία αμφιβολία στις ασύρματες επικοινωνίες.

Στη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία παρουσιάζω δύο τομείς που αναπτύσσονται συνεχώς την τελευταία δεκαετία. Ο πρώτος τομέας είναι τα ασύρματα δίκτυα που χρησιμοποιούν τον ασύγχρονο τρόπο μεταφοράς δεδομένων (WATM), μια ευρυζωνική τεχνική μετάδοσης δεδομένων σε πακέτα, η οποία ενσωματώνει στοιχεία από την κυψελωτή κινητή τηλεφωνία και το διαδίκτυο. Η ιδέα του WATM πρωτοεμφανίστηκε το 1992 και θεωρείται ως μια πιθανή τεχνολογία ασύρματων δικτύων επόμενης γενιάς με δυνατότητες ενσωμάτωσης υπηρεσιών πολυμέσων με διασφαλισμένη Ποιότητα (Quality of Service (QoS³)). Δίνεται έμφαση στο μηχανισμό διαπομπής (handover), που εξελίσσεται όταν το κινητό τερματικό (MT) αλλάζει περιοχή κάλυψης.

Ο δεύτερος τομέας είναι τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, μια περιοχή πολλά υποσχόμενη, η οποία ανθίζει σταδιακά τα τελευταία χρόνια. Οι εφαρμογές των αισθητήρων ενσωματώνουν ασύρματες τεχνολογίες εκπομπής και λήψης δημιουργώντας μια νέα γενιά εφαρμογών.

¹ GSM = Global System for Mobile communication, το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητής Τηλεφωνίας.

² PSTN = Public Switched Telephone Network, το δημόσιο ενσύρματο δίκτυο τηλεφωνίας.

³ QoS = Quality of Service, η ποιότητα υπηρεσίας σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα. Διαφορετικές εφαρμογές μπορεί να χρειάζονται μια διαφορετική ποιότητα υπηρεσίας. Για παράδειγμα, ένα περιστασιακό σφάλμα μετάδοσης μπορεί να μην έχει αξιοπρόσεκτο αποτέλεσμα σε μια εικόνα video αλλά θα μπορούσε να είναι καταστροφικό σε μια μετάδοση οικονομικών δεδομένων.

Σκοπός αυτής της πτυχιακής είναι η μελέτη των ασύρματων μικροκυματικών δικτύων σε επίπεδο πρόσβασης μέσου και για τους δύο παραπάνω τομείς. Ενδιαφέρουν οι «διάφανοι» μηχανισμοί που λαμβάνουν χώρα σε επίπεδο σηματοδότησης. Στόχος μου είναι η παρουσίαση, η κατανόηση και η εμβάθυνση των μηχανισμών που εξελίσσονται κατά την διάρκεια της λειτουργίας τους.

Abstract

In recent years radio technology overwhelms more and more our everyday life. Without being noticed we have connected our daily activities with miniature wireless devices. A rapid evolution has been growing in the network technology area. The tremendous development of the cell systems for wireless mobile telephony is a world wide phenomenon. The number of GSM subscribers in Europe is rapidly approaching the number of the fixed PSTN terminals while in some countries the number of GSM phones is already larger than the number of fixed phones. Analogous impressive growth rates present the wireless systems in U.S.A., Japan , Australia , China , America , e.t.c. This enormous technical and commercial success of mobile telephony services is considered to be only the first wave of the personal communications era, leading to an equally strong demand for development of multimedia services for mobile users. So, it seems that the future undoubtedly belongs to the mobile communications.

I will present two sectors which are being constantly developed in the recent decade, the first is wireless networks, which use the Asynchronous Transfer Mode, a broadband transmission data packet technique, one that combines principles from both the cellular mobile telephony and internet fields. WATM concept was first introduced in 1992 and is being considered as a possible framework of next generation wireless networks with embodied capabilities of multimedia services with Quality of Service.

The latter area is the wireless sensor networks, a very promising field, which blooms little by little in the last years. The sensor implementations are being incorporated in the network field and a new area of applications is being born.

The purpose of this thesis is to study the wireless microwave networks in the Medium Access Layer, as it is interested to show the "invisible" to many, mechanisms that occur in the signaling procedure. Target of this thesis is to help better understand and thoroughly examine the involved mechanisms during their operation.

WIRELESS ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE

Κεφάλαιο 1 ΑΣΥΡΜΑΤΟΣ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

1.1 Λόγοι εξέλιξης του WATM

Μετά την σημαντική ανάπτυξη του δικτύου (internet) και των διαδικτύων (intranets), η απαίτηση για εύρος ζώνης αυξάνεται. Στα ενσύρματα δίκτυα, ο ασύγχρονος τρόπος μεταφοράς (ATM- Asynchronous Transfer Mode), το ψηφιακό δίκτυο ολοκληρωμένων υπηρεσιών (ISDN – Integrated Services Digital Network) και οι x ψηφιακές συνδρομητικές γραμμές (xDSL – xDigital Subscriber Line) αναμένεται να προσφέρουν υπηρεσίες εύρους φάσματος.

Το ATM θεωρείται ένα ολοκληρωμένο και αποδοτικό δικτυακό παράδειγμα υψηλών ταχυτήτων με την χρήση της μεταγωγής πακέτων σταθερού μεγέθους, το οποίο μπορεί να υποστηρίξει διαφορετικές κατηγορίες (classes) κίνησης και μπορεί να αναπτυχθεί για οικιακά, τοπικά και μητροπολιτικά δίκτυα. Όμως, οι κινητές επικοινωνίες τα τελευταία χρόνια έχουν ωριμάσει αρκετά ώστε να μπορούν να προσφέρουν υπηρεσίες μεταγωγής πακέτου σε ευρεία ζώνη⁴. Ήδη προσφέρονται υπηρεσίες GPRS⁵ και WAP⁶ στα κινητά τερματικά. Φυσικό είναι η άνθιση των κινητών επικοινωνιών να έχει επηρεάσει το απλό ATM και να προσπαθούμε να εξελίξουμε το αρχικό Ενσύρματο Ασύγχρονο Τρόπο Μεταφοράς σε Ασύρματο Ασύγχρονο Τρόπο Μεταφοράς ενσωματώνοντας στο αρχικό ATM στοιχεία κινητικότητας και ασύρματης ζεύξης. Οι οργανισμοί προτυποποίησης όπως οι ITU-T⁷, ETSI⁸ και ATM Forum⁹ ήδη παρέχουν στα κυψελωτά συστήματα υπηρεσίες

⁴ Ευρείας Ζώνης = (Broadband) Μια υπηρεσία ή ένα σύστημα που απαιτεί κανάλια μετάδοσης ικανά να υποστηρίξουν ρυθμούς μεγαλύτερους από το βασικό ρυθμό. Τυπικό παράδειγμα είναι το B-ISDN που χρησιμοποιεί το ATM και για την ικανοποίηση των αναγκών για υψηλής ανάλυσης βίντεο, χρειάζεται ένας μέγιστος ρυθμός καναλιού της τάξης των 150 Mbps, ενώ μπορεί να φτάσει και στα 600 Mbps.

⁵ General Packet Radio Service = Μια αναβάθμιση του GSM και των δικτύων IS-136 που χρησιμοποιεί μεταγωγή πακέτων και παρέχει αυξημένο εύρος ζώνης για επικοινωνίες δεδομένων. Θεωρείται η 2.5 γενιά (2.5 G) της κινητής τηλεφωνίας. Ενώ το πρότυπο GSM καθορίζει μια χρονική θυρίδα σε κάθε χρήστη, για κανονική επικοινωνία φωνής, το GPRS αυξάνει την ταχύτητα της επικοινωνίας δεδομένων χορηγώντας πολλαπλές χρονικές θυρίδες σε κάθε μεμονωμένο χρήστη.

⁶ Wireless Application Protocol = Πρωτόκολλο Ασύρματων Εφαρμογών (software), το οποίο επιτρέπει στα κινητά τηλέφωνα και άλλες ασύρματες συσκευές να φυλλομετρήσουν απλοποιημένες ιστοσελίδες περιλαμβάνει υπηρεσίες όπως ενημέρωση για τον καιρό, το χρηματιστήριο, τις ειδήσεις και το i-mode. Στις Η.Π.Α. εφαρμόζεται από το 1999 ενώ στην Ευρώπη από το 2000.

⁷ ITU-T (= International Telecommunication Union) είναι η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών, η οποία είναι μια ειδική αντιπροσωπεία των Ηνωμένων Εθνών.

πολυμέσων, με την ικανότητα να παρέχουν συνδέσεις από 2 Mb/s και πάνω. Ειδικά ερευνητικά προγράμματα διεξάγονται για την μελέτη και την προτυποποίηση μεγάλων κυψελωτών δικτύων μεγάλου εύρους ζώνης (μέχρι 25 Mb/s) με την ενσωμάτωση του B-ISDN¹⁰, τραντάζοντας την ιδέα ότι τα ασύρματα δίκτυα πρέπει να είναι στενής ζώνης¹¹ και εξειδικευμένα

Οι απαιτήσεις που υψώνονται από τα πρότυπα και τον σχετικό μελλοντικό ρόλο των υπηρεσιών δεδομένων είναι μόνο μερικοί υπαινιγμοί για το γεγονός ότι μια από τις υποψήφιες τεχνολογίες των κυψελωτών συστημάτων που θα ενσωματωθούν με το B-ISDN είναι το ATM. Από την άλλη πλευρά υπάρχουν πολλοί παράγοντες που υποστηρίζουν την χρήση του W(ATM) για τα κυψελωτά δίκτυα όπως : η ευέλικτη διαμοίραση του εύρους ζώνης και η ποικιλία των τύπων των QoS που προσφέρει για διαφορετικές εφαρμογές, η αποτελεσματική πολυπλεξία της κίνησης από τις πηγές δεδομένων / πολυμέσων, η παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών από την μια άκρη έως την άλλη του δικτύου σε ασύρματα και ενσύρματα δίκτυα, η βελτιωμένη αξιοπιστία υπηρεσιών με τεχνικές μεταγωγής πακέτου, η ευκολία διεπαφής του WATM με τα ενσύρματα B-ISDN συστήματα που αναμένεται να δημιουργήσουν την ραχοκοκαλιά των τηλεπικοινωνιών.

1.2 Ορισμός του Ασύρματου Ασύγχρονου Τρόπου Μεταφοράς

Όμως τι ακριβώς σημαίνει ο Ασύρματος Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς δεδομένων; Ασύρματος καλείτε διότι η επικοινωνία ανάμεσα στο κινητό τερματικό, δηλαδή τον χρήστη και το υπόλοιπο δίκτυο επιτυγχάνεται χωρίς καλώδια αλλά με μικροκυματική ασύρματη ζεύξη και μάλιστα υπό μορφή πακέτων μικρού μεγέθους. Το είδος της επικοινωνίας που χρησιμοποιείται σε αυτό το πρωτόκολλο είναι η ασύγχρονη διότι τα πακέτα δεν υπόκεινται σε κάποιο είδος πολυπλεξίας στην διεπαφή, ο συγχρονισμός γίνεται πακέτο προς πακέτο.

⁸ ETSI (= European Telecommunication standard Institute) Το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Προτυποποίησης των Τηλεπικοινωνιών.

⁹ ATM Forum = Διεθνής μη κερδοσκοπικός οργανισμός με σκοπό του την ανάπτυξη προτύπων για το ATM .

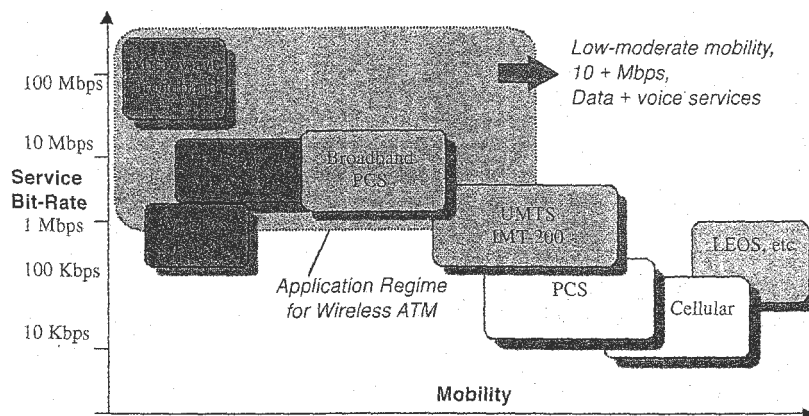
¹⁰ B-ISDN (= Broadband Intergrated Services Digital Network) είναι η δεύτερη γενιά του ISDN, η οποία υποστηρίζει πολύ υψηλούς ρυθμούς δεδομένων (εκατοντάδες Mbps) και είναι τεχνολογίας μεταγωγής πακέτου με την χρήση του ATM.

¹¹ Στενής Ζώνης = (Narrowband) Μια υπηρεσία ή ένα σύστημα που απαιτεί ένα κανάλι μετάδοσης και δεν είναι ικανά να υποστηρίξουν ρυθμούς μεγαλύτερους από το βασικό ρυθμό. Τυπικό παράδειγμα είναι το ISDN που κάνει χρήση ενός καναλιού 64 Kbps.

1.3 Τι ταχύτητες μετάδοσης χρησιμοποιεί ;

Η χρήση σταθερού μεγέθους , σταθερής μορφής και μικρού μεγέθους πακέτων στο W(ATM) όπως και των υπολοίπων χαρακτηριστικών του, έχει ως αποτέλεσμα την απλοποίηση των επεξεργασιών σε κάθε κόμβο και τους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Στο ATM οι ρυθμοί δεδομένων που καθορίζονται στο φυσικό στρώμα ποικίλουν από 25,6 Mbps έως 622,08 Mbps.

Οι αρχικές εφαρμογές της τεχνολογίας WATM στοχεύουν στις υπηρεσίες των περίπου 25 Mbps στο εύρος ζώνης των 5 GHz που έχει καταμετρηθεί για τις πληροφορίες υψηλών ταχυτήτων σε διάφορα μέρη του κόσμου. Συνεπώς καθώς η έννοια των υπηρεσιών ωριμάζει είναι πιθανές εφαρμογές με αδειοδότηση στο εύρος συχνοτήτων 2 και 60 GHz.



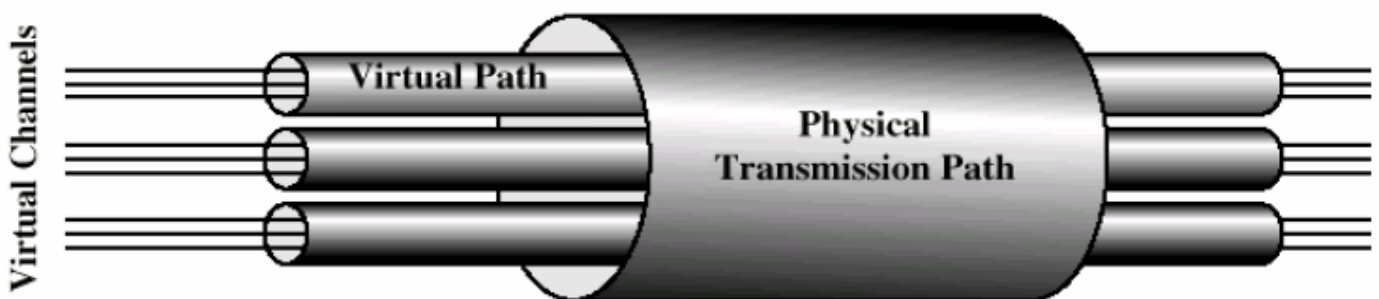
Εικόνα 1 Το καθεστώς των εφαρμογών του ασύρματου ATM σε σχέση με το ρυθμό μεταφοράς bit (bit rate) και την κινητικότητα.

1.4 Με ποιους τρόπους δουλεύει ;

1.4.1 Συνοπτική παρουσίαση του ATM

Η ραχοκοκαλιά του WATM είναι το ATM και είναι φυσικό αφού είναι μια εξέλιξη του. Η τεχνολογία ATM συνδυάζει την απόδοση των συστημάτων μεταγωγής υψηλών ταχυτήτων της βιομηχανίας τηλεπικοινωνιών και την ευελιξία των τοπικών δικτύων που αναπτύχθηκαν από την βιομηχανία των υπολογιστών. Τα ATM δίκτυα αποτελούνται από γρήγορα **συστήματα μεταγωγής** πακέτων ενωμένα μεταξύ τους και με τους τερματικούς κόμβους με συνδέσεις από σημείο-σε-σημείο. Όλα τα δεδομένα ομαδοποιούνται σε **πακέτα** των 53 bytes , με κάθε πακέτο να κουβαλάει πληροφορίες ελέγχου 5 bytes στην επικεφαλίδα (Header) του. Η επικεφαλίδα επιτρέπει στον μεταγωγέα να επεξεργαστεί τα πακέτα

σύμφωνα με τις απαιτήσεις της υπηρεσίας και να δρομολογήσει τα πακέτα στον προορισμό. Οι ακριανές οντότητες του δικτύου, τα τερματικά, εγκαθιστούν μια σύνδεση, π.χ. μια διαδρομή δια μέσω του δικτύου, στο τερματικό του προορισμού πριν ξεκινήσουν την μεταφορά πακέτων. Ταυτόχρονα τα τερματικά γνωστοποιώντας τον προορισμό τους διαπραγματεύονται το QoS εξειδικεύοντας π.χ. την ανεκτή καθυστέρηση και την πιθανότητα απώλειας πακέτων. Οι υψηλοί ρυθμοί δεδομένων του ATM, η διαπραγματευόμενη έναρξη της σύνδεσης καθώς και η ευελιξία του, επιτρέπει στο ATM να μεταφέρει ανάμεσα σε οποιοδήποτε αριθμό κόμβων του δικτύου οποιοδήποτε τύπο κίνησης. Το ασύρματο λοιπόν ATM χρησιμοποιεί στο ενσύρματο κομμάτι του λογικές συνδέσεις οι οποίες ονομάζονται **νοητά κανάλια** (Virtual Channel Connections (VCCs) Σύμφωνα με την περιγραφή του Stallings [1], ένα VCC είναι ανάλογο με ένα νοητό κύκλωμα του X.25¹². Είναι η βασική μονάδα μεταγωγής σε ένα δίκτυο ATM. Ένα VCC αποκαθίσταται ανάμεσα σε δύο τερματικούς χρήστες μέσω του δικτύου και ανταλλάσσονται κελιά μεταβλητού ρυθμού, αμφίδρομης ροής και σταθερού μεγέθους. Τα VCC χρησιμοποιούνται επίσης και για ανταλλαγή ανάμεσα στο χρήστη και το δίκτυο (σηματοδότηση ελέγχου) και ανταλλαγή ανάμεσα στα δίκτυα (διαχείριση δικτύου και δρομολόγηση). Επίσης έχουμε και ένα δεύτερο υπόστρωμα επεξεργασίας που σχετίζεται με το θέμα του νοητού μονοπατιού. Μια σύνδεση **νοητού μονοπατιού** (Virtual Path Connection(VPC)) είναι μια δέσμη από VCC που έχουν τα ίδια τερματικά σημεία, έτσι όλα τα πακέτα που ρέουν από όλα τα VCC ενός VPC μεταγονται μαζί. Η τεχνική του νοητού μονοπατιού η οποία παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, βοηθά στην συγκράτηση του κόστους ελέγχου ομαδοποιώντας τις συνδέσεις, που μοιράζονται κοινά μονοπάτια του δικτύου, σε μια επικοινωνιακή μονάδα.



Εικόνα 2 ΣΧΕΣΕΙΣ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ W(ATM) (ΠΗΓΗ [1]).

¹² X.25 = Πρότυπο Πρωτόκολλο για την διεπαφή ανάμεσα σε ένα τερματικό σύστημα και ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων, το οποίο εγκρίθηκε αρχικά το 1976 και έχει υποστεί πολλές αναθεωρήσεις από τότε. Αντικαταστάθηκε από το Frame Relay αρχικά και μετά από το ATM.

Τα ασύρματα ATM συστήματα φτιάχτηκαν για να παρέχουν ημι-κινητές ολοκληρωμένες υπηρεσίες φωνής / πληροφοριών και video σε ιδιωτικά και δημόσια μικροκυβελωτά ασύρματα δίκτυα. Επειδή ένα δίκτυο (W)ATM μπορεί ταυτόχρονα να μεταφέρει πολλούς και διαφορετικούς τύπους υπηρεσιών, είτε **πραγματικού χρόνου με σταθερό ρυθμό δεδομένων** (Constant Bit Rate (CBR)) για εφαρμογές όπως η φωνή (Τηλεφωνία), η τηλεδιάσκεψη. η διανομή ήχου / εικόνας (τηλεόραση, εκπαίδευση εξ αποστάσεως, pay-per-view) το βίντεο, είτε **μεταβλητού ρυθμού δεδομένων** (Real Time Variable Bit Rate (rt-VBR)) για εφαρμογές όπως και η καταϊγιστική ροή συμπίεσης video, όπου έχουμε να κάνουμε με μια ακολουθία από πλαίσια εικόνων διαφορετικών μεγεθών. Από την άλλη μεριά μπορεί να υποστηρίξει υπηρεσίες **μη πραγματικού χρόνου** για εφαρμογές που έχουν καταϊγιστική ροή αλλά δεν έχουν αυστηρούς περιορισμούς στην καθυστέρηση και την διακύμανση αυτής , με **μεταβλητό ρυθμό bit** (Non Real Time Variable Bit Rate (nrt-VBR)) για κρατήσεις αεροπορικών εταιριών , τραπεζικές συναλλαγές και η παρακολούθηση μιας διαδικασίας, με **Ακαθόριστο ρυθμό bit** (Unspecified Bit Rate (UBR)) για e-mail και με **διαθέσιμο ρυθμό bit** (Available Bit Rate (ABR)) για διασύνδεση LAN.

Το ATM και το WATM υποστηρίζουν τις παρακάτω κατηγορίες υπηρεσιών :

Κατηγορίες Υπηρεσιών και Ρυθμοί Μεταδόσεις που υποστηρίζονται			
Υπηρεσίες Χρόνου	Πραγματικού		Υπηρεσίες Μη Πραγματικού Χρόνου
Σταθερός Ρυθμός Bit – Constant Bit Rate (CBR)		Τηλεδιάσκεψη Τηλεφωνία Διανομή Εικόνας / Ήχου Ανάκτηση Εικόνας / Ήχου	
Μεταβλητός Ρυθμός Bit Πραγματικού Χρόνου – Real Time Variable Bit Rate (rt-VBR)		Συμπίεση Video (ο ρυθμός μεταβάλλεται ανάλογα τα πλαίσια)	Μεταβλητός Ρυθμός Bit Μη Πραγματικού Χρόνου – Non Real Time Variable Bit Rate (nrt-VBR)
			Διαθέσιμος Ρυθμός Bit – Available Bit Rate (ABR)
			Ακαθόριστος Ρυθμός Bit – Unspecified Bit Rate (UBR)
			Αεροπορικές κρατήσεις Τραπεζικές συναλλαγές
			Διασύνδεση LAN
			E-mail

Εικόνα 3 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΣΦΕΡΕΙ ΤΟ WATM.

1.5 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

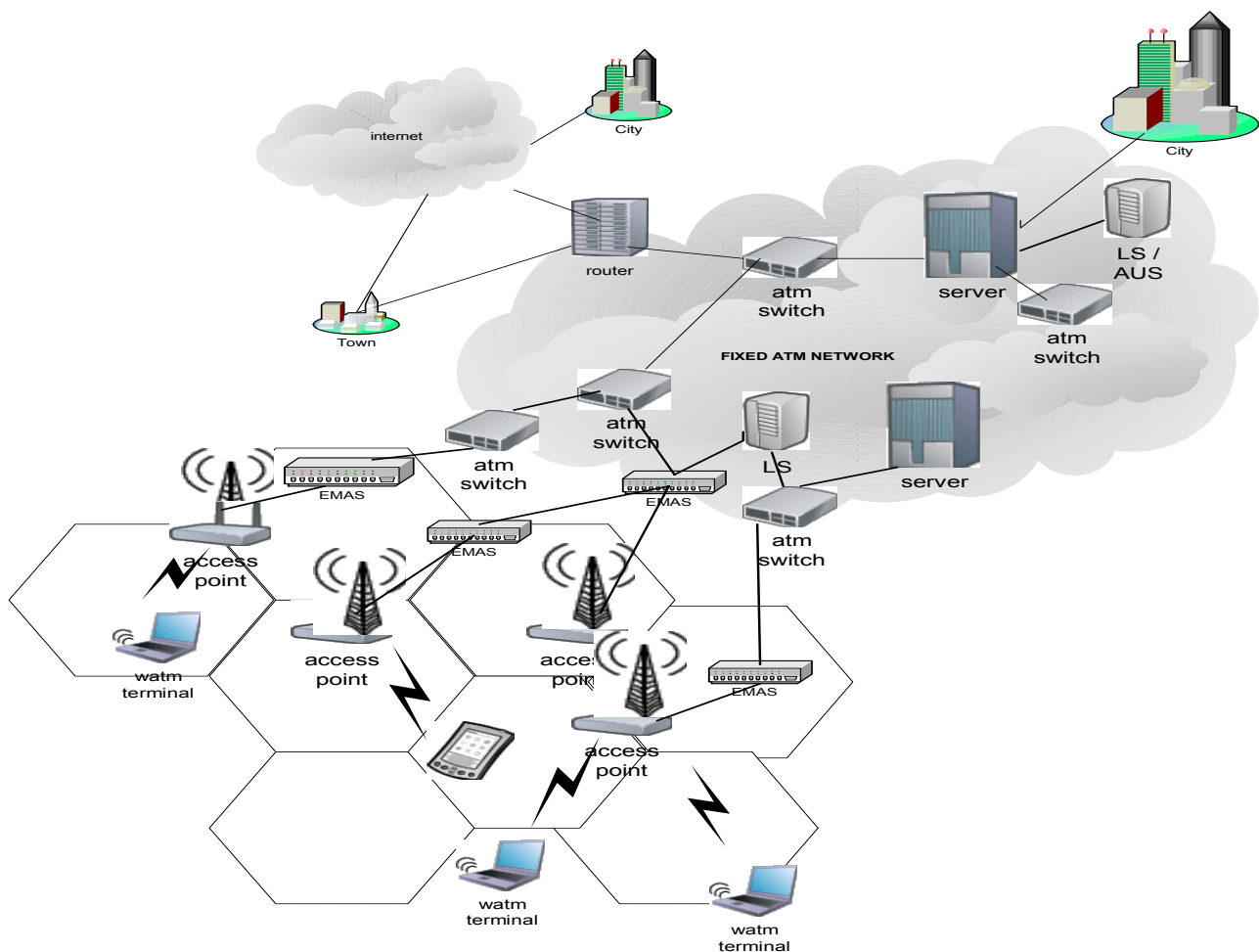
1.5.1 Η αρχιτεκτονική του WATM

Ο σκοπός του WATM είναι να προσθέσει ικανότητες πρόσβασης στα βασισμένα στο ATM δίκτυα, παρέχοντας κινητικότητα καθώς και την φυσική ικανότητα μεταφοράς του ATM. Το ATM είναι μια τεχνολογία επικοινωνιών που χαρακτηρίζεται από την προσαρμοστικότητα του σε κάθε τύπο QoS και την ικανότητα μετάδοσης σε υψηλές ταχύτητες. Αυτή η ποικιλία QoS πρέπει επίσης να χαρακτηρίζει και το WATM και ενώ όλες οι WATM υπηρεσίες θα πρέπει να είναι ποιοτικά ταυτόσημες του ATM, ο μέγιστος ρυθμός μεταφοράς bit περιορίζεται αριθμητικά από την πρόσβαση της ταχύτητας της ασύρματης ζεύξης. Βασισμένοι στην ανάλυση του [15], για σύγχρονες και μελλοντικές εφαρμογές, τυπικός σχεδιαστικός σκοπός θεωρείται η παροχή υπηρεσιών με ρυθμούς μετάδοσης bit στην περιοχή 1-10 Mbps (Εικόνα 4).

Εφαρμογή	Βαθμός κινητικότητας	Επιθυμητός ρυθμός bit	QoS
Τηλεφωνία	Υψηλή, Μέτρια ή Χαμηλή	9.6 Kbps – 64 Kbps	CBR
Εικονοτηλέφωνο / Άνω ζεύξη κάμερας	Μέτρια ή Χαμηλή	384 Kbps - 6 Mbps	CBR ή VBR
E-mail	Μέτρια ή Χαμηλή	~ 1 Mbps peak	Πακέτο / UBR
Κινητή πρόσβαση στο Διαδίκτυο	Χαμηλή	~ 5 – 10 Mbps peak	Πακέτο / UBR ή VBR
Σταθερή πρόσβαση στο Διαδίκτυο	Στατική	~ 10 – 25 Mbps peak	Πακέτο / UBR ή VBR
Video κατά απαίτηση	Στατική	~ 10 – 25 Mbps peak	CBR ή VBR

Εικόνα 4 ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΓΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΥΡΕΙΑΣ ΖΩΝΗΣ.

Σε αυτή τη εργασία υιοθετούμε την προσέγγιση του ATM Forum για τα WATM κυψελωτά δίκτυα. Η προσέγγιση αυτή αφορά την ύπαρξη ATM συνδέσεων μέσω της ασύρματης διεπαφής μέχρι και τον τελικό χρήστη. Από την άλλη πλευρά άλλοι οργανισμοί όπως οι ITU-T και ETSI υποστηρίζουν την ύπαρξη του ATM μόνο στο σταθερό κομμάτι του WATM. Η προσέγγιση του WATM που αναλύουμε έχει επιπροσθέτως και το εξής πλεονέκτημα : αφού μιλάμε για ένα ενσύρματο δίκτυο B-ISDN που χρησιμοποιεί ATM είναι πολύ πιο εύκολο αυτό το δίκτυο να μεταμορφωθεί με μερικές μετατροπές σε ασύρματο επειδή το πρωτόκολλο επικοινωνίας θα είναι αυτό του ενσύρματου ATM με μερικές τροποποιήσεις. Με το πλεονέκτημα αυτό δεν θα αναγκαστούν οι εταιρίες να αγοράσουν επιπρόσθετο εξοπλισμό (όπως δρομολογητές ή πύλες) για να διασυνδεθούν στο δίκτυο WATM. Επιπλέον το ATM θεωρείται ότι μειώνει την πολυπλοκότητα του δικτύου και βελτιώνει την ευελιξία του , ενώ παράλληλα εξετάζει την απόδοση της κίνησης από το ένα άκρο ως το άλλο.



Εικόνα 5 ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΝΟΣ WATM ΔΙΚΤΥΟΥ

1.5.2 Οντότητες από τις οποίες αποτελείται ένα WATM δίκτυο ;

Στο WATM υπάρχουν δύο είδη διεπαφής : η **διεπαφή χρήστη – δικτύου (User – Network Interface (UNI))**, η οποία είναι η επικοινωνία μεταξύ του κινητού τερματικού και του υπόλοιπου δικτύου και η **διεπαφή δικτύου – δικτύου (Network – Network Interface (NNI))**, μέσω της οποίας επικοινωνούν οι οντότητες του δικτύου με την εξαίρεση του MT και του ATM Σταθμού βάσης.

Τα βασικά εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται ένα θεμελιώδες ασύρματο δίκτυο ATM σε φυσικό αλλά και λογισμικό επίπεδο είναι :

ATM εξυπηρετητής (ATM server / host),

ATM μεταγωγέας (ATM switch), οι ATM μεταγωγείς ενσωματώνουν τις δυνατότητες διεπαφής χρήστη - δικτύου / δικτύου – δικτύου (user – network interface UNI / network – network interface NNI) μαζί με πρόσθετο λογισμικό υποστήριξης της κινητικότητας. Ανάλογα το μέγεθος του δικτύου και την αρχιτεκτονική πάνω στην οποία βασίζεται , μπορεί να υπάρξουν switches που να υποστηρίζουν την κινητικότητα και άλλοι που δεν θα την υποστηρίζουν. Τα **Switches** που δεν υποστηρίζουν στοιχεία κινητικότητας απλά συγκεντρώνουν την κίνηση του δικτύου και την αφήνουν να διοχετεύεται σε άλλες οντότητες με διάφανο για τον χρήστη τρόπο και δεν έχουν ικανότητες δρομολόγησης. Οι κόμβοι με τους οποίους τα BSCs συνδέονται ονομάζονται **EMAS (End-user Mobility-supporting ATM Switch)** και μπορούν να διαχειριστούν την κινητικότητα . Ο κόμβος που εκτελεί την διαδικασία την επαναδρομολόγησης της σύνδεσης είναι ο **μεταγωγέας διασταύρωσης (Cross-Over Switch (COS))**. Η παραδοχή ότι τα BSCs δεν έχουν ικανότητες δρομολόγησης δεν είναι περιοριστική , αφού ένα BSC με δυνατότητες δρομολόγησης επικεντρώνει τις λειτουργίες των BSC και EMAS.

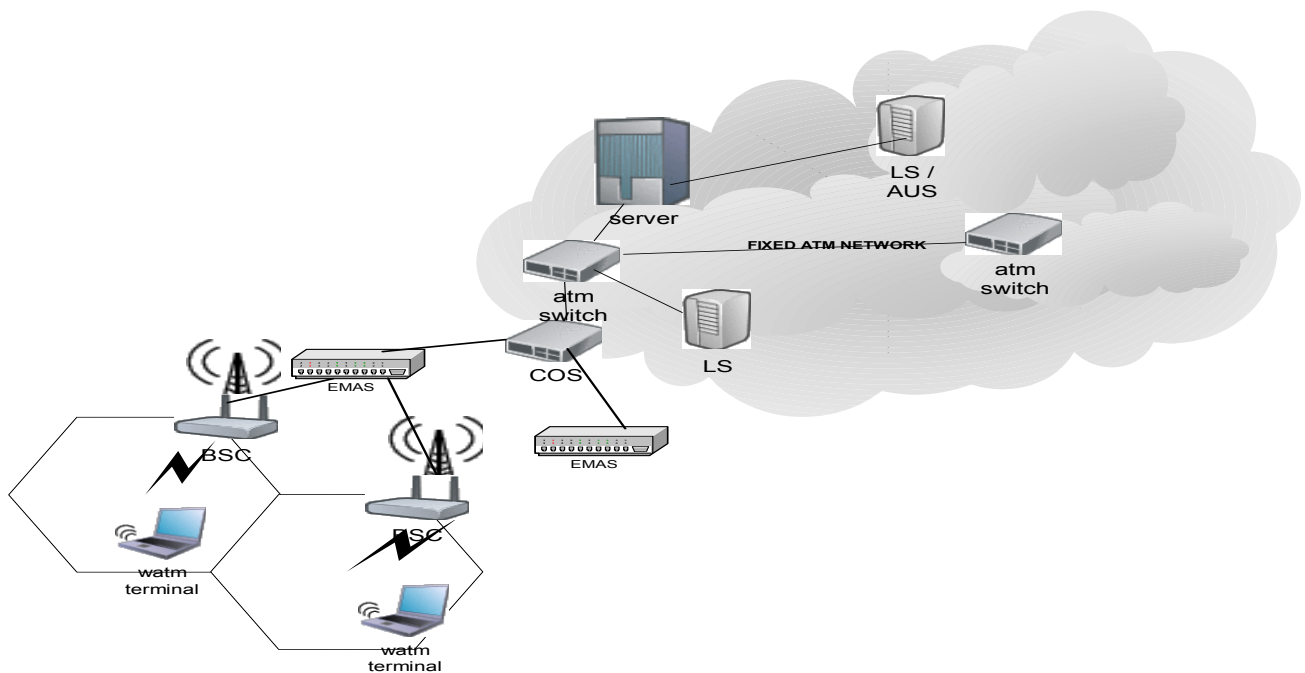
ATM σταθμός βάσης (ATM base station), οι ATM σταθμοί βάσης ή ασύρματες πύλες (είσοδοι – έξοδοι) έχουν επίσης λογισμικό UNI / NNI εμπλουτισμένο με στοιχεία κινητικότητας και δυνατότητες ασύρματης διεπαφής. Η κεραία ή ο **σταθμός Βάσηςπομποδέκτη (Base Transeiver Station (BTS))** ελέγχονται από το τμήμα του **Ελεγκτή του Σταθμού Βάσης (Base Station Controller (BSC))** ο οποίος είναι επιφορτισμένος με τον έλεγχο του BTS, οι οποίοι παρέχουν την διεπαφή ανάμεσα στα ενσύρματα και τα ασύρματα κομμάτια του δικτύου και BSs αντιπροσωπεύουν τα σημεία ασύρματης πρόσβασης (**ασύρματες πύλες Radio Ports (RPs)**) στο ενσύρματο δίκτυο.

και **ATM τερματικό (ATM terminal (MT))**, το ασύρματο ATM τερματικό περιλαμβάνει μια **κάρτα ασύρματης διεπαφής WATM δικτύου (network interface card NIC)** και

λογισμικό UNI ενσωματωμένο με στοιχεία κινητικότητας και ασύρματης ζεύξης. Τα MTs είναι ελεύθερα να περιφέρονται στην γεωγραφική περιοχή που καλύπτεται από το κυψελλωτό δίκτυο (το MT που κινείται από το ένα BS σε κάποιο άλλο πρέπει να απαιτήσει ένα handover κλήσης για κάθε μια από τις καταχωρημένες ATM συνδέσεις του).

Εφόσον το WATM δίκτυο συνδέεται με άλλα δίκτυα διαφορετικής τεχνολογίας τότε είναι απαραίτητο να υπάρχουν ATM Routers που θα ικανός να διασυνδέει μια ποικιλία τοπικών δικτύων και δικτύων ευρείας περιοχής.

Έτσι υπάρχουν επιπλέον δυο νέα εξαρτήματα υλικού, ο ATM σταθμός βάσης (ο οποίος μπορεί να θεωρηθεί ως ένας μικρός με την προσθήκη κινητικότητας μεταγωγέας με ασύρματες και οπτικές πύλες) και η WATM NIC , η οποία αναπτύχθηκε για τα ασύρματα ATM συστήματα. Τα καινούργια εξαρτήματα λογισμικού περιλαμβάνουν τις επεκτάσεις του κινητού ATM πρωτοκόλλου για μεταγωγείς και σταθμούς βάσης , όπως και τον οδηγό WATM UNI που χρειάζεται για την υποστήριξη της κινητικότητας και των ασύρματων χαρακτηριστικών από την πλευρά του χρήστη.

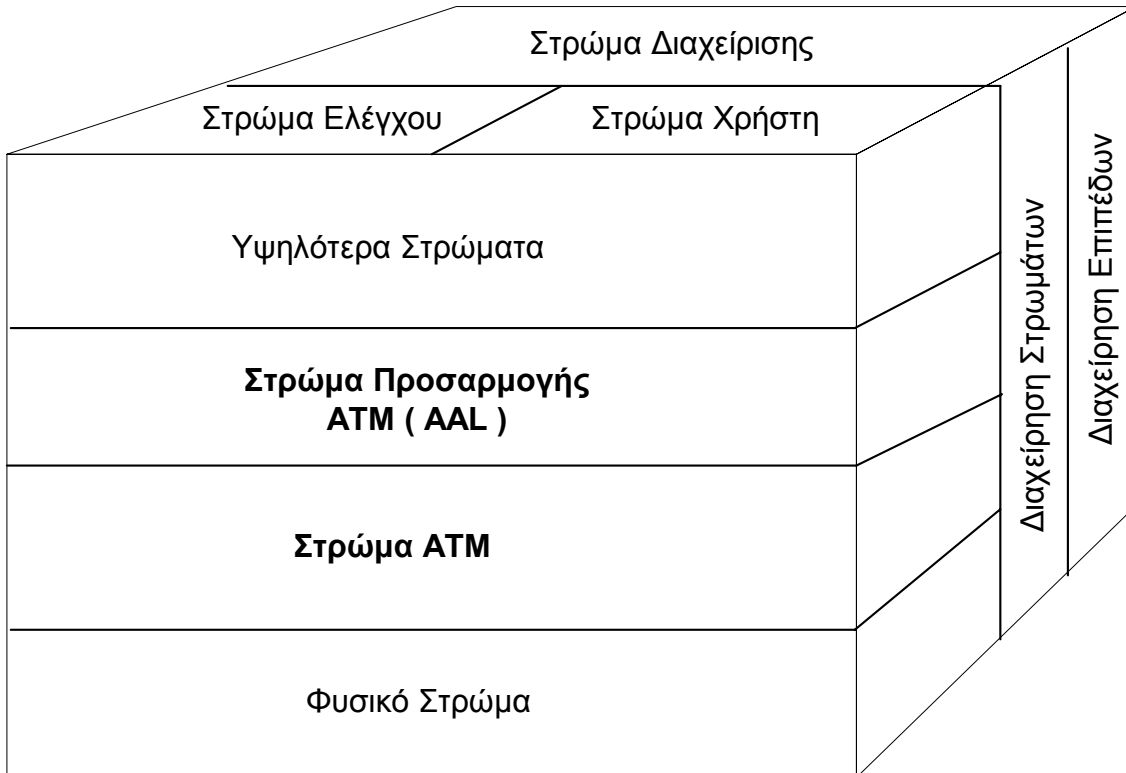


Εικόνα 6 ΟΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΝΟΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ATM ΔΙΚΤΥΟΥ

1.5.3 Η δομή του πρωτοκόλλου του WATM

Η βασική προσέγγιση για το WATM πρωτόκολλο είναι να ενοποιήσουμε στη στοίβα του ATM προτύπου πλήρως καινούργιες διαδικασίες ειδικά για ασύρματες συνδέσεις , ενώ θα

προστεθούν τα απαραίτητα χαρακτηριστικά υποστήριξης της κινητικότητας όπως η σηματοδότηση και δρομολόγησης στην υπάρχουσα υπο-μονάδα του επιπέδου ελέγχου (σχήμα 1)



Εικόνα 7 Τα στοιχεία του WATM πρωτοκόλλου της ασύρματης πρόσβασης και η διεπαφή του με το στρώμα ATM.

i



Εικόνα 8 Η ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΟΥ ATM ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΣΕ WATM ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΜΕ ΤΙΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.

Η στοίβα πρωτοκόλλου του WATM περιλαμβάνει ένα καινούργιο ασύρματο φυσικό στρώμα, το οποίο διασύνδεει το επίπεδο δικτύου του ATM μέσω πρόσθετων υπο-επιπέδων ελέγχου πρόσβασης μέσου (medium access control MAC) και του ελέγχου ζεύξης δεδομένων (data link control DLC). Αυτό σημαίνει ότι καθιερωμένες ATM υπηρεσίες όπως η διευθυνσιοδότηση / η δρομολόγηση, η εγκατάσταση ενός νοητού κυκλώματος (virtual circuit VC) και ο έλεγχος του QoS συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται στα ασύρματα ATM δίκτυα, με προστιθέμενες λειτουργίες ασύρματης ζεύξης και εξειδικευμένης κινητικότητας με έναν συμβατό οπισθοδρομικό (backward) τρόπο. Η μόνη αλλαγή στα υψηλότερα στρώματα είναι ο εφοδιασμός των σχετικών με την κινητικότητα επεκτάσεων στα πρωτόκολλα σηματοδότησης / διευθυνσιοδότησης στο επίπεδο ελέγχου του ATM.

1.5.4 Η αρχιτεκτονική της ασύρματης διεπαφής

Όπως αναφερθήκαμε νωρίτερα το καθιερωμένο πρωτόκολλο του ATM χρειάζεται να αυξηθεί με στρώματα πρωτοκόλλου ασύρματης πρόσβασης για να χειριστεί ειδικές λειτουργίες ασύρματης ζεύξης, όπως ασύρματη μετάδοση και λήψη υψηλών ταχυτήτων, διαμοίραση του διαθέσιμου εύρους ζώνης ανάμεσα στους πολλαπλούς χρήστες, έλεγχο λαθών για να μειώσει τα αποτελέσματα των εξασθενίσεων του ασύρματου καναλιού και διαχείριση ασύρματων πόρων. Τα επίπεδα πρωτοκόλλου της ασύρματης πρόσβασης, τα οποία έχουν ενσωματωθεί στην στοίβα του πρότυπου πρωτοκόλλου του ATM είναι τα παρακάτω :

- Το **φυσικό ασύρματο στρώμα (Radio physical layer PHY)** παρέχει μια ασύρματη ζεύξη υψηλών ταχυτήτων.
- Ο **έλεγχος πρόσβασης μέσου (Medium access control MAC)**, για να μοιράσει το υπάρχον ασύρματο εύρος ζώνης ανάμεσα στους πολλαπλούς χρήστες με τέτοιο τρόπο ώστε να υποστηρίζονται οι καθιερωμένες κατηγορίες της ATM κίνησης (παράλληλα με τις εγγυήσεις τους της QoS) διατηρώντας υψηλή εκμετάλλευση του εύρους ζώνης συχνοτήτων.
- Ο **έλεγχος ζεύξης δεδομένων (Data Link Control DLC)**, για να παρέχει στις ATM υπηρεσίες ένα πρόσθετο επίπεδο προστασίας σφαλμάτων με σκοπό να μειώσει το αντιληπτό ρυθμό σφαλμάτων στην ασύρματη ζεύξη με έναν μηχανισμό ανάκτησης λαθών. Το DLC πρωτόκολλο θα πρέπει να εφαρμόζεται και σε κίνηση πραγματικού χρόνου και σε μη πραγματικού χρόνου, αλλά με τους αλγόριθμους ανάκτησης να προσαρμόζονται για να εξυπηρετήσουν τις απαιτήσεις του QoS κάθε μεμονωμένης σύνδεσης.
- **Ασύρματος έλεγχος**, ο οποίος θα υποστηρίζει τις λειτουργίες διαχείρισης των ασύρματων πόρων (π.χ. καταχώρηση όταν ένα κινητό τερματικό ενεργοποιηθεί, παρακολούθηση της ασύρματης ζεύξης, μετρήσεις της ισχύς του σήματος σε γειτονικά κανάλια, έλεγχο ισχύς του πομπού, κ.ά.).

1.5.4.1 Το ασύρματο φυσικό στρώμα

Το ασύρματο στρώμα PHY χωρίζεται στο **ασύρματο φυσικό υπόστρωμα που εξαρτάται από το μέσο μετάδοσης (Radio Physical Medium Dependent RPMD)**, το οποίο ορίζει τις χαμηλού επιπέδου λειτουργικές λεπτομέρειες της φυσικής διεπαφής, και

το **υπόστρωμα σύγκλησης της ασύρματης μετάδοσης (Radio Transmission Convergence RTC)**, το οποίο είναι υπεύθυνο για την δόμηση των πληροφοριών στην κατάλληλη τυποποίηση μετάδοσης.

Απαιτείται για το ασύρματο ATM ένα ασύρματο modem υψηλών ταχυτήτων, ικανό να παρέχει μέτρια αξιόπιστη μετάδοση σε μια ακτίνα 100 – 500 m για κινητούς χρήστες χαμηλών ταχυτήτων. Το modem θα πρέπει να παρέχει ριπές λειτουργίας με πολύ μικρές εισαγωγές έτσι ώστε οι επιπρόσθετες πληροφορίες που θα επιφέρει στο ασύρματο επίπεδο PHY να είναι λίγες. Τυπικοί στόχοι ρυθμού μετάδοσης bit είναι ~ 25 Mbps (με απαιτήσεις ρυθμού μετάδοσης bit ανά χρήστη περίπου ~ 6 Mbps για διατήρηση και 10 Mbps μέγιστο) με μια αναμενόμενη ζώνη λειτουργίας συχνοτήτων περίπου 20 – 25 MHz. Οι ασύρματες ATM συσκευές αναμένεται να λειτουργήσουν αρχικά στην ζώνη των 5 GHz U-NII στις Ηνωμένες Πολιτείες, στην ζώνη HIPERLAN στην Ευρώπη και στην ζώνη MMAC στην Ιαπωνία.

Όσον αφορά την κωδικοποίηση των δεδομένων μερικές μέθοδοι διαμόρφωσης που έχουν μελετηθεί για το ασύρματο στρώμα ATM PHY είναι η **ορθογωνική μεταλλαγή μετατόπισης φάσης (Quadrature Phase Shift Keying QPSK)¹³** / η **ορθογωνική διαμόρφωση πλάτους (Quadrature Amplitude modulation QAM)¹⁴** , η **Γκαουσιανή διαμόρφωση μεταλλαγής φάσης (Gaussian Modulation Shift Keying GMSK)¹⁵**, και η πολλαπλών φερόντων **ορθογωνική πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (Orthogonal Frequency Division Multiplexing OFDM)¹⁶**. Η επιτροπή ETSI BRAN (Hiperlan 2) του ερευνητικού έργου έχει αρχικά υιοθετήσει ένα 52-φέρον, με μια προσέγγιση 20-MHz OFDM και επιλέξιμους ρυθμούς μεταφοράς bit 6/9/12/18/27/36/54 Mbps. Η επιλογή του OFDM βασίστηκε στην σχετική του ευρωστία στις παρεμβολές και στην διασπορά, αν και παρόμοιες μέθοδοι ενός φέροντος έχουν δείξει ότι συμπεριφέρονται καλά (οι αποφάσεις της επιτροπής δεν έχουν φτάσει στην τελική τους επικύρωση).

Το υποεπίπεδο RTC καθορίζει πως είναι δομημένες οι πληροφορίες που μεταδίδονται στην ασύρματη ζεύξη. Τυπικές προτάσεις WATM RTC βασίζονται σε μια δομή πλαισίου

¹³ QPSK = Τεχνική διαμόρφωσης μετατόπισης φάσης του σήματος σε πολλαπλάσια του $\pi/2$ για την μετατροπή των ψηφιακών σημάτων σε αναλογικά σήματα, δηλ. το κάθε στοιχείο σήματος αντιπροσωπεύει δύο bit αντί για ένα.

¹⁴ QAM = Ένας συνδυασμός μεταλλαγής μετατόπισης φάσης και διαμόρφωσης πλάτους που χρησιμοποιείται συνήθως στα modem υψηλών συχνοτήτων.

¹⁵ GMSK=Ένα είδος συνεχόμενης μεταλλαγής μετατόπισης φάσης, όπου το τελικό σήμα έχει Γκαουσιανή μορφή. Χρησιμοποιείται στο GSM.

¹⁶ OFDM= Μια τεχνική μεταλλαγής μετατόπισης συχνότητας για την μετάδοση μεγάλων ποσοτήτων ψηφιακής πληροφορίας μέσω ασύρματης ζεύξης. Η OFDM χωρίζει το σήμα σε πολλαπλά μικρά υπο-σήματα και τα μεταδίδει ταυτόχρονα σε διαφορετικές συχνότητες στον δέκτη. Μειώνει την συνακρόαση και χρησιμοποιείται από το 802.11, 802.16 και τα WLANs.

TDMA/TDD¹⁷ με ένα πλαίσιο σταθερού μήκους (π.χ. $\sim 1-2$ ms) και σχισμές χρόνου ικανές για την μεταφορά n (= 6,8 κ.τ.λ.) bytes πληροφοριών . Μια ομάδα N πλαισίων (π.χ. $N = 8$) θεωρείται ότι αποτελεί ένα υπέρ-πλαίσιο που χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό του επιπέδου MAC και για τον ασύρματο έλεγχο λειτουργιών αδράνειας.

1.5.5 Ασύρματος έλεγχος

Το επίπεδο του ασύρματου ελέγχου χρησιμοποιείται για την υποστήριξη των λειτουργιών διαχείρισης των ασύρματων πόρων. Είναι υπεύθυνος για την καταχώρηση ενός MT στους Εξυπηρετητές Τοποθεσίας (Location Server (LS)) , για τις μετρήσεις και τον έλεγχο της ισχύος του σήματος ώστε να εξασφαλίζεται η ποιότητα της σύνδεσης.

1.5.5.1 Καταχώρηση

Όταν ένα κινητό τερματικό τροφοδοτείται, καταχωρείται στον σταθμό βάσης με το πιο ισχυρό σήμα στέλνοντας ένα πακέτο καταχώρησης. Ο σταθμός βάσης ανταποκρίνεται με μια απάντηση καταχώρησης που περιέχει το 16-bit αναγνωριστικό νούμερο του κινητού τερματικού. Το αναγνωριστικό νούμερο του κινητού τερματικού, το οποίο είναι μοναδικό εφόσον το κινητό τερματικό βρίσκεται μέσα στην περιοχή κάλυψης του τρέχοντος σταθμού βάσης, χρησιμοποιείται για να αναγνωρίζονται τα κινητά τερματικά στα πακέτα ελέγχου και για την άνω ζεύξη¹⁸ και για την κάτω ζεύξη¹⁹ .

1.5.5.2 Μετρήσεις Ισχύος

Απαιτείται το κινητό τερματικό να παρακολουθεί τα επίπεδα της ληφθείσας ισχύος στα γειτονικά κύτταρα ώστε να αποφασίσει εάν απαιτείται ένα Διαπομπή²⁰ και για να αποφασίσει τον στόχο σταθμό βάσης εάν απαιτείται μια διαπομπή. Ο σταθμός βάσης μπορεί να υποδείξει στο κινητό τερματικό (ή το αντίστροφο) εάν τα κινητά τερματικά θα μπορούσαν να παρακολουθήσουν την ποιότητα της ζεύξης σε γειτονικά κανάλια. Ο

¹⁷ TDMA/TDD = Time Division Multiple Access / Time Division Duplexing Μέθοδος πολυπλεξίας διαφορετικών ψηφιακών σημάτων στο ίδιο κανάλι διαιρώντας τον χρόνο αμφίδρομα.

¹⁸ Άνω ζεύξη = (Uplink) Όταν ο BS λαμβάνει σήμα από το MT.

¹⁹ Κάτω ζεύξη = (Downlink) Όταν το MT λαμβάνει σήμα από το BS.

²⁰ Διαπομπή = (Handoff ή Handover) Ορίζεται ως μια διαδικασία που λαμβάνει χώρο όταν ένα κινητό αλλάξει το τρέχον χρησιμοποιούμενο ασύρματο κανάλι της συχνότητας σε ένα άλλο ασύρματο κανάλι κατά την διάρκεια μιας υπάρχουσας και ενεργής ασύρματης σύνδεσης, με σκοπό να διατηρηθούν οι υπηρεσίες χωρίς διακοπή όταν οι κινητοί χρήστες κινούνται κατά μήκος ασυρμάτων περιοχών κάλυψης.

σταθμός βάσης, εάν είναι απαραίτητο, μπορεί επίσης να αιτήσει το κινητό τερματικό να μεταδώσει τα αποτελέσματα των μετρήσεων ισχύος στο σταθμό βάσης.

1.5.5.3 Έλεγχος Ισχύος

Ο σταθμός βάσης μπορεί να υποδείξει στο κινητό τερματικό την κατάσταση / ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος από το κινητό τερματικό. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το σταθμό βάσης / κινητό τερματικό για να προσαρμόσουν την ισχύ μετάδοσης στις ριπές άνω ζεύξης.

1.5.6 Η αρχιτεκτονική του MAC στρώματος

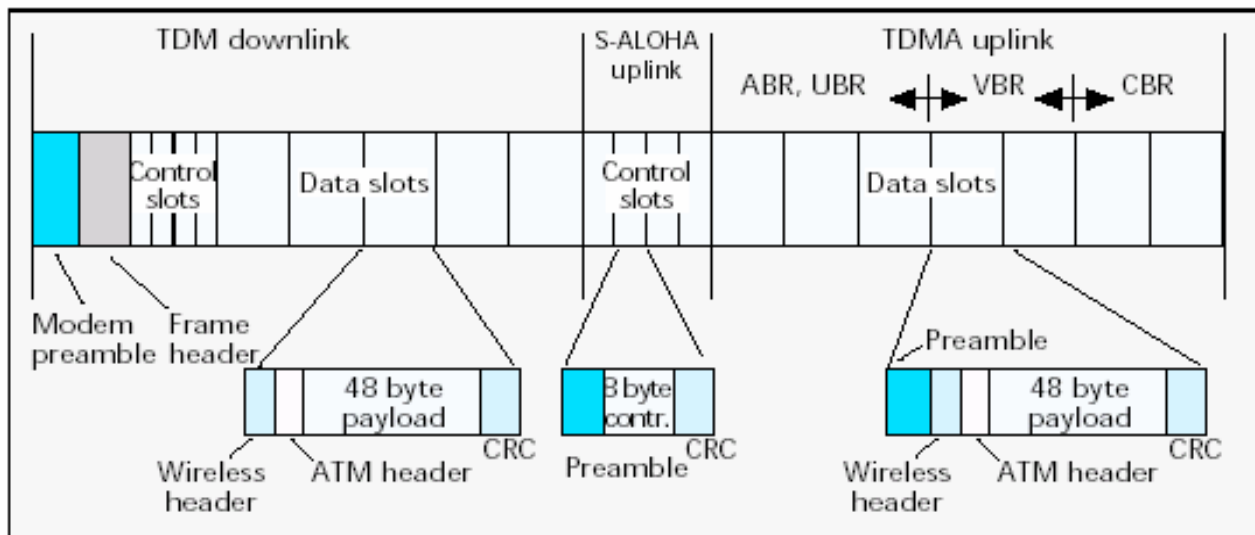
Το επίπεδο MAC στο ασύρματο ATM απαιτείται για να διαμοιράσει το διαθέσιμο ασύρματο εύρος ζώνης συχνοτήτων ανάμεσα στους πολλαπλούς διατηρούμενους χρήστες με τέτοιο τρόπο ώστε το εύρος ζώνης να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά και να υποστηριχθούν οι τυπικές ATM υπηρεσίες με τις συνδεόμενες QoS απαιτήσεις. Μερικές από τις τεχνικές που μελετούνται στην βιβλιογραφία περιλαμβάνουν τις TDMA/TDD, **κράτηση πακέτων πολλαπλής πρόσβασης (Packet reservation Multiple Access PRMA)**²¹ με επεκτάσεις, και **CDMA**²².

Οι περισσότερες προτάσεις για το ασύρματο ATM MAC βασίζονται στο δυναμικό TDMA/TDD πρωτόκολλο με υποστήριξη πολλαπλών τάξεων υπηρεσιών με QoS. Η κατανομή του εύρους ζώνης ελέγχεται από τον σταθμό βάσης, με περιορισμένο προγραμματισμένο έλεγχο για ριπές της άνω ζεύξης που συγκρατούνται από το κινητό τερματικό. Ο σταθμός βάσης δρομολογεί όλα τα πακέτα ελέγχου και τα κελιά πληροφοριών στην κάτω ζεύξη. Διανέμει σε κάθε κινητό τερματικό το προς το κινητό τερματικό εύρος ζώνης βασισμένο σε διαπραγματευόμενες συμβάσεις και τις τρέχουσες απαιτήσεις όπως αυτές αιτούνται από το κινητό τερματικό. Σε μια υλοποίηση κατανεμημένου ελέγχου, το MAC στρώμα στο κινητό τερματικό είναι υπεύθυνο για τον προγραμματισμό των πακέτων ελέγχου και / ή τα κελιά WATM στις ριπές της άνω ζεύξης. Είναι επίσης πιθανό να έχουμε μια περισσότερο συγκεντρωτική υλοποίηση στην οποία οι σχισμές του κάθε χρήστη του νοητού κυκλώματος (virtual circuit) ή των μηνυμάτων ελέγχου διανέμονται από τον ελεγκτή του σταθμού βάσης (base station controller).

²¹ PRMA=Μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης με μορφή πακέτων.

²²CDMA =Μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης με αντίκρουση φέροντος.

Η δομή του πλαισίου TDMA που είναι κατάλληλο για την παραπάνω τάξη του δυναμικού TDMA/TDD MAC πρωτοκόλλου φαίνεται στην εικόνα 7. Το πλαίσιο αποτελείται από μια ριπή από το τερματικό ακολουθούμενη από μια ή περισσότερες ριπές μετάδοσης προς το τερματικό. Στο τέλος του πλαισίου υπάρχει ένα τυχαίας-προσπέλασης κανάλι όπου μπορούν να εκπνευθούν μικρά πακέτα ελέγχου χρησιμοποιώντας ένα πρωτόκολλο τυχαίας-προσπέλασης όπως το ALOHA σχισμών²³ (slotted ALOHA S-ALOHA). Όλες οι πληροφορίες της κάτω ζεύξης, δηλ. από το σταθμό βάσης προς το κινητά τερματικά εκπέμπονται με μια ριπή. Η κάτω ζεύξη αποτελείται από τον συγχρονισμό του φυσικού στρώματος, ακολουθούμενο από ένα πλαίσιο επικεφαλίδα που περιέχει πληροφορίες μετάδοσης και για τον σταθμό βάσης και για το ιδιαίτερο TDMA πλαίσιο (π.χ. τοποθεσία και μέγεθος διαφορετικών υπο-πλαisiών). Ακολουθούν πληροφορίες ελέγχου κάτω ζεύξης και πληροφορίες δεδομένων κάτω ζεύξης για να ολοκληρωθεί η ριπή κάτω ζεύξης.



Εικόνα 9 Το ΠΕΡΙΓΡΑΦΜΑ ΕΝΟΣ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ TDMA / TDD ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΣΤΟ WATM MAC.

²³ S-ALOHA= Τεχνική ελέγχου πρόσβασης για μέσα πολλαπλής πρόσβασης με σχισμές- θυρούδες.

1.5.7 Ο MAC αλγόριθμος

Ο σταθμός βάσης είναι ο κύριος προγραμματιστής ο οποίος καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο το διαθέσιμο εύρος ζώνης διαμοιράζεται. Η κατανομή του εύρους ζώνης για τις μεταδόσεις άνω ζεύξης σηματοδοτείται με πακέτα κατανομής εύρους ζώνης που στέλνονται στο υπό-επίπεδο ελέγχου της κάτω ζεύξης. Οι αιτήσεις για εύρος ζώνης άνω ζεύξης στέλνονται από τα κινητά τερματικά, συνήθως ως μέρος των μεταδόσεων τους της άνω ζεύξης. Στην περίπτωση που το κινητό τερματικό είναι σε μη ενεργή κατάσταση (όλες οι συνδέσεις πληροφοριών είναι σε προσωρινή ανενεργή κατάσταση, ώστε το κινητό τερματικό δεν χρειάζεται να «ξυπνήσει» για να ακούσει για έλεγχο / πληροφορίες στη κάτω ζεύξη), τότε οι αιτήσεις για εύρος ζώνης θα μπορούσαν να στέλνονται στο κανάλι τυχαίας προσπέλασης.

Το MAC επίπεδο υποστηρίζει δυο κατηγορίες υπηρεσιών στην ασύρματη ζεύξη : **η μέθοδος του ρυθμού (rate mode)** , για συνδέσεις που έχουν μια ιδέα της χρήσης του ρυθμού του εύρους ζώνης, και **η μέθοδος των ριπών (burst mode)** , που κυρίως χρησιμοποιείται υπηρεσίες καλύτερων προσπαθειών. Όλες οι κατηγορίες κίνησης του επιπέδου του χρήστη χαρτογραφούνται ως μια ή ένας συνδυασμός των δυο παραπάνω κατηγοριών. Για παράδειγμα, ενώ μια σύνδεση συνεχούς ρυθμού δεδομένων μπορεί να χαρτογραφηθεί ως υπηρεσία της μεθόδου ρυθμού, μια σύνδεση διαθέσιμου ρυθμού bit μπορεί να χαρτογραφηθεί ως ένας συνδυασμός των δυο παραπάνω.

Η υπηρεσία του **τρόπου ρυθμού** επιπλέον χωρίζεται σε 2 υποκατηγορίες : εξασφαλισμένη και σε ζήτηση. Η πρώτη περιλαμβάνει το αυτό το μέρος του εύρους ζώνης των συνδέσεων που απαιτείται σε μια περιοδική και εξασφαλισμένη βάση [ολόκληρο το εύρος ζώνης μιας CBR σύνδεσης, π.χ. ή ο **ελάχιστος ρυθμός πακέτων (Minimun Cell Rate (MCR))** μιας ABR σύνδεσης]. Η υποκατηγορία « σε ζήτηση » θα περιλαμβάνει εκείνο το μέρος του εύρους ζώνης που δεν είναι εξασφαλισμένο. Κατανέμεται σε ζήτηση (συνήθως για ένα μικρό χρονικό διάστημα, για να καλύψει προσωρινό καταιγισμό όπως στην περίπτωση μιας VBR σύνδεσης όταν ο στιγμιαίος ρυθμός είναι υψηλότερος από αυτόν που υποστηρίζεται , υπό την προϋπόθεση των UPC περιορισμών) βασισμένη στην διαθεσιμότητα και άλλες εκρεμμείς απαιτήσεις.

Κατά την διάρκεια της εγκατάστασης της σύνδεσης για τις υπηρεσίες του τρόπου ρυθμού, τα επίπεδα MAC στο BS και το MT καταγράφουνε το εύρος ζώνης και τις QoS απαιτήσεις.

Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται από τον BSC για να διασφαλίσει ότι πληρούνται όλες οι εγγυημένες απαιτήσεις εύρους ζώνης. Όσον αφορά το κομμάτι του τρόπου «ζήτησης», το MT στέλνει σηματοδοσία **πακέτων αίτησης εύρους ζώνης (Bandwidth request packets (BRP))** είτε για την αύξηση είτε για την μείωση αυτού του κομματιού του εύρους ζώνης. Για τις συνδέσεις τρόπου καταιγισμού τα MT αθροίζουν τις απαιτήσεις εύρους ζώνης όλων των συνδέσεων και στέλνουν BRPs στο BS υποδηλώνοντας τις σύγχρονες απαιτήσεις τους.

Για την κίνηση κάτω ζεύξης, ο MAC προγραμματιστής του BS έχει τις πλήρεις πληροφορίες για την κατάσταση των προσωρινών καταχωρητών²⁴ (buffer) δεδομένων κάθε σύνδεσης. Στην κατεύθυνση της άνω ζεύξης, ο MAC προγραμματιστής του MT αθροίζει τις απαιτήσεις από τις μεμονωμένες συνδέσεις και στέλνει ένα BRP στο BS. Κατόπιν ο BS χρησιμοποιεί αυτές τις πληροφορίες και έναν αλγόριθμο προγραμματισμού για να καταλείψει το εύρος ζώνης ανάμεσα στις συνδέσεις στην κάτω ζεύξη και στα MTs στην άνω ζεύξη.

²⁴ Προσωρινός καταχωρητής (buffer)

1.6 Μορφή πακέτων WATM

1.6.1 Γενική μορφή των WATM Κελιών

Το σχήμα του ασύρματου ATM κελιού εναρμονίζεται με αυτό του πρότυπου ATM κελιού, το οποίο αυξάνεται με μια ασύρματη επικεφαλίδα και μία ασύρματη ουρά για να υποστηρίξει τα πρωτόκολλα ασύρματης πρόσβασης. Σε μια αντιπροσωπευτική υλοποίηση ενός δικτυακού συστήματος WATM, ένας **αριθμός ακολουθίας κελιού**²⁵ (**Cell Sequence Number CSN**) των 8-bit προστίθεται στην επικεφαλίδα, ενώ ένας **κυκλικός έλεγχος πλεονασμού**²⁶ (**Cyclic Redundancy Check CRC**) των 16-bit σχηματίζει την ασύρματη ουρά για ένα σύνολο των 56 byte ανά κελί σε μια ασύρματη ζεύξη. Προαιρετικά, το πεδίο **γενικού ελέγχου ροής**²⁷ (**Generic Flow Control GFC**) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη πρόσθετων χαρακτηριστικών της ασύρματης ζεύξης. Ο κυκλικός έλεγχος πλεονασμού χρησιμοποιείται για την ανίχνευση σφαλμάτων , ενώ ο αριθμός ακολουθίας κελιού χρησιμοποιείται για να αναγνωρίσει τα κελιά στα DLC **πακέτα επιβεβαίωσης λήψης** (**Acknowledgement Packets ACK**) για την ανάκτηση / αναμετάδοση χαμένων κελιών.

Ο οργανισμός ETSI BRAN σκέφτεται ένα εναλλακτικό μοντέλο βασισμένο σε κελιά 54 byte, καθένα με έναν αριθμό ακολουθίας των 10-bit, και ένα κυκλικός έλεγχος πλεονασμού των 24-bit, και μια συμπιεσμένη ATM (ή άλλο) ετικέτα του 1 byte.

Αριθμός Ακολουθίας Κελιού
Γενικός Έλεγχος Ροής
Κυκλικός Έλεγχος Πλεονασμού

Εικόνα 10 *ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΚΕΤΟΥ ΓΙΑ ΜΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΖΕΥΞΗ ΤΟΥ WATM., ΟΠΟΥ ΚΑΘΕ ΣΕΙΡΑ ΕΙΝΑΙ ΚΑΙ ΜΙΑ ΟΚΤΑΔΑ ΑΠΟ BIT*

²⁵CSN= Δυαδικός αναγνωριστικός αριθμός κελιού για να μπορούμε να επαληθεύσουμε αν όλα τα πακέτα έχουν μεταδοθεί σωστά.

²⁶ CRC=Κώδικας ανίχνευσης σφαλμάτων. Είναι το υπόλοιπο της διαίρεσης της ψηφιακής πληροφορίας, που πρόκειται να ελεγχθεί , με ένα προκαθορισμένο δυαδικό αριθμό.

²⁷ GFC=Χρησιμοποιείται για να βοηθήσει τον πελάτη στον έλεγχο ροής της κίνησης για διαφορετικά QoS

1.6.2 Πακέτα Ελέγχου

Κάθε επίπεδο πρωτοκόλλου στην στοίβα του WATM πρωτοκόλλου απαιτεί την χρήση πακέτων ελέγχου για να επικοινωνούν με τα ισοδύναμα τους στην άλλη άκρη της ασύρματης ζεύξης. Για παράδειγμα, τα επίπεδα Ελέγχου Πρόσβασης Μέσου στον σταθμό βάσης και τα κινητά τερματικά ανταλλάσσουν αιτήσεις εύρους ζώνης και πακέτα κατανομής εύρους ζώνης. Τα DLC επίπεδα ανταλλάσσουν ACK πακέτα. Σημειώστε ότι αυτά τα πακέτα ελέγχου χρησιμοποιούνται μόνο στα ασύρματα στρώματα πρωτοκόλλου και γι' αυτό δεν περνούν ποτέ στο επίπεδο δικτύου. Η διάταξη ενός γενικού πακέτου ελέγχου που χρησιμοποιείται στην ασύρματη ζεύξη σε μια αντιπροσωπευτική υλοποίηση ενός WATM δικτύου περιέχει το **πεδίο Τύπου (Type field)** που αναγνωρίζει τον τύπο του πακέτου ελέγχου. **Το πεδίο του αναγνωριστή του κινητού τερματικού / αναγνωριστή του νοητού καναλιού (mobile terminal identifier / virtual circuit identifier MTID/VCI)** περιέχει είτε το αναγνωριστικό νούμερο(ταυτότητα) ενός κινητού τερματικού ή ενός νοητού καναλιού ανάλογα τον τύπο του πακέτου ελέγχου. Για παράδειγμα, σε ένα ACK πακέτο, αυτό το πεδίο θα περιέχει το VCI της σύνδεσης για την οποία αυτό το πακέτο ACK σηματοδοτείται, ενώ ένα πακέτο αίτησης / διανομής εύρους ζώνης θα περιέχει τον αναγνωριστικό αριθμό του κινητού τερματικού. Όλα τα πακέτα ελέγχου προστατεύονται από ένα 16-bit CRC για την ανίχνευση σφαλμάτων.

Τα πακέτα ελέγχου στο πρότυπο του ETSI BRAN αποτελούνται από **στοιχεία πληροφορίας (Information Elements ((IE))** και ομάδες IE. Ένα IE έχει μήκος 8 byte και μια ομάδα IE αποτελείται από 3 IE και ένα 24-bit CRC, (έτσι αθροιστικά έχουμε 27 byte). Οι πληροφορίες ελέγχου πάντα μεταδίδονται σε ομάδες IE με ψεύτικα-κενά IE να χρησιμοποιούνται όταν δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες IE για να γεμίσουν την ομάδα. Ένα IE αποτελείται από μια IE σημαία (1 bit, για μελλοντική χρήση), ένα πεδίο 4-bit για τον τύπο του IE, και 59 bits για τις πληροφορίες του IE.

Τύπος		Rsr v	Τύπος		Rsrn	Ακολουθία κελιού		
Αναγνωριστής Τερματικού		Κινητού /	Αναγνωριστής Καναλιού			Γενικός Έλεγχος Ροής	Αναγνωριστής N.Μονοπατιού	
Αναγνωριστής Καναλιού		νοητού				Αναγνωρι- στής Νοητού Μονοπατι- ού	Αναγνωριστής N.Καναλιού	
Πληροφορίες του πακέτου		Ελέγχου	Αναφορά Κελιού		Ακολουθίας	Αναγνωριστής Νοητού Καναλιού		
			Εικόνα Αναγνώρισης			Αναγνωρι- στής Νοητού Καναλιού	Τύπος Ωφέλι- μου Φορτί- ου	Προτεραι- ότητα απώλεια ς Κελιού
Κυκλικός Πλεονασμού		Έλεγχος	Κυκλικός Πλεονασμού		Έλεγχος	Πεδίο Πληροφορίας (48 Bytes)		
						Κυκλικός Πλεονασμού		Έλεγχος
(α)			(β)			(γ)		

Εικόνα 11 ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΚΕΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΓΙΑ ΜΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΖΕΥΞΗ ΤΟΥ WATM (Α), ΠΑΚΕΤΟΥ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗΣ ΛΗΨΗΣ (Β) ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΤΟΥ WATM (Γ) ΟΠΟΥ ΚΑΘΕ ΣΕΙΡΑ ΕΙΝΑΙ ΚΑΙ ΜΙΑ ΟΚΤΑΔΑ ΑΠΟ ΒΙΤ.

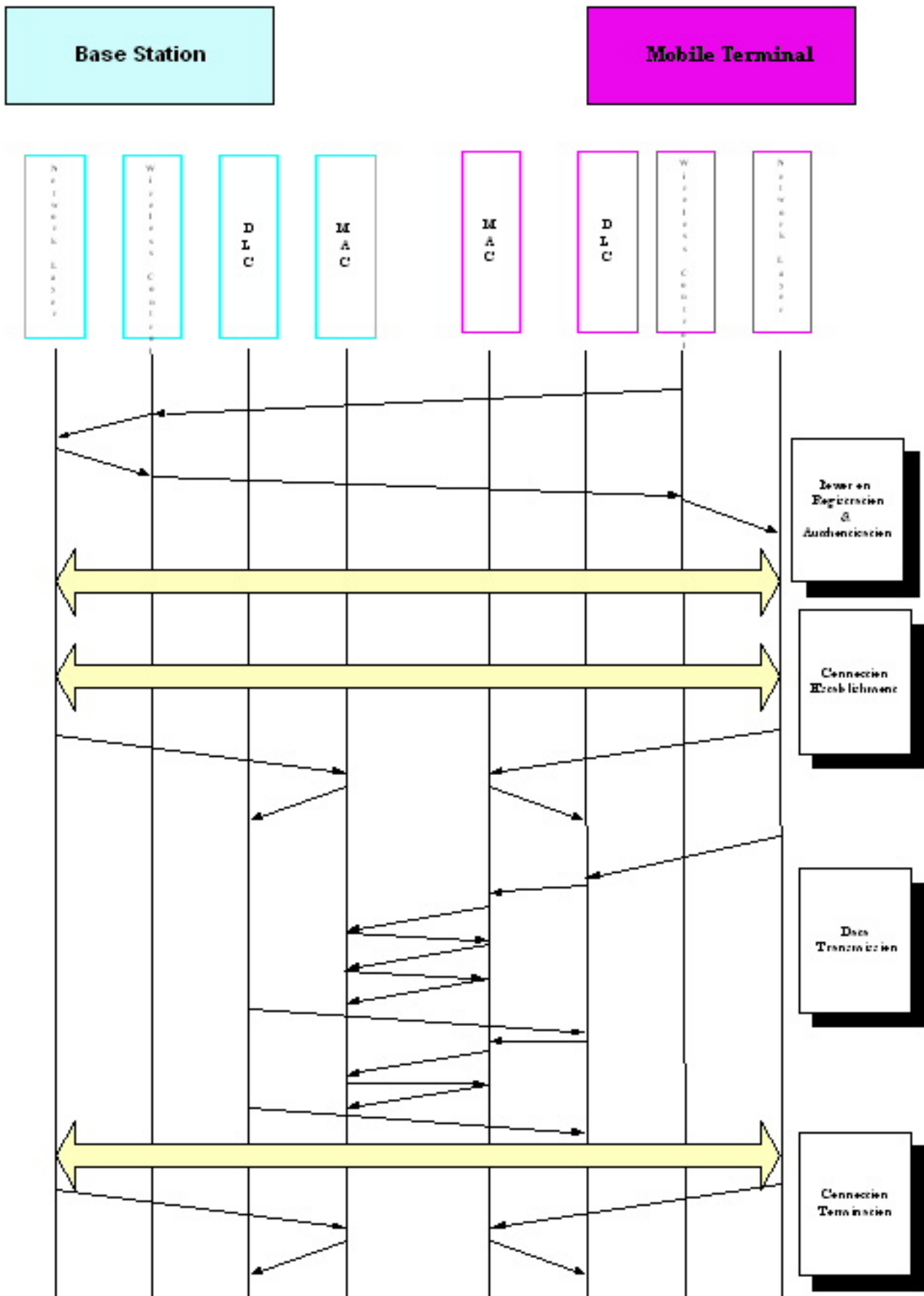
1.7 Έλεγχος ζεύξης δεδομένων

1.7.1 Ακολουθία σηματοδοσίας της ασύρματης ζεύξης

Η ολοκληρωμένη ακολουθία σηματοδοσίας έναρξης αποτελείται από τις ακόλουθες φάσεις :

- Τροφοδοσία, καταχώρηση, και πιστοποίηση

- **Αυτοδύναμη εκκίνηση του επιπέδου δικτύου**, που περιλαμβάνει την ίδρυση σηματοδοσίας των VC, ILMI, κ.α.
- **Ίδρυση της σύνδεσης**, περιλαμβάνοντας σηματοδοσία του ATM επιπέδου καθώς και MAC σηματοδοσία ελέγχου, όπως απαιτείται για την εκκίνηση των απαραίτητων QoS πόρων για κάθε VC
- **Η φάση της μεταφοράς δεδομένων**, περιλαμβάνοντας την απαραίτητη σηματοδοσία ελέγχου του MAC επιπέδου για δυναμική κατανομή των πόρων, του έλεγχου ζεύξης δεδομένων ACK / NACK, και ομοίων
- **Τερματισμός της φάσης της σύνδεσης**, απελευθέρωση των πόρων και του ασύρματου επιπέδου και του επιπέδου δικτύου.



Εικόνα 12 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑΣ ΤΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΖΕΥΞΗΣ.

1.8 Πρωτόκολλα διαχείρισης κινητικότητας

Επιτρέποντας την κινητικότητα των τελικών χρηστών στα ATM δίκτυα, προκύπτει το πρόβλημα της διαχείρισης της κινητικότητας, και συνεπώς, η διατήρηση των υπηρεσιών στις UNI συσκευές ανεξάρτητα από την τοποθεσία τους. Οι διαδικασίες της διαχείρισης της κινητικότητας που παρέχονται από το κινητό ATM δίκτυο περιλαμβάνουν :

- **Διαχείριση τοποθεσίας.** Αυτή καθιστά ικανή την μοναδική ταυτοποίηση του κινητού χρήστη και / ή του τερματικού, και την δρομολόγηση των συνδέσεων στο κινητό τερματικό ασχέτως της τοποθεσίας του. Απαιτηση κλειδί είναι ότι τα αντίστοιχα συστήματα δεν χρειάζεται να είναι ενήμερα της κινητικότητας ή της τωρινής τοποθεσίας του κινητού τερματικού.

- **Διαχείριση ασφαλείας.** Η πιστοποίηση των κινητών χρηστών (ή τερματικών) και η ίδρυση των κρυπτογραφικών διαδικασιών για ασφαλή επικοινωνία βασίζεται στο προφίλ του χρήστη (ή του τερματικού).

- **Διαχείριση υπηρεσιών.** Η διατήρηση των υπηρεσιών προέχει καθώς ο χρήστης (ή το τερματικό) περιπλανιέται ανάμεσα στα δίκτυα διαχειριζόμενο από διαφορετικές διαχειριστικές οντότητες. Η διαχείριση της ασφάλειας και των υπηρεσιών μπορεί να είναι ενσωματωμένες ως μέρος των διαδικασιών διαχείρισης τοποθεσίας.

1.8.1 Λειτουργικές οντότητες της διαχείρισης κινητικότητας

Η διαχείριση της τοποθεσίας βασίζεται στις μόνιμες και προσωρινές ATM διευθύνσεις. Μια μόνιμη ATM διεύθυνση είναι μιας σταθερής τοποθεσίας, μοναδική διεύθυνση προσδιορισμένη για κάθε κινητό τερματικό. Καθώς το κινητό τερματικό συνδέεται με διαφορετικά σημεία στο WATM δίκτυο, μπορούν να του προσδιοριστούν διαφορετικές προσωρινές ATM διευθύνσεις. Και οι μόνιμες και οι προσωρινές διευθύνσεις είναι κατευθυνόμενες διευθύνσεις. Η μόνιμη διεύθυνση διανέμεται από τον όγκο διευθύνσεων του τοπικού παροχέα υπηρεσιών ή το δίκτυο. Παρόμοια, η προσωρινή διεύθυνση διανέμεται από τον όγκο διευθύνσεων του επισκεπτόμενου δικτύου. Οι οντότητες του δικτύου που υλοποιούν τις λειτουργίες της διαχείρισης κινητικότητας είναι :

- **Εξυπηρετητής Τοποθεσίας (Location Server LS).** Αυτή η λογική οντότητα διατηρώντας την βάση δεδομένων των σχέσεων ανάμεσα στην ταυτότητα του χρήστη και των μονίμων και προσωρινών ATM εξουσιοδοτημένων πεδίων υπηρεσιών (ATM enabled

service areas AESAs) του αντίστοιχου κινητού τερματικού. Ο Εξυπηρετητής Τοποθεσίας μπορεί επίσης να κρατάει αρχεία συγκεκριμένων πληροφοριών υπηρεσιών για κάθε κινητό τερματικό εάν αυτή η δυνατότητα υλοποιείται.

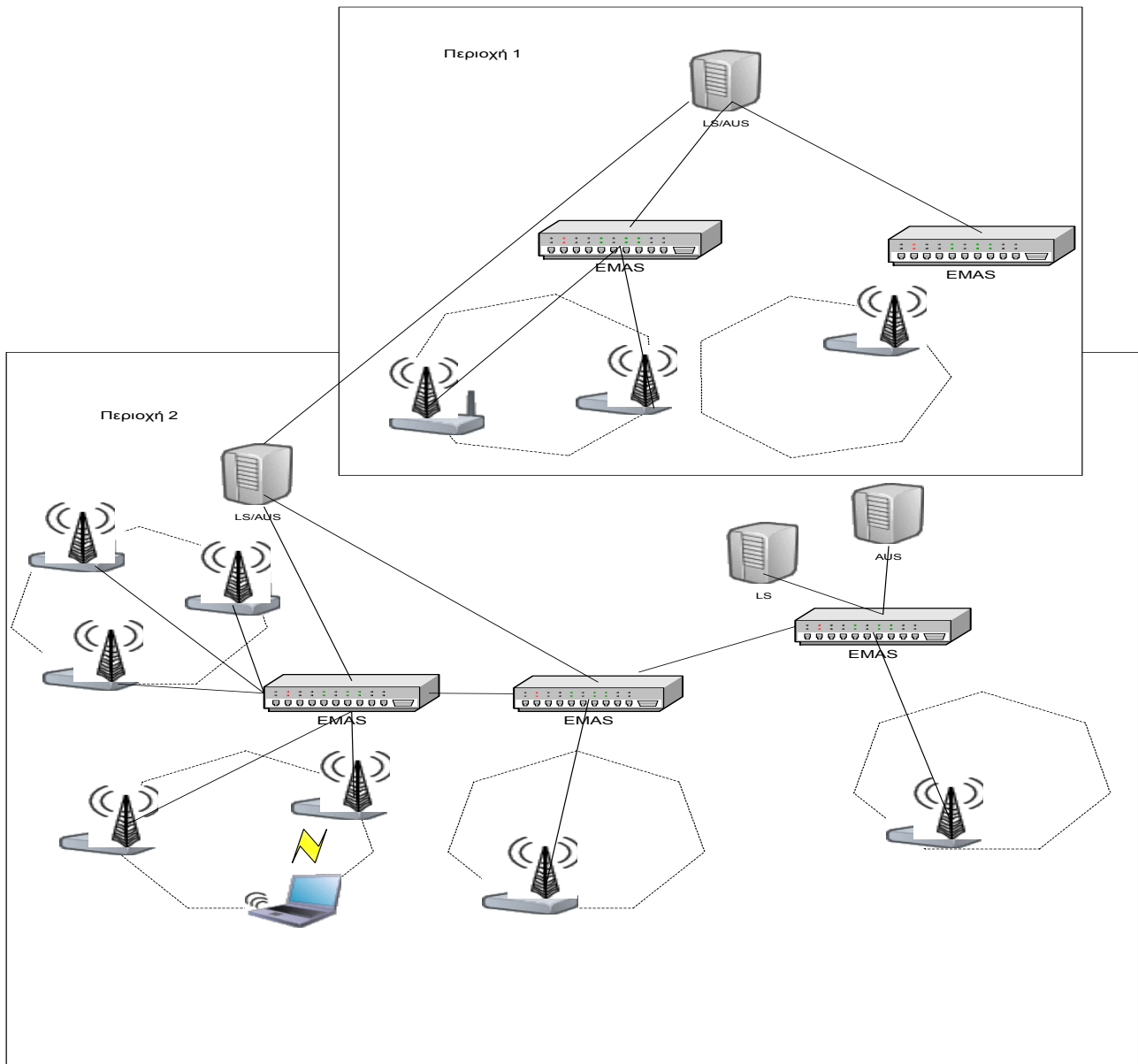
- **Εξυπηρετητής Πιστοποίησης** (Authentication Server AUS). Αυτή η λογική οντότητα διατηρώντας μια ασφαλής βάση δεδομένων πιστοποίησης και σχετικών με την μυστικότητα πληροφοριών του κάθε χρήστη. Ο Εξυπηρετητής Πιστοποίησης μπορεί υλικά να είναι μέρος του Εξυπηρετητής Τοποθεσίας,

- **Κινητό Τερματικό** (Mobile Terminal MT). Το κινητό τερματικό απαιτείται για να εκτελεί συγκεκριμένες λειτουργίες για να αρχικοποιήσει τις ενημερώσεις τοποθεσίας και να συμμετάσχει στην πιστοποίηση και πρωτόκολλα μυστικότητας.

- **Τελικό σύστημα ATM μεταγωγείς υποστηρίζοντας την κινητικότητα** (End-System Mobility-Supporting ATM Switch EMAS). Οι τελικοί ATM μεταγωγείς με υποστήριξη κινητικότητας απαιτούνται για να αναγνωρίζουν τα μηνύματα έναρξης σύνδεσης που προορίζονται για το κινητό Τερματικό και να βάζουν σε λειτουργία λειτουργίες αναλύσεων τοποθεσιών. Αυτοί οι μεταγωγείς με κινητικότητα, για παράδειγμα, θα μπορούσαν να είναι οι πύλες των EMAS σε ένα WATM δίκτυο. Τέτοιοι μεταγωγείς με στοιχεία κινητικότητας πρέπει να έχουν την ικανότητα να επανακατευθύνουν ένα μήνυμα ίδρυσης μιας σύνδεσης. Επιπλέον, κάθε ακριανός μεταγωγέας που υποστηρίζει την κινητικότητα πρέπει να είναι ικανός να διατηρεί μια τοπική μνήμη των διευθυνσιακών σχέσεων των κινητών Τερματικών.

1.8.2 Διαμόρφωση πληροφοριών

Η διαμόρφωση πληροφοριών της διαχείρισης κινητικότητας απεικονίζεται στην εικόνα 13. Ειδικότερα, η εικόνα δείχνει δυο εμπλουτισμένους με κινητικότητα ATM τομείς (mobility-enhanced ATM domain MATM), ο καθένας από τους οποίους έχει την δικιά του ομάδα οντοτήτων Εξυπηρετητών Τοποθεσίας και Εξυπηρετητών Πιστοποίησης. Ένας απλός τομέας μπορεί να έχει περισσότερες από έναν Εξυπηρετητή Τοποθεσίας ή Εξυπηρετητή Πιστοποίησης. Εναλλακτικά, μια μόνο οντότητα Εξυπηρετητή Τοποθεσίας ή Εξυπηρετητή Πιστοποίησης μπορεί να εξυπηρετεί έναν ολόκληρο τομέα. Υπάρχει μια χαρτογράφηση στα EMAS όπου επιτρέπει σε αυτά να αναζητούν το κατάλληλο Εξυπηρετητή Τοποθεσίας ή Εξυπηρετητή Πιστοποίησης όπως απορρέει από το δοσμένο αναγνωριστικό υπηρεσιών. Οι λειτουργικές διεπαφές ανάμεσα στις ποικίλες οντότητες φαίνονται στην εικόνα.



Εικόνα 13 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΤΟΥ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΑΤΜ.

1.8.3 Τοπική κινητικότητα και σενάρια περιαγωγής

Η διαμόρφωση πληροφοριών στην εικόνα 13 απεικονίζει την υποστήριξη των χρηστών και της κινητικότητας του τερματικού μέσα και διαμέσου ανεξάρτητα διαχειριζόμενων WATM δικτύων. Η υποστήριξη της κινητικότητας μέσα σε ένα απλό WATM τομέα δικτύου αναφέρεται ως τοπική υποστήριξη κινητικότητας. Τα ανεξάρτητα WATM δίκτυα μπορεί να συνδέονται μεταξύ τους μέσω μιας ραχοκοκαλιά σταθερών δικτύων κάνοντας δυνατό έτσι την κινητικότητα ευρείας περιοχής ή την περιαγωγή των κινητών τερματικών. Η υποστήριξη της περιαγωγής τυπικά περιλαμβάνει την υλοποίηση των συμφωνιών μεταξύ

των παροχέων για την περιαγωγή, τις μεθόδους για την απομακρυσμένη πιστοποίηση των χρηστών, λογιστική, και άλλα παρόμοια. Αυτές οι πτυχές δεν περιγράφονται εδώ, μόνο η διαχείριση τοποθεσίας για χρήστες που περιάγονται.

1.8.4 Απαιτήσεις Ασύρματου Επιπέδου για Περιοχές Διαχείρισης Εντοπισμού

Για να υλοποιήσουμε την διαχείριση εντοπισμού (Location Management LM) είναι αναγκαίο να ορίσουμε περιοχές εντοπισμού όπου υπάρχουν τομείς ραδιοκάλυψης με ένα κοινό ATM πρόθεμα δικτύου. Ένα κινητό τερματικό μέσα σε μια περιοχή εντοπισμού είναι αντιληπτό με μια προσωρινή ATM διεύθυνση της οποίας το πρόθεμα δικτύου είναι το ίδιο όπως αυτή της περιοχής εντοπισμού. Καθώς το κινητό τερματικό κινείται σε μια διαφορετική περιοχή εντοπισμού, η προσωρινή του διεύθυνση αλλάζει και απαιτείται μια ενημέρωση τοποθεσίας από το κινητό τερματικό προς το δίκτυο για να αλλάξει την συσχετισμένη διεύθυνση. Ο καθορισμός της τωρινής περιοχής εντοπισμού είναι μια λειτουργία που ολοκληρώνεται στο ασύρματο επίπεδο. Ειδικότερα, το ασύρματο δίκτυο εκμεταλλεύεται το κανάλι ελέγχου της κάτω ζεύξης για να μεταδώσει ειδικές πληροφορίες του συστήματος, όπως αναγνώριση δικτύου, πληροφορίες ελέγχου του κινητού τερματικού (έλεγχος ισχύος, έλεγχος πρόσβασης, κ.α.), και πληροφορίες της περιοχής εντοπισμού. Οι πληροφορίες για την περιοχή εντοπισμού πρέπει να είναι διαθέσιμες στο WATM επίπεδο.

1.8.4.1 Σελιδοποίηση

Στα κυψελωτά συστήματα, μια απλή περιοχή εντοπισμού μπορεί να αποτελείται από πολλαπλές περιοχές (ή κελιά) ασύρματης κάλυψης. Αφού η ακριβής τοποθεσία του κινητού τερματικού μέσα στην περιοχή εντοπισμού δεν είναι γνωστή, ένα ευρέως εκπεμπόμενο μήνυμα καταγραμμένου αρχείου πρέπει να σταλεί σε όλα τα κελιά της περιοχής εντοπισμού για να φτάσει στο κινητό τερματικό κατά την διάρκεια της έναρξης της κλήσης.

Υπάρχουν δυο πιθανότητες στα ασύρματα ATM συστήματα :

1.Κάθε EMAS-E ελέγχει μια μοναδική περιοχή εντοπισμού : Σε αυτή την περίπτωση, η ενημέρωση του εντοπισμού δεν θα εκτελείται εάν το κινητό τερματικό κινηθεί από ένα ATM σημείο σύνδεσης σε ένα άλλο που είναι συνδεδεμένο στο ίδιο EMAS-E. Έτσι, το

κινητό τερματικό πρέπει να καταγραφεί σε όλες τις πύλες του EMAS-E κατά την διακοπή από το κινητό της έναρξης κλήσης. Το κινητό τερματικό μπορεί να καταγραφεί χρησιμοποιώντας τους μοναδικούς του αναγνωριστές υπηρεσιών.

2. Κάθε περιοχή ραδιοκάλυψης θεωρείται μια μοναδική περιοχή εντοπισμού : Σε αυτή την περίπτωση, υπάρχει μια μοναδική περιοχή εντοπισμού που αντιστοιχεί σε κάθε WATM πύλη του EMAS-E.

1.8.5 Διαδικασίες Διαχείρισης Εντοπισμού και Αναγνωριστές Ροής Ελέγχου

Από την σκοπιά της διαχείρισης εντοπισμού, οι παρακάτω αναγνωριστές είναι σημαντικοί :

- **Αναγνωριστής Υπηρεσιών.** Αυτό αναγνωρίζει τον παροχέα υπηρεσιών της έδρας του χρήστη και αποδεικνύει μοναδικά την ταυτότητα του χρήστη στον παροχέα υπηρεσιών της έδρας του. Ο Αναγνωριστής υπηρεσιών μπορεί να είναι χαρτογραφημένος στις διευθύνσεις του LS και του AUS της έδρας κατά την διάρκεια της ενημέρωσης της τοποθεσίας και της πιστοποίησης.

- **Μόνιμη Διεύθυνση του Κινητού Τερματικού.** Αυτή είναι η μοναδική, ανεξάρτητη τοποθεσίας διεύθυνση του κινητού τερματικού. Αυτή η διεύθυνση εκχωρείται από τον όγκο διευθύνσεων του δικτύου της έδρας, και μπορεί να γίνει αντιληπτή από τους συνοριακούς μεταγωγείς του δικτύου ως μια κινητή διεύθυνση.

- **Προσωρινή Διεύθυνση του Κινητού Τερματικού.** Αυτή είναι η τρέχουσα διεύθυνση του κινητού τερματικού. Η προσωρινή διεύθυνση εκχωρείται από το EMAS-E όταν το κινητό τερματικό πρωτοσυνδέεται. Η προσωρινή διεύθυνση δεν χρειάζεται να μεταβιβαστεί στο κινητό τερματικό.

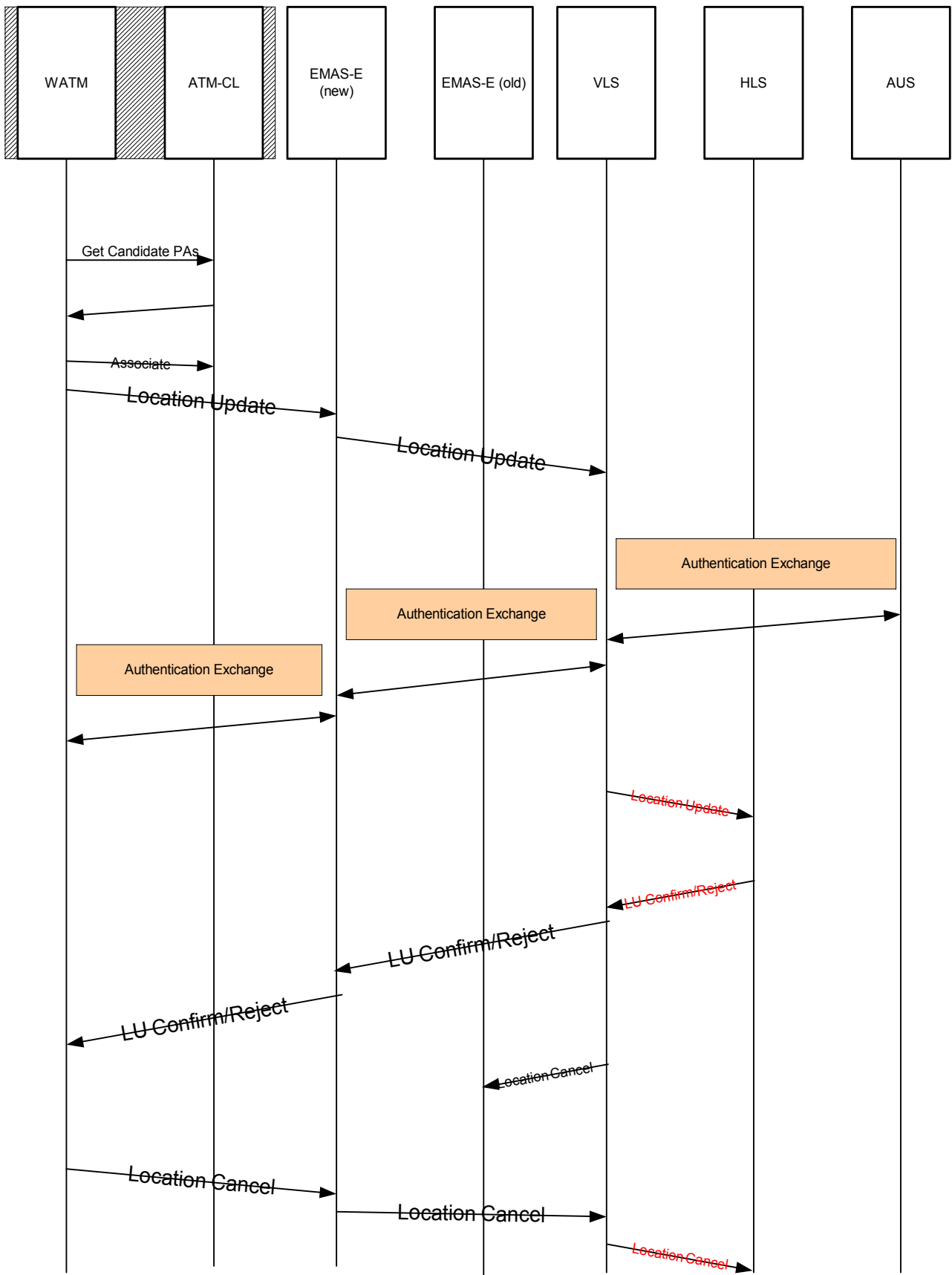
1.8.5.1 Ενημέρωση Τοποθεσίας.

Η ροή ελέγχου της ενημέρωσης τοποθεσίας (Location Update LU) απεικονίζεται στο σχήμα 14. Εδώ, το κινητό τερματικό στέλνει ένα μήνυμα ενημέρωσης τοποθεσίας στο δίκτυο όταν ανιχνεύσει μια αλλαγή στην περιοχή του εντοπισμού. Το μήνυμα ενημέρωσης τοποθεσίας κουβαλάει το αναγνωριστή υπηρεσιών, την μόνιμη ATM διεύθυνση του κινητού τερματικού και την προηγούμενη περιοχή εντοπισμού που επισκέφθηκε το κινητό τερματικό. Το EMAS-E αφού λάβει το μήνυμα ενημέρωσης τοποθεσίας εκτελεί μια διαδικασία για την ενημέρωση των μεταγωγέων τοποθεσίας με τις τρέχουσες πληροφορίες

για την θέση του κινητού τερματικού. Βασικά, η διαδικασία της ενημέρωσης τοποθεσίας αποτελείται από την ανάρτηση ενός τοπικού πίνακα καταχωρήσεων με τις μόνιμες AESA του κινητού τερματικού και τις τρέχουσες ATM διευθύνσεις και μετά ενημερώνει το επισκεπτόμενο LS. Στο επισκεπτόμενο LS, οι ταυτότητες των κινητών τερματικών πιστοποιούνται κατά την πρώτη τους τέτοια πρόσβαση και εξετάζεται ο αναγνωριστής υπηρεσιών για να αποφασιστεί εάν το κινητό τερματικό είναι έγκυρο περιαγωγής. Ανάλογα τα αποτελέσματα της εγκυρότητας, ένα μήνυμα « Επιβεβαίωση LU » ή « Απόρριψη LU » στέλνεται πίσω στο κινητό τερματικό, ενώ δημιουργείται μια νέα ή τροποποιημένη καταχώρηση για αυτό το κινητό. Εάν το κινητό τερματικό είναι κινητό σε περιαγωγή, μια αντίστοιχη ενημέρωση τοποθεσίας επίσης στέλνεται και στο LS της έδρας του.

Έτσι, η ενημέρωση της τοποθεσίας είναι ιεραρχική. Στο LS της έδρας, δημιουργείται μια νέα ή τροποποιημένη καταχώρηση για το κινητό τερματικό, με τον αναγνωριστή υπηρεσιών, την μόνιμη διεύθυνση, και την διεύθυνση του επισκεπτόμενου δικτύου. Μια « Επιβεβαίωση LU » επίσης στέλνεται στο LS από το οποίο δέχθηκε το μήνυμα ενημέρωσης τοποθεσίας.

Όταν το κινητό τερματικό απενεργοποιείται, απαιτείται να σταλεί ένα μήνυμα «Ακύρωσης τοποθεσίας» στο EMAS-E στο οποίο την τοποθεσία το τερματικό βρίσκεται. Τότε το EMAS-E διαγράφει την την τοπική πληροφορία θέσης και επίσης στέλνει στο επισκεπτόμενο LS το μήνυμα «Ακύρωσης τοποθεσίας». Το επισκεπτόμενο LS τότε στέλνει στο LS της έδρας το μήνυμα «Ακύρωσης τοποθεσίας» , εάν το κινητό τερματικό είναι ένα τερματικό σε περιαγωγή.



Εικόνα 14 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΡΟΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗΣ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ.

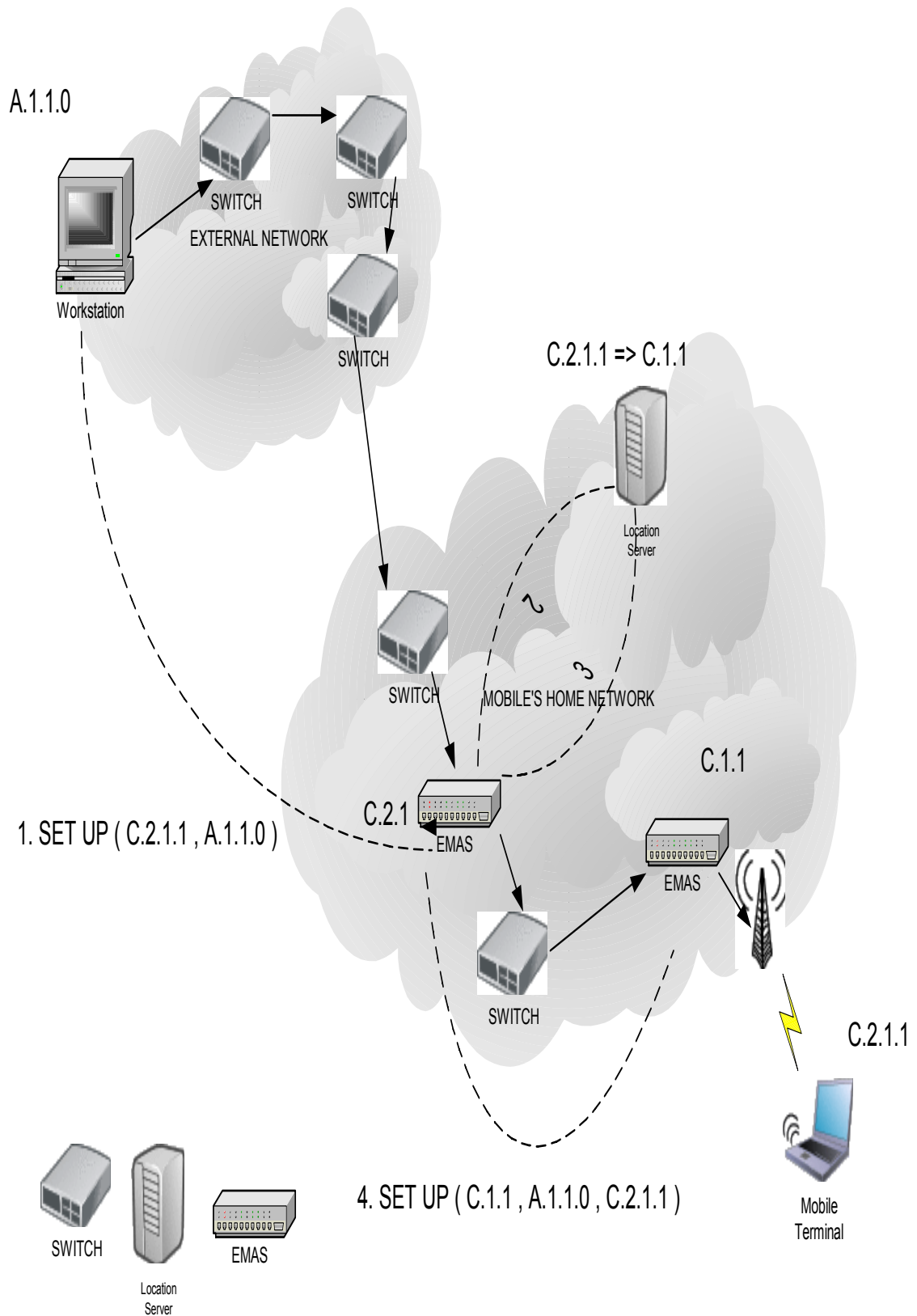
Μόνο για την πρώτη ενημέρωση τοποθεσίας που αρχικοποιείται από το κινητό τερματικό. Με κόκκινο χρώμα αφορά τα κινητά τερματικά που κάνουν περιαγωγή.

1.8.5.2 Πιστοποίηση Χρήστη

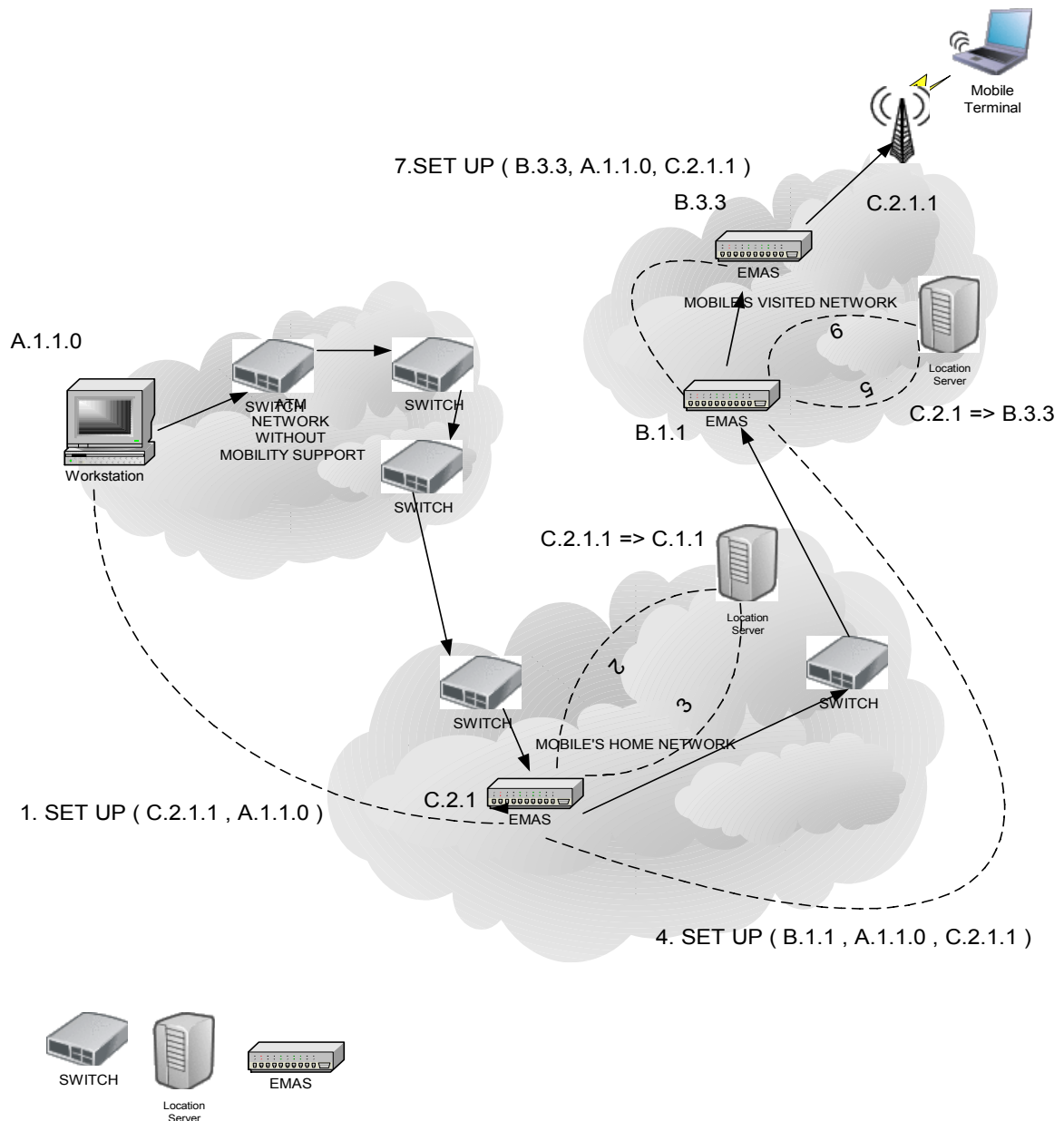
Η πιστοποίηση του χρήστη, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 14, διεξάγεται κατά την διάρκεια της ενημέρωσης τοποθεσίας. Οι διαδικασίες πιστοποίησης εκτελούνται ανάμεσα στο κινητό τερματικό και το EMAS-E, το EMAS-E και το επισκεπτόμενο LS, και για τα κινητά σε περιαγωγή, ανάμεσα στον επισκεπτόμενο εξυπηρετητή τοποθεσίας (Visitor Location Server VLS) και τον εξυπηρετητή τοποθεσίας της έδρας (Home Location Server HLS).

1.8.6 Δρομολόγηση Σύνδεσης, Άντληση Πληροφοριών Τοποθεσίας και Επαναδρομολόγηση

Ο τρόπος με τον οποίο δρομολογείται μια σύνδεση τερματισμένη από το κινητό, εξαρτάται από το εάν το κινητό τερματικό βρίσκεται στο δίκτυο της έδρας του ή εάν έχει κάνει περιαγωγή, και από πού προέρχεται η έναρξη της σύνδεσης. Η εικόνα 15 δείχνει την περίπτωση ενός κινητού τερματικού στο δίκτυο της έδρας του, με την έναρξη της σύνδεσης του να προέρχεται από ένα εξωτερικό δίκτυο. Η έναρξη της σύνδεσης δρομολογείται στην μόνιμη διεύθυνση του κινητού τερματικού, η οποία δηλώνεται ως C.2.1.1 (βήμα 1). Υποθέτουμε ότι η μόνιμη διεύθυνση σχετίζεται με ένα συγκεκριμένο EMAS-E στο δίκτυο της έδρας. Αυτό το EMAS-E στέλνει τις πληροφορίες τοποθεσίας στο κατάλληλο LS (βήμα 2). Το LS επιστρέφει την τωρινή διεύθυνση του κινητού τερματικού (C.1.1, βήμα 3) και ο μεταγωγέας ξαναδρομολογεί την έναρξη της σύνδεσης σε αυτή την διεύθυνση (βήμα 4). Αυτό το μήνυμα κουβαλάει ένα IE που δηλώνει το μόνιμο AESA του κινητού τερματικού (το οποίο επίσης υποδηλώνει ότι ο καλών συμμετοχος είναι κινητός). Στην τοπολογία που φαίνεται, αυτή η επανακατεύθυνση δεν καταλήγει σε ένα μη καταλληλότερο μονοπάτι, αλλά γενικά δεν είναι αυτή η περίπτωση. Επίσης, η δρομολόγηση της εγκατάστασης της σύνδεσης που προέρχεται από το ενός της έδρας δίκτυο είναι παρόμοια. Τελικά, σε αυτό το παράδειγμα, ο συνοριακός μεταγωγέας στο δίκτυο της έδρας θα μπορούσε να κάνει την ανάλυση της τοποθεσίας αν ήταν EMAS και οι διευθύνσεις των κινητών τερματικών εκχωρήθηκαν από μια ξεχωριστό όγκο διεύθυνσης γνωστό ως EMASs.



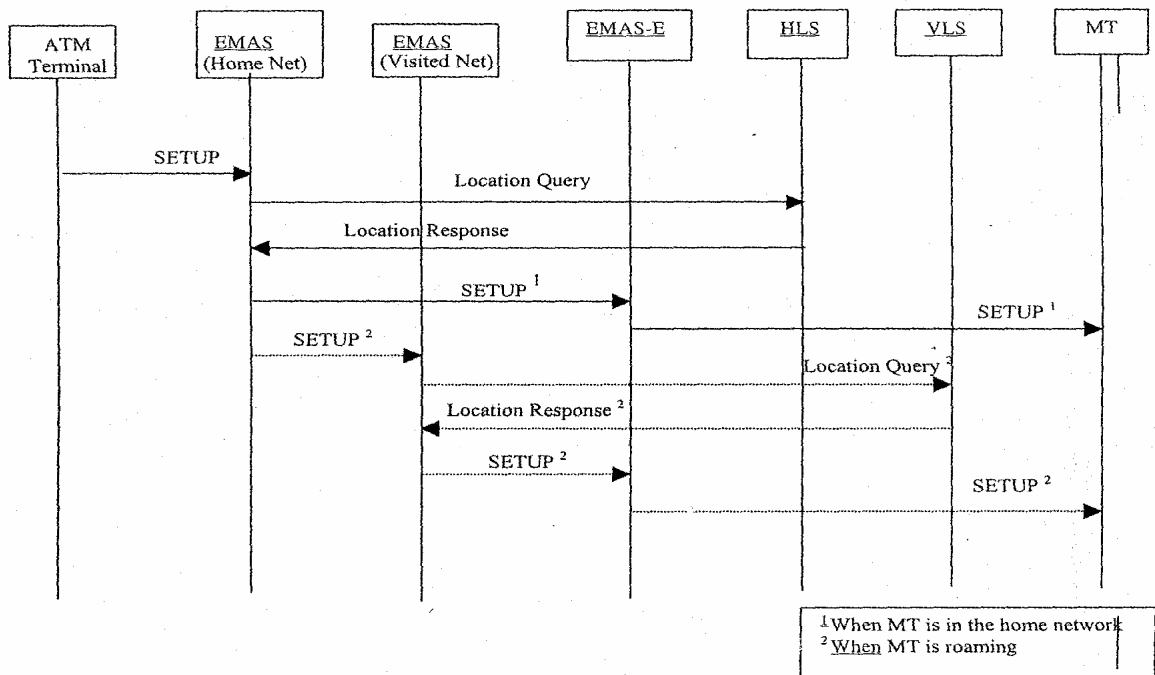
Εικόνα 15 ΈΝΑΡΞΗ ΚΛΗΣΗΣ ΟΤΑΝ ΤΟ ΚΙΝΗΤΟ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΕΙΝΑΙ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ ΕΔΡΑΣ ΤΟΥ.



Εικόνα 16 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΛΗΣΗΣ ΟΤΑΝ ΤΟ ΚΙΝΗΤΟ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΕΙΝΑΙ ΣΕ ΕΠΙΣΚΕΠΤΟΜΕΝΟ ΔΙΚΤΥΟ.

Η εικόνα 16 απεικονίζει την περίπτωση όπου το κινητό τερματικό βρίσκεται σε ένα εξωτερικό δίκτυο (σενάριο περιαγωγής). Όπως πριν, η έναρξη της σύνδεσης δρομολογείται από το EMAS της έδρας (βήμα 1), το οποίο αποφασίζει ότι η τρέχουσα διεύθυνση του κινητού τερματικού είναι B.1.1 (βήματα 2 και 3). Η έναρξη της σύνδεσης μετά επαναδρομολογείται στην τρέχουσα θέση του κινητού τερματικού (βήμα 4). Αυτό το μήνυμα περιλαμβάνει ένα IE που δείχνει την μόνιμη AESA του κινητού τερματικού. Αφού λάβει αυτό το μήνυμα, η πύλη στο επισκεπτόμενο δίκτυο αναγνωρίζει ότι ο καλών

συμμέτοχος είναι ένα κινητό σε περιαγωγή και αντλεί πληροφορίες από το LS για να λάβει την ακριβή θέση του κινητού τερματικού (βήματα 5 και 6). Τελικά, η έναρξη της σύνδεσης επαναδρομολογείται στην τρέχουσα θέση του κινητού τερματικού (βήμα 7). Στην εικόνα 17 συνοψίζεται η ροή ελέγχου για την έναρξη μιας κλήσης που έχει τερματιστεί από το κινητό. Η απόκριση της θέσης μπορεί να δηλώνει την αδυναμία του LS να βρει τις αναζητούμενες πληροφορίες (π.χ. ακύρωση τοποθεσίας).



Εικόνα 17 Η ΡΟΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΜΙΑΣ ΚΛΗΣΗΣ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΤΕΡΜΑΤΙΣΤΕΙ ΑΠΟ ΤΟ ΚΙΝΗΤΟ

1.9 ΈΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ QoS ΣΤΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ ATM

Η υποστήριξη της ποιότητας των υπηρεσιών (QoS) στο ασύρματο ATM περιλαμβάνει ποικίλες υποθέσεις πέρα από εκείνες που απευθύνονται στο προηγούμενο έργο των συμβατικών ATM δικτύων. Συγκεκριμένα, ο έλεγχος του QoS σε ένα ATM σενάριο πρέπει να επεξεργάζεται τα παρακάτω επιπλέον θέματα :

Πιθανώς περιορισμένο εύρος ζώνης στο διαμειραζόμενο μέσο πρόσβασης της ασύρματης ζεύξης.

Τις διακυμάνσεις της ασύρματης πρόσβασης της ζεύξης και των συνθηκών της κίνησης του δικτύου του πυρήνα κατά την διάρκεια των handoff / επαναδρομολογήσεων των μονοπατιών που συνδέονται με την κινητικότητα των τερματικών.

Η αυξανόμενη ετερογένεια σε σχέση με την απεικόνιση, την έξοδο, και τους υπολογιστικούς περιορισμούς των κινητών τερματικών [laptops, personal digital assistants (PDA), τηλέφωνα, κ.τ.λ.]

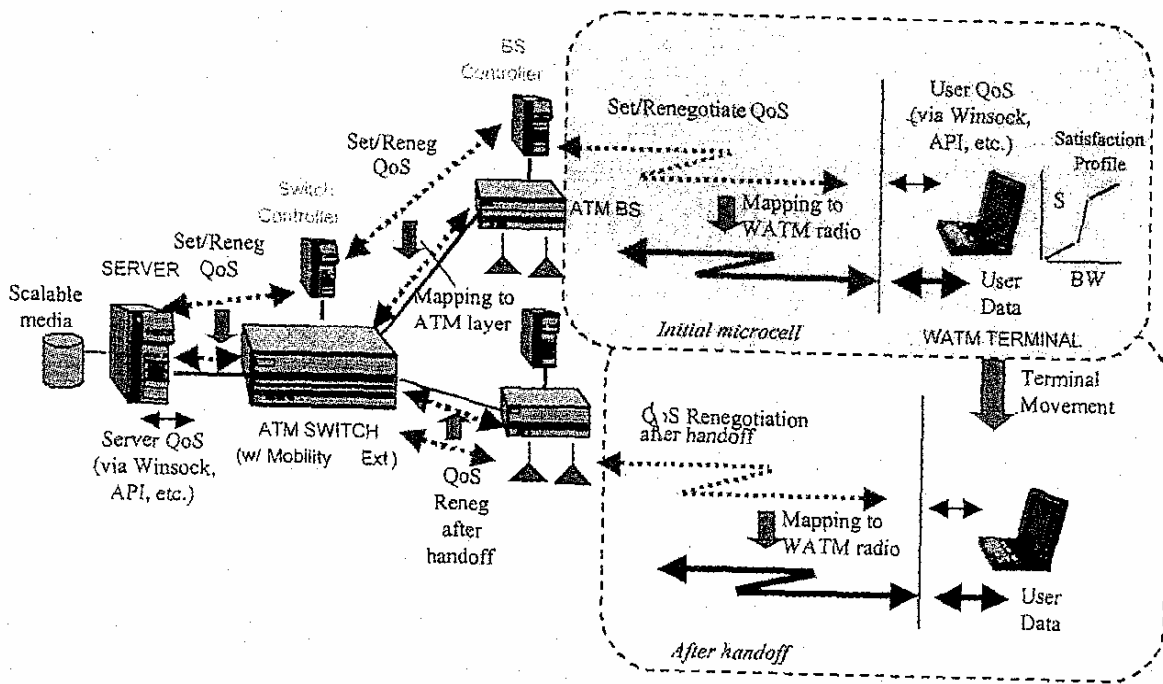
Οι παραπάνω παράγοντες υποδηλώνουν την ανάγκη για ένα δυνατό και κλιμακωτό πλαίσιο QoS, το οποίο θα επιτρέπει κάποιο βαθμό παραλλαγών στην διανεμημένη ποιότητα υπηρεσιών κατά την διάρκεια μιας σύνδεσης. Ένα τέτοιο πλαίσιο ελέγχου «Soft QoS» έχει προταθεί στο περιβάλλον των μη κινητών ATM και των IP δικτύων, ως ένα πρακτικό μέσο για την επίτευξη υψηλών κερδών στατιστικής πολυπλεξίας με μη σταθερά πολυμέσα και κίνηση video. Αυτή η προσέγγιση βασίζεται στην έννοια της τάξης υπηρεσιών «VBR+», η οποία επιτρέπει την δυναμική επαναδιαπραγμάτευση των τιμών των παραμέτρων ελέγχου της χρήσης κατά την διάρκεια μιας σύνδεσης. Το απορρέων πλαίσιο για το QoS πλαίσιο από άκρη σε άκρη για το WATM δίκτυο απεικονίζεται στην εικόνα _ _.

1.9.1 Το μοντέλο «soft QoS»

Έχει παρατηρηθεί ότι το μοντέλο του QoS στην εικόνα 18 απαιτεί κάποιο βαθμό κλιμάκωσης των εφαρμογών για να μπορεί να λειτουργεί σθεναρά κάτω από ποικίλες συνθήκες. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί εάν οι εφαρμογές είναι σχεδιασμένες για να παρουσιάσουν «soft» ικανοποίηση του χρήστη ενάντια των τυπικών προφίλ ρυθμών bit των «S-καμπυλών». Πολλές πηγές μέσω πραγματικού χρόνου (περιλαμβάνοντας το συμπιεσμένο ήχο και video) έχουν δείξει ότι παρουσιάζουν ένα τέτοιο μαλακό υποβιβασμό, έτσι ώστε η αρχή μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις περισσότερες πρακτικές περιπτώσεις. Από την στιγμή που θα βρεθεί μια S-καμπύλη για το συστατικό της εφαρμογής , είναι δυνατό να σχεδιάσουμε στις οντότητες του δικτύου έναν ελεγκτή του QoS, ο οποίος θα λαμβάνει υπ' όψιν του ειδικές παραμέτρους όπως ένα « δείκτη ελάχιστης ικανοποίησης » για να

διανέμει το εύρος ζώνης ανάμεσα στις ενεργές συνδέσεις, και για να μπλοκάρει τις αιτήσεις των νέων συνδέσεων όταν αναμένεται συμφόρηση.

Μέσα στα στοιχεία του δικτύου, ένας μηχανισμός ελέγχου «soft-QoS» κάνει χρήση των συμμορφώσιμων προφίλ για να διανείμει το εύρος ζώνης ενώ διατηρεί μια ομοιόμορφη ικανοποίηση ανάμεσα στις διατηρούμενες εφαρμογές. Τα δύο συστατικά κλειδιά του πλαισίου ελέγχου του «soft-QoS» είναι : η δυναμική διαμοίραση του εύρους ζώνης και ο έλεγχος εισόδου κλήσεων (Call Admission Control CAC). Η δυναμική διαμοίραση εύρους ζώνης χρησιμοποιείται για να ταιριάξει τις ποικίλες απαιτήσεις του ρυθμού bit των εφαρμογών πολυμέσων με τους υπάρχοντες πόρους του δικτύου ενώ η σύνδεση είναι ενεργή. Το CAC ελέγχει την διαθεσιμότητα των πόρων μέσα στην περιοχή κάλυψης την στιγμή της ίδρυσης της σύνδεσης. Μια νέα σύνδεση γίνεται αποδεκτή εάν είναι διαθέσιμοι οι επαρκείς πόροι για την λειτουργία της σύνδεσης μέσα στις εξειδικευμένες παραμέτρους του συμβολαίου υπηρεσιών, αλλιώς μπλοκάρεται.



Εικόνα 18 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΔΙΑΜΟΙΡΑΣΗ ΤΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ

Η δυναμική διαμοίραση του εύρους ζώνης χρησιμοποιείται μέσα σε κάθε ασύρματη ATM μικροκυψέλη για να διατηρήσει την υψηλή χρήση ενώ παρέχει τις εγγυήσεις του soft QoS. Τα κινητά τερματικά μπορούν να στείλουν σήμα στο σταθμό βάσης για να απαιτήσουν μια

διανομή του εύρους ζώνης κατάλληλη για τις ανάγκες της κυκλοφορίας τους. Επιπλέον, οι σταθμοί βάσης μπορούν να χρησιμοποιήσουν έναν αλγόριθμο επαναδιανομής του εύρους ζώνης για να εκχωρήσουν εκ νέου το εύρος ζώνης ανάμεσα στις ενεργές συνδέσεις όταν συμβαίνει συμφόρηση ` οι συνδέσεις που έχουν τον μέγιστο δείκτη ικανοποίησης επιλέγονται ως πρωταρχικοί υποψήφιοι από τους οποίους θα ληφθεί το εύρος ζώνης για να μεγιστοποιήσουμε τον ελάχιστο δείκτη ικανοποίησης όλων των ενεργών συνδέσεων. Χρησιμοποιείται ένας επαναληπτικός αλγόριθμος, βασισμένος στο συμμορφώσιμο προφίλ των ενεργών συνδέσεων για να καθορίσει πόσο περισσότερο εύρος ζώνης θα επαναδιανοίμει από κάθε σύνδεση για να διατηρήσει την ικανοποίηση των ενεργών συνδέσεων πάνω από το ελάχιστο.

Το overhead του μηνύματος και οι απαιτήσεις της διαδικασίας της δυναμικής διαμοίρασης του εύρους ζώνης έχουν μελετηθεί μέσω εξομοίωσης. Για παράδειγμα, με 10 ενεργές συνδέσεις σε ένα σταθμό βάσης, καθμία με εύρος ζώνης 0,5 και 2 Mbps , καταλήγει σε χρησιμοποίηση 0,6 μέσα σε μια WATM μικροκυψέλη των 25-Mbps, ενώ ο ρυθμός διαπραγμάτευσης του εύρους ζώνης είναι 4 σήματα /λεπτό /σύνδεση, ή 40 αιτήσεις /λεπτό /κυψέλη. Το αντίκτυπο της δυναμικής διαμοίρασης του εύρους ζώνης στο QoS, στατιστικά γίνεται αντιληπτό από το χαμηλό ρυθμό ικανοποίησης (Low Satisfaction Rate (LSR)) και την μέση διάρκεια της χαμηλής ικανοποίησης (Low Satisfaction Mean Duration (LSMD)). Το LSR δείχνει την πιθανότητα στην οποία η διαμοίραση του εύρους ζώνης γίνεται ανεπαρκής στην κάλυψη του συμβολαίου του QoS (π.χ. η ικανοποίηση πέφτει κάτω από το ελάχιστο το οποίο διευκρινίζεται στο softness προφίλ . Το LSMD δείχνει την αναμενόμενη διάρκεια της ποιότητας outage. Για χρήση 0,6, LSR=5% και LSMD=3 s. Τέτοιες παράμετροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθορίσουν την συμφωνία επιπέδου υπηρεσιών (Service-Level Agreement (SLA)) για πολυμέσα σε ένα σύστημα WATM. Για χρήση περίπου του 60 % του δικτύου, το SLA θα καθοριστεί πιθανότητα μπλοκαρίσματος 30% με 95% ρυθμό επιτυχίας για επαναδιαπραγμάτευση του εύρους ζώνης ` η αποτυχία της επαναδιαπραγμάτευσης του εύρους ζώνης θα έχει ως αποτέλεσμα ένα μέσο όρο των 3 s κάτω από το ελάχιστο QoS.

1.9.2 Έλεγχος εισόδου κινητών κλήσεων

Στα ασύρματα δίκτυα ευρείας ζώνης, το αντίκτυπο ίδρυσης μιας νέας σύνδεσης σε άλλες ήδη συνδεδεμένες συνδέσεις εξαρτάται όχι μόνο από τον περιγραφητή της κίνησης των

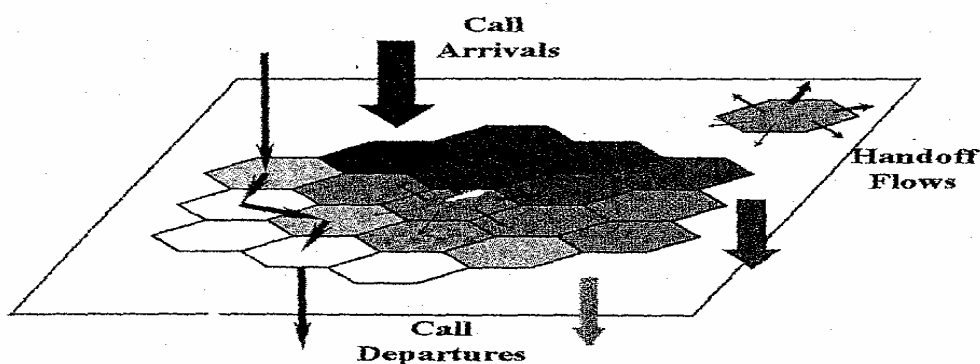
συνδέσεων και τις προβλέψεις του QoS, αλλά επίσης από την κινητικότητα των τερματικών. Σε αυτό το σενάριο, οι εγγυήσεις του QoS μπορούν να παραβιαστούν από ένα handoff σε μια άλλη ασύρματη κυψέλη ακόμη και εάν χρησιμοποιήθηκε ένας κατάλληλος CAC μηχανισμός μέσα στην κυψέλη όπου αρχικοποιήθηκε η σύνδεση. Επιπλέον, εάν το εύρος ζώνης είναι διαθέσιμο μόνο στην κυψέλη όπου αρχικοποιήθηκε η σύνδεση το QoS της συνόδου δεν μπορεί να εγγυηθεί. Ως μια πιθανή λύση έχει προταθεί η διάθεση επιπλέον εύρους ζώνης σε όλες τις γειτονικές ασύρματες κυψέλες, αλλά αυτό μπορεί να μην είναι πρακτικό εξαιτίας μιας αντίστοιχης μείωσης στην αποδοτικότητα από έναν παράγοντα ίσο με τον αριθμό επαναχρησιμοποίησης της συχνότητας (τυπικά 5 ή 10 για μικροκυψελλωτά συστήματα).

Ένας αριθμός προτάσεων για μηχανισμούς διανομής του εύρους ζώνης βασισμένους στην περιγραφή του προφίλ της κινητικότητας του τερματικού έχουν ερευνηθεί στην λογοτεχνία, Οι περισσότερες από τις προτάσεις επαρκείς στις περιορισμένες περιοχές κάλυψης για μικρό χρονικό διάστημα, αργά κινούμενες συνδέσεις, αλλά αποτυγχάνουν το QoS του επιπέδου της συνόδου για συνδέσεις πολυμέσων για μεγάλο χρονικό διάστημα. Παραδείγματος χάριν, μερικές απαιτούν πρόβλεψη της τροχιάς του κινητού και / η τακτικούς επαναυπολογισμούς των απαιτήσεων του εύρους ζώνης των κινητών καθώς περιάγετε από τη μια κυψέλη σε μια άλλη. Έχει παρουσιαστεί και η πρόταση, ενός κλιμακωτού CAC για κινητά δίκτυα όπου δανείζεται τις αρχές της προσωρινής στατιστικής πολυπλεξίας η οποία επιτρέπει μια αποδοτική διαμοίραση του εύρους ζώνης σε συνδέσεις ποικίλων ρυθμών bit. Στα προτεινόμενα μοντέλα η χωρική κινητικότητα ενός κινητού από τη μια κυψέλη σε μια άλλη είναι ως μια ON – OFF πηγή κίνησης. Στην κατάσταση ON (το κινητό βρίσκεται μέσα στην κυψέλη), με μια απαίτηση εύρους ζώνης R, και στην κατάσταση OFF (το κινητό βρίσκεται εκτός της κυψέλης), οι απαιτήσεις του εύρους ζώνης είναι 0. Αυτό το μοντέλο επιτρέπει την ανάλυση του γενικού CAC προβλήματος σε μια σειρά στάσιμων CAC αλγορίθμων που διανέμονται σε όλες τις κυψέλες μέσα στην περιοχή κάλυψης, και η καθεμία χρησιμοποιεί τις απαιτήσεις του εύρους ζώνης που παράγονται από το μοντέλο ON – OFF.

Για να υλοποιήσουμε στατικές μεθόδους, είναι απαραίτητο να υπολογίσουμε τον χρόνο τον οποίο ένα κινητό θα βρίσκεται στις καταστάσεις ON και OFF. Εάν μια περιοχή κάλυψης αποτελείται από N κυψέλες, από C₁,...,C_N (βλέπε εικόνα _ _), σε κάθε διάστημα T, υπάρχει μια πιθανότητα P_{ij} για κάθε κινητό να αφήσει την κυψέλη C_i για την κυψέλη C_j.. Οι πιθανότητες P_{ij} είναι εύκολο να παρατηρηθούν και συγκεντρωθούν από το δίκτυο. Μέσα

σε ένα WATM σύστημα καλούνται κανονικοποιημένος ρυθμός handoff (Normalized Handoff Rate (NHR)), και αντιπροσωπεύουν τον ρυθμό των handoff από την κυψέλη C_i για την κυψέλη C_j . Διαιρεμένο από τον αριθμό των ενεργών συνδέσεων στο C_i . Το NHR μπορεί να ανταλλαχθεί σε κανονική βάση ανάμεσα στις κυψέλες για τα προιδρυμμένα VCs για να διευκολύνει τους υπολογισμούς των πιθανοτήτων των στατικών μοντέλων. Το NHR μπορεί να υπολογιστεί και εκτός λειτουργίας για διάφορες χρονικές περιόδους (στιγμές της ημέρας, σαββατοκύριακά, ημέρες της εβδομάδος, κ.α.). Το μοντέλο μπορεί να λάβει υπόψη του ειδικά σχέδια κίνησης τα οποία θα μπορούν να αναπτύξουν αποτελέσματα χωρικά (δρόμοι, κτίρια, φορτηγά) και χρονικά (ώρες αιχμής). Το NHR είναι η βάση για τον ορισμό ενός μοντέλου Markov με N καταστάσεις αντίστοιχα με τις κυψέλες στην περιοχή κάλυψης. Οι στατικές πιθανότητες P_k είναι οι λύσεις της αλυσίδας Markov που οδηγούνται από τα NHRs, και λένε ότι κατά την διάρκεια μιας μακρόχρονης συνόδου, το κινητό τερματικό περνάει ένα μέσο όρο P_k από το χρόνο της συνόδου του μέσα στην κυψέλη C_k και $1-P_k$ στις άλλες κυψέλες.

Αφού το κινητό αναμένετε να περάσει P_k από το χρόνο του μέσα στην κυψέλη C_k , οι απαιτήσεις του μέσου εύρους ζώνης από την κυψέλη είναι RP_k . Οποιαδήποτε κυψέλη C_k μέσα στην περιοχή κάλυψης αναμένεται να χρειαστεί κατά μέσο όρο, RP_k μονάδες εύρους ζώνης για να εξυπηρετήσει την σύνδεση στο επιθυμητό QoS. Συνεπώς, λέμε ότι μια σύνδεση με μια απαίτηση εύρους ζώνης R , επισκιάζει τις άλλες κυψέλες στην περιοχή κάλυψης. Η «σκιά» που πέφτει στην περιοχή κάλυψης αντιπροσωπεύεται από το διάνυσμα των συντεταγμένων του RP_k , όπου $r_1 + \dots + r_N = 1$. Έτσι, η προσέγγιση της σκιάς βασίζεται σε αθροιστικές στατιστικές πληροφορίες που μετριοούνται στους σταθμούς βάσης (ρυθμοί handoff μεταξύ των κυψελών, ρυθμοί άφιξης και αναχώρησης) και δεν χρειάζονται επιπρόσθετες πληροφορίες για τα σχέδια κινητικότητας των τερματικών.



1.9.3 Αφίξεις Κλήσεων

Όταν ένας σταθμός βάσης λάβει μια αίτηση για την ίδρυση μιας σύνδεσης, πρώτα ελέγχει εάν είναι διαθέσιμοι αρκετοί πόροι μέσα στην κυψέλη βασιζόμενο στον περιγραφητή της κίνησης των συνδέσεων και στις απαιτήσεις του QoS. Η αίτηση απορρίπτεται (η σύνδεση μπλοκάρεται), εάν υπάρχουν ανεπαρκείς πόροι. Αλλιώς χρησιμοποιούμε το μοντέλο για να υπολογίσουμε την συνολική πιθανότητα απόρριψης handoff μέσα στην περιοχή κάλυψης του κινητού τερματικού. Η σύνδεση γίνεται αποδεκτή εάν η απορρέουσα πιθανότητα βρίσκεται κάτω από την τιμή κατωφλίου H .

Η απόδοση αυτού του τύπου του κινητού CAC έχει υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την εξομοίωση. Η περιοχή κάλυψης που εξομοιώνεται αποτελείται από 19 κυψέλες (βλέπε παραπάνω εικόνα), και η κίνηση έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

- Το εύρος ζώνης των συνδέσεων έχει ομοιόμορφη κατανομή ανάμεσα στα 0,5 και 1,5 Mbps ` κατά μέσο όρο υπάρχουν 25 ενεργές συνδέσεις σε μια WATM μικροκυψέλη.
- Η μέση διάρκεια της συνόδου είναι 15 min.
- Ο ρυθμός handoff είναι 1 / 150 s ' 5 handoff ανά σύνοδο.

	Local CAC (%)	M-CAC ($H = 1\%$) (%)	M-CAC ($H = 2\%$) (%)
Blocking	8	35	30
Utilization	90	50	67
5-Hop forced termination prob.	40	5	10

Εικόνα 19 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ

1.9.4 Τι είναι η κινητικότητα (mobility)

Κινητικότητα σημαίνει ότι οι χρήστες συνδέονται στο δίκτυο από διαφορετικά τερματικά ή ότι τα τερματικά είναι κατά την διάρκεια της χρήσης τους κινητά και περιάγονται (roam) σε διαφορετικά δίκτυα κατά την περίοδο των προσβάσεων τους (χωρίς διακοπές στις συνδέσεις). Τεχνικά αυτό (το 2ο) είναι εφικτό με την χρήση δικτύων ασύρματης προσπέλασης για το δίκτυο με ATM πυρήνα.

1.9.5 Τι προκαλεί την υποβάθμιση του QoS

- Η εισαγωγή πληροφοριών ανάμεσα στα πλαίσια. Αυτό προκαλεί καθυστερήσεις, οι οποίες είναι άμεσα συσχετιστικές με την ταχύτητα μετάδοσης και το μέγεθος του πλαισίου. Αυτό συμβαίνει και στα τερματικά και στις διασυνδέσεις του καναλιού μετάδοσης της ATM τεχνολογίας.
- Οι καθυστερήσεις των εξαρτημάτων.
- Οι ουρές μετάδοσης. Τα πλαίσια περιμένουν να έρθει η σειρά τους για να μεταδοθούν. Αυτό εξαρτάται από το διάστημα ερεθισμού – αντίδρασης της εταιρίας, την πυκνότητα της κίνησης στο κανάλι μετάδοσης, την προτεραιότητα των πλαισίων και το πρωτόκολλο MAC.
- Συγκρούσεις. Όταν δύο ή περισσότεροι σταθμοί αρχίζουν να μεταδίδουν ταυτόχρονα, καθυστερούν την επαναμετάδοση που βασίζεται στην προτεραιότητα του σταθμού και μια τυχαία συνιστώσα.
- Οι καθυστερήσεις μετάδοσης. Οι καθυστερήσεις μετάδοσης αλλάζουνε καθώς ο χρήστης κινείται. Επίσης το handover προκαλεί εκκινήσεις καθυστερήσεων.
- Επαναμεταδόσεις στο κανάλι επικοινωνίας. Τα χαμένα πλαίσια ξαναμεταδίδονται σε συνδέσεις από σημείο σε σημείο. Η καθυστέρηση εξαρτάται από την ποιότητα της σύνδεσης και την καθυστέρηση στην αίτηση επαναμετάδοσης.
- Η επίδραση της αλληλουχίας στα πολυσημειακά δίκτυα.
- Το handover στο ίδιο δίκτυο.
- Το handover, όταν ο χρήστης κινείται από ένα δίκτυο σε ένα άλλο.

Κεφάλαιο 2 HANDOVER

2.1 Τι είναι το handover

Το handover είναι μια από τις κυρίες λειτουργίες ενός κινητού συστήματος ώστε να μπορέσει να υποστηρίξει την συνεχιζόμενη κινητικότητα σε διαφορετικές περιοχές ασύρματης κάλυψης. Ορίζεται ως μια διαδικασία που λαμβάνει χώρα όταν ένα κινητό αλλάξει το τρέχων χρησιμοποιούμενο ασύρματο κανάλι της συχνότητας σε ένα άλλο ασύρματο κανάλι κατά την διάρκεια μιας υπάρχουσας και ενεργής ασύρματης σύνδεσης, με σκοπό να διατηρηθούν οι υπηρεσίες χωρίς διακοπή όταν οι κινητοί χρήστες κινούνται κατά μήκος ασυρμάτων περιοχών κάλυψης. Από την άποψη του κόστους είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για την βελτίωση της χωρητικότητας και της ποιότητας υπηρεσιών (QoS) πολλών συστημάτων αλλά επίσης βοηθάει δυναμικά στον εντοπισμό του κινούμενου τερματικού.

Πολλά διαφορετικά σχέδια handover έχουν προταθεί για το ATM. Η αποτίμηση των διαφορετικών προτάσεων συνδέεται άρρηκτα με το ποια θέματα θεωρούνται πιο σημαντικά για να διατηρηθούν μαζί με την πολυπλοκότητα της υλοποίησης. Για τις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου η καθυστέρηση και η ευαισθησία της καθυστέρησης είναι πολύ σημαντικά. Για τις υπηρεσίες μη πραγματικού χρόνου η βελτιστοποίηση της λύσης του handover υλοποιείται για να αποτρέψει την απώλεια των κελιών και τα εσφαλμένα bit. Εάν ήταν δυνατό να χρησιμοποιήσουμε διαφορετικά σχέδια handover για διαφορετικούς τύπους κίνησης, ίσως να ήταν πιο εύκολο να διατηρήσουμε τις απαιτήσεις του κάθε τύπου υπηρεσίας. Όμως αυτό θα εισήγαγε περισσότερη πολυπλοκότητα η οποία θα οικοδομούσε την υποστηριζόμενη λειτουργικότητα της διαχείρισης της κινητικότητας, και για την ώρα θεωρείται μη κατάλληλη.

Η μείωση στην ισχύ του σήματος ενός κινητού τερματικού δηλαδή όταν το κινητό τερματικό αποτυγχάνει να λάβει το σήμα του σταθμού βάσης που το εξυπηρετεί πολλές φορές, τούτο λειτουργεί ως τριγκαρισμός του handover, έτσι υπάρχουν επιπλέον βήματα που πρέπει κατά την διάρκεια ενός handover το σύστημα να γίνουν :

- Να μετρηθεί η τωρινή ισχύς του σήματος του σταθμού βάσης που εξυπηρετεί το κινητό τερματικό.
 - Να μετρηθεί η ισχύς του σήματος των γειτονικών σταθμών βάσης
 - Να αρχικοποιηθεί η διαδικασία του handover για να δοθεί ένα νέο κανάλι στο κινητό τερματικό (mobile host / terminal).
 - Να δοθούν πόροι στο καινούργιο σταθμό βάσης ώστε να αλλάξει η επικοινωνιακή σύνδεση από το παλιό σταθμό βάσης (base station) στο νέο.
 - Να ενημερωθούν οι πληροφορίες που αφορούν την τοποθεσία του κινητού τερματικού στο location management.
 - Ταυτόχρονα να επαναδρομολογήσει τις πληροφορίες που προορίζονται για το κινητό τερματικό στο νέο σταθμό βάσης.
- Εάν δεν υπάρχουν πόροι για να γίνει το handover, η σύνδεση τερματίζεται (forced termination).

2.1.1 Προβλήματα στο handover του ασύρματου ATM

Στο ασύρματο ATM η διαδικασία του handover παρουσιάζει τα παρακάτω προβλήματα :

- Όλες οι διαδικασίες πρέπει να γίνονται πάρα πολύ συχνά και με πολύ υψηλές ταχύτητες, αφού ο κινούμενος χρήστης συνήθως βρίσκεται σε μια ασύρματη περιοχή κάλυψης σε προσωρινή βάση.
 - Σε ένα κινητό περιβάλλον η διαχείριση του νοητού καναλιού (virtual channel) και της ποιότητας υπηρεσιών (QoS) δεν είναι εύκολη, αφού το μονοπάτι από άκρη σε άκρη συνεχώς τροποποιείται κατά την διάρκεια μιας σύνδεσης.
 - Υπάρχουν υπερβολικές καθυστερήσεις και διαστήματα δράσης – αντίδρασης λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων των ασύρματων σταθμών βάσης και των κινητών κόμβων δρομολόγησης.
 - Η κατανομή των πόρων πρέπει να επανεξετάζεται κάθε φορά που ο χρήστης κινείται σε ένα νέο σημείο.
 - Τα πρωτόκολλα της κινητής δρομολόγησης πρέπει να λειτουργούν και σε ενσύρματα και σε ασύρματα περιβάλλοντα , γεγονός που απαιτεί νέους μηχανισμούς δρομολόγησης των ATM κελιών στα κινητά τερματικά.
 - Μεγάλο θέμα στην έρευνα του WATM είναι η ανάπτυξη λύσεων για την εξασφάλιση πόρων με QoS λαμβάνοντας υπ' όψιν τις συνεχώς μεταβαλλόμενες καταστάσεις του δικτύου, χωρίς να καταναλωθούν πολλά επιπλέον data.

2.1.2 Χρήση της Ενδοκαναλικής Σηματοδοσίας

Επίσης τα Handover θα πρέπει να εκτελούνται με «διάφανο» (seamless²⁸) τρόπο , ώστε να μην γίνονται αντιληπτά από τον χρήστη, για να μπορούν να ελαχιστοποιήσουν την διατάραξη των υπηρεσιών , ιδιαίτερα στην μετάδοση δεδομένων. Το seamless handover στα δίκτυα ATM εγείρει ένα σημαντικό πρόβλημα στον συγχρονισμό της διαδικασίας της παράδοσης των πακέτων σε μια ακολουθία ενώ σε άλλα δίκτυα όπως σε αυτά που βασίζονται στην Παλμοκωδική Διαμόρφωση (Pulse Code Modulation (PCM)) αυτό το πρόβλημα δεν έχει καμιά σημασία γιατί το PCM πλαίσιο από μόνο του μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συγχρονισμό. Όμως τα δίκτυα ATM δεν έχουν σαφή μέσα για συγχρονισμό και ταξινόμηση των πληροφοριών ` οι επικεφαλίδες των πακέτων δεν περιέχουν μετρητές και είναι όλες όμοιες μεταξύ τους. Κατά την διάρκεια των seamless handovers, είτε αυτά είναι hard, είτε soft, εξαιτίας των νοητών κυκλωμάτων (VC) προκύπτει ένα πρόβλημα σε κάθε σχέδιο handover. Σε ερευνητικά προγράμματα όπως το RAINBOW και το Magic WAND βρέθηκε ότι είναι κοινό φαινόμενο κατά την διάρκεια του Handover, η λάθος διάταξη των πακέτων εξαιτίας του μη συγχρονισμένου VC. Η αιτία βρίσκεται στην διαφορετική διάδοση και στις καθυστερήσεις επεξεργασίας των μηνυμάτων σηματοδοσίας του κοινού καναλιού. Η χρήση ρητών πληροφοριών συγχρονισμού (οριοθετών και μετρητών πακέτων) μέσα στη ροή των δεδομένων του χρήστη φαίνεται ότι είναι η μοναδική λύση στο πρόβλημα. Η χρήση της ενδοκαναλικής σηματοδοσίας²⁹ παρέχει ένα φυσικό πλαίσιο για συγχρονισμό, αφού η ροή των δεδομένων δεν περιορίζεται από τα μηνύματα του Handover. Η λογική εξήγηση της χρήσης της ενδοκαναλικής σηματοδοσίας για τις διαδικασίες handover στο WATM είναι τριπλή. Πρώτα απ' όλα, τα πακέτα MES περνούν διάφανα τους ATM μεταγωγείς του ενσύρματου δικτύου που δεν αναβαθμίζεται για την πραγματοποίηση της δυναμικής επαναδρομολόγησης του VC. Αυτό επιτρέπει μια σταδιακή εισαγωγή των ATM μεταγωγέων που ερμηνεύουν τα MES πακέτα και έτσι λαμβάνουν μέρος στην διαδικασία της επαναδρομολόγησης του VC στο ενσύρματο δίκτυο. Δεύτερον, η ροή της σηματοδοσίας που σχετίζεται με τις διαδικασίες handover είναι περιορισμένη σε ένα μικρό αριθμό οντοτήτων του δικτύου και σχετίζονται αυστηρά με την

²⁸ Seamless = Ο όρος Handover «χωρίς ραφές» αναφέρεται σε εκείνες τις υπηρεσίες που εγγυώνται παράδοση των πακέτων χωρίς απώλειες από την μια και σε μια σειρά από την άλλη μεριά.

²⁹ Ενδοκαναλική σηματοδοσία χρησιμοποιείται για την μεταφορά των σημάτων ελέγχου, χρησιμοποιώντας την ίδια ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιείται από τα σήματα δεδομένων.

ροή των πληροφοριών. Όλες οι οντότητες στο handover πρέπει να ερμηνεύουν τα μηνύματα σηματοδοσίας σε πραγματικό χρόνο ενώ διαχειρίζονται την ροή της πληροφορίας. Αφού οι λειτουργίες της διαδικασίας handover πρέπει να είναι συγχρονισμένες ανάμεσα στα MT, BSCs και τους κόμβους για να παρέχουν ένα seamless handover, η χρήση των MES πακέτων παρέχει ένα φυσικό πλαίσιο για τον συγχρονισμό του πρωτοκόλλου χωρίς συγχρονισμό της σύνδεσης. Επιπλέον η ενδοκαναλική σηματοδοσία διασφαλίζει ότι όλες και μόνο αυτές οι οντότητες που εμπλέκονται στο handover θα λάβουν τα μηνύματα σηματοδοσίας, μια προϋπόθεση που είναι δύσκολο να πετύχεις με την σηματοδοσία κοινού καναλιού. Τρίτον, εξαιτίας των φτωχών χαρακτηριστικών της διάδοσης, το εύρος ζώνης που κατανέμεται στα ασύρματο κανάλι πρέπει να είναι λίγο μεγαλύτερο από το **σταθερό ρυθμό πακέτων (Sustainable Cell Rate (SCR))** του VC για να αφήσει χωρητικότητα για τις επαναεκπομπές. Η ενδοκαναλική σηματοδοσία και οι επαναεκπομπές μπορούν στατιστικά να πολυπλεχθούν στο επιπλέον εύρος ζώνης, παραχωρώντας κάποιους πόρους. Τέλος ένα μικρό πρόβλημα ακόμη και στην περίπτωση της ροής της συγχρονισμένης CBR : τα πακέτα MES δεν εξετάζονται από το επίπεδο ATM προσαρμογής (ATM Adaptation Layer), το οποίο ανακατασκευάζει τις χρονικές πληροφορίες. Τελικά υπολογίστε ότι οι VPI / VCI αναγνωριστές είναι τοπικοί για τις διεπαφές, έτσι ώστε μια ακραία ποσότητα πληροφορίας θα πρέπει να μεταφερθεί ανάμεσα στις οντότητες του δικτύου για να αναγνωρίσει τα VCs που πρέπει να δρομολογηθούν. Η ενδοκαναλική σηματοδοσία απλοποιεί αυτό το πρόβλημα.

Η ενδοκαναλική σηματοδοσία υλοποιείται αποκλειστικά με πακέτα **Διαχείρισης Πόρων (Resource Management (RM))**, παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται στη δυνατότητα ATM μεταφοράς ABR. Αυτά τα πακέτα, ονομάζονται **πακέτα σηματοδοσίας Αύξησης της κινητικότητας (Mobility Enhancement Signaling (MES))** και εισέρχονται στη ροή των δεδομένων της σύνδεσης όταν χρειάζεται και παρέχουν την ανταλλαγή πληροφοριών ανάμεσα στους κόμβους του μονοπατιού σύνδεσης.

2.2 Υλοποίηση Handover

Οι υλοποιήσεις του ασύρματου ATM, όπως επίσης και τα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί από το ATM Forum, βασίζονται στα handovers που αρχικοποιούνται από το κινητό, όπου το κινητό τερματικό είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση της ποιότητας της ασύρματης ζεύξης και αποφασίζει πότε να αρχικοποιήσει ένα handover. Μια τυπική διαδικασία handover περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα :

1. Παρακολούθηση της Ποιότητας της Σύνδεσης Όταν υπάρχουν ενεργές συνδέσεις, το κινητό τερματικό συνεχώς παρακολουθεί την ισχύ του σήματος που λαμβάνει από κάθε ασύρματη πύλη (radio port RP) μέσα στην εμβέλεια του.

2. Σκανδαλισμός του Handover Σε ένα δεδομένο περιστατικό, όλες οι συνδέσεις από / προς το κινητό τερματικό δρομολογούνται μέσω της ίδιας ασύρματης πύλης, αλλά η μείωση της ποιότητας της ασύρματης ζεύξης σκανδαλίζει την διαδικασία του handover.

3. Αρχικοποίηση του Handover Με το που αρχίζει ένα handover, το κινητό τερματικό αρχικοποιεί την διαδικασία στέλνοντας ένα μήνυμα στο συνοριακό EMAS με το οποίο είναι σε άμεση επαφή. Αυτό το σήμα υποδηλώνει στο EMAS τη λίστα με τα υποψήφια RPs τα οποία μπορούν να αναλάβουν τον έλεγχο των ενεργών συνδέσεων.

4. Επιλογή του στόχου RP Το συνοριακό EMAS επιλέγει ένα RP από την λίστα των υποψηφίων που του στάλθηκαν από το κινητό τερματικό, ως στόχο του handover. Σε αυτό το βήμα μπορεί να γίνει χρήση ειδικών κριτηρίων του δικτύου για την κατανομή του φόρτου της κυκλοφορίας ανάμεσα σε διαφορετικά RPs και την αλληλεπίδραση μεταξύ των συνοριακών EMAS και άλλων EMASs που αποθηκεύουν τα υποψήφια RPs.

5. Επαναδρομολόγηση της σύνδεσης Αφού έχει επιλεγεί ο στόχος – RP, το ακριανό EMAS αρχικοποιεί την επαναδρομολόγηση στο στόχο – RP όλων των από / προς το κινητό τερματικό συνδέσεων μέσα στο MATM δίκτυο. Η πολυπλοκότητα αυτών των βημάτων εξαρτάται από συγκεκριμένες διαδικασίες που επιλέγονται για την επαναδρομολόγηση των συνδέσεων όπως περιγράφονται παρακάτω. Εξαιτίας εμποδίων στο δίκτυο ή στους ασύρματους πόρους, είναι πιθανόν μερικές συνδέσεις να μην δρομολογηθούν επιτυχώς μέχρι τέλους σε αυτό το βήμα.

6. Ολοκλήρωση του Handover Το κινητό τερματικό ειδοποιείται για την ολοκλήρωση του handover για μια ή περισσότερες ενεργές συνδέσεις. Το κινητό τερματικό μπορεί τώρα να συνδεθεί με το νέο RP και να αρχίσει να στέλνει / λαμβάνει πληροφορίες χρησιμοποιώντας αυτές τις συνδέσεις.

Συγκεκριμένες υλοποιήσεις μπορούν να διαφέρουν στην ακριβή ακολουθία των γεγονότων κατά την διάρκεια του handover. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα του handover και οι δυνατότητες του μπορεί να διαφέρουν. Για παράδειγμα, μπορούν να υλοποιήσουν handover χωρίς απώλειες (lossless) όπου οι απώλειες των κελιών και η λανθασμένη ακολουθία των κελιών μπορούν να αποφευχθούν κατά τη διάρκεια του handover με την αποθήκευση των κελιών μέσα στο δίκτυο.

2.3 Ταξινόμηση των ειδών του handover.

Υπάρχουν πολλές κατηγορίες handover, η διαδικασία που ακολουθείται κατά την διάρκεια του handover καθορίζεται από το είδος του handover που έχει αποφασιστεί να γίνει. Η κατηγοριοποίηση των handover μπορεί να είναι κάθετη: βασισμένη στις έννοιες που υιοθετεί το διάγραμμα του handover ή οριζόντια: βασισμένη στο πως το κινητό τερματικό αναγνωρίζει το «νέο» σταθμό βάσης, συνήθως βάσει των λαμβανομένων σημάτων ή των τεχνικών προβλέψεων.

Ο Gyarmati Michael στο [3] μας προτείνει για να κατηγοροποιήσουμε τα handover απλά να απαντήσουμε στα παρακάτω ερωτήματα, ποιος αρχικοποιεί τη διαδικασία του handover και πως αυτή γίνεται.

Αν απαντήσουμε στο ερώτημα «Ποιος ξεκινάει την διαδικασία handover ;», μπορούμε να ξεχωρίσουμε τις εξής απαντήσεις :

Αρχικοποίηση από το κινητό τερματικό. Το κινητό τερματικό χάνει την ασύρματη ζεύξη προς το σταθμό βάσης και αποφασίζει υπέρ ή κατά ενός handover, όπως και για το σταθμό βάσης που θα είναι ο στόχος του.

Υπολογισμός από το κινητό τερματικό. Είναι ίδιο με την αρχικοποίηση του handover από το κινητό τερματικό αλλά σε αυτή την περίπτωση το δίκτυο παίρνει την απόφαση για όλα.

Αρχικοποίηση από το δίκτυο. Το δίκτυο, δηλαδή ο σταθμός βάσης χάνει την ζεύξη με το κινητό τερματικό και αποφασίζει υπέρ ή κατά ενός handover, όπως επίσης και για το στόχο σταθμό βάσης.

Βοηθούμενο από το κινητό τερματικό. Η διαδικασία του handover αρχικοποιείται από το δίκτυο και το κινητό τερματικό χάνει την ζεύξη αλλά προετοιμάζει τα δεδομένα.

Αν απαντήσουμε στην ερώτηση «Πού γίνεται το handover;», μπορούμε να ξεχωρίσουμε τις εξής απαντήσεις :

Intra-Cell (Εντός της κυψέλης handover). Γίνεται μια απλή αλλαγή σε κάποιο άλλο κανάλι επικοινωνίας αλλά στην ίδια κυψέλη.

Inter-Cell (Εκτός της κυψέλης handover). Το κινητό τερματικό αλλάζει κυψέλη.

Inter-Network. Το κινητό τερματικό αλλάζει δίκτυο, π.χ. από WATM σε UMTS.

Αν απαντήσουμε στην ερώτηση «Πώς γίνεται η αλλαγή κατά την διάρκεια του handover;», μπορούμε να ξεχωρίσουμε τις παρακάτω δύο απαντήσεις.

Hard. Το κινητό τερματικό μεταφέρεται από μια παλιά ζεύξη σε μια καινούργια. Καθ' όλη τη διάρκεια του handover υπάρχει μόνο μια μοναδική ενεργή σύνδεση, γι' αυτό το λόγο όμως υπάρχει και μια μικρή διακοπή στην επικοινωνία.

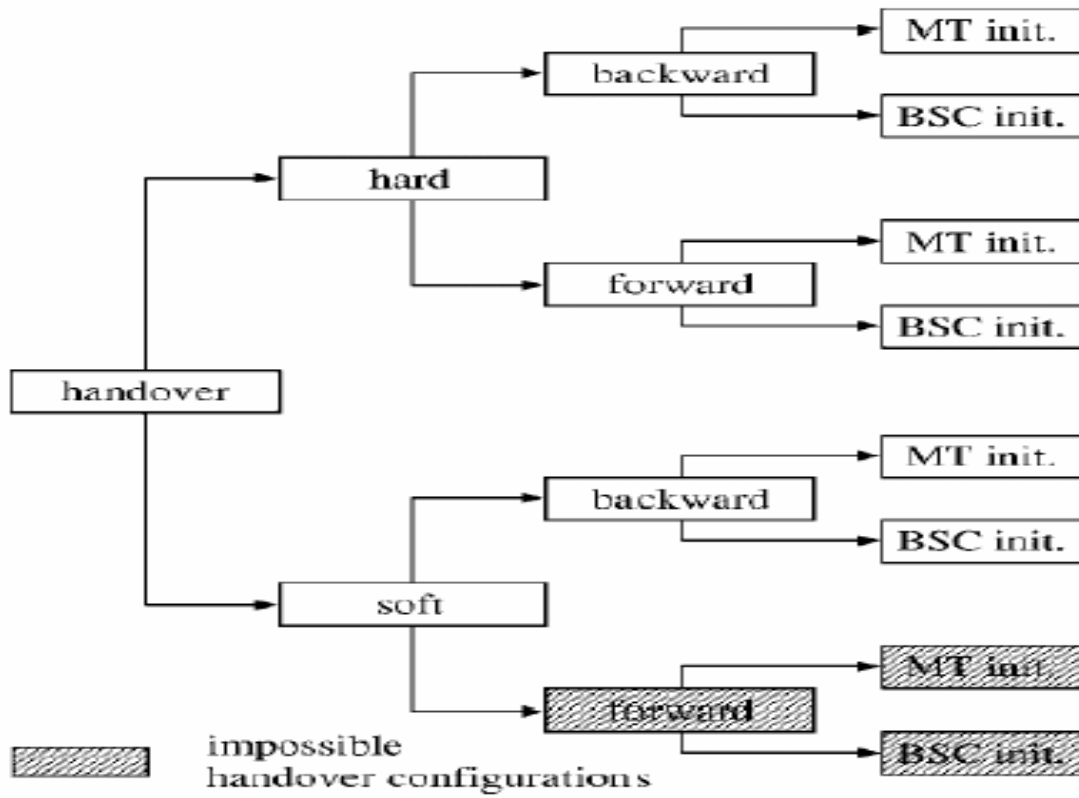
Soft. Σε αυτή την περίπτωση το κινητό τερματικό διατηρεί ταυτόχρονα δύο κανάλια. Στην αλλαγή από το παλιό κανάλι επικοινωνίας με το καινούργιο μόνο συνδέεται «μαλακά» από τον παλιό σταθμό βάσης στον νέο.

Αν απαντήσουμε στην ερώτηση «Προς τα πού:», θα λάβουμε μια από τις παρακάτω απαντήσεις.

Forward Handover. Όπου το κινητό τερματικό αποφασίζει για το «επόμενο» κύταρρο και έρχεται σε επαφή με το σταθμό βάσης του νέου κυτάρου και ο νέος σταθμός βάσης αρχικοποιεί την αλλαγή της παλιάς σύνδεσης.

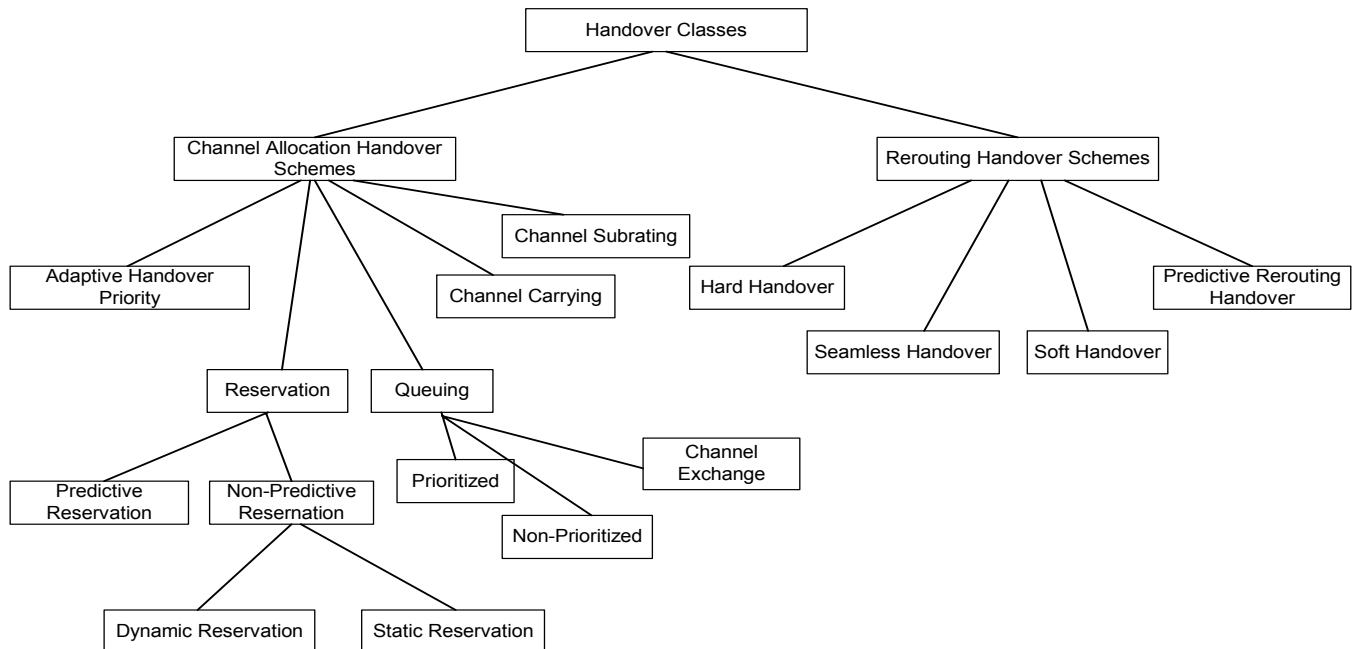
Backward Handover. Το κινητό τερματικό αποφασίζει για το επόμενο κύταρο και έρχεται σε επαφή με το ενεργό σταθμό βάσης, με τη σειρά του ο παλιός σταθμός βάσης σηματοδοτεί στο νέο σταθμό βάσης το handover.

Έτσι η δενδρική δομή κατηγοριοποίησης των handover φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Εικόνα 20 Η ΔΕΝΔΡΙΚΗ ΔΟΜΗ ΚΑΤΗΓΟΡΟΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ HANDOVER

Οι Carolin I. Bauer και Dr. S. John Rees στο [2] χωρίζουν τις κατηγορίες handover ως εξής:



Εικόνα 21 ΔΕΝΔΡΙΚΗ ΔΟΜΗ ΣΧΗΜΑΤΩΝ HANDOVER ΚΑΤΑ BAUER & REES.

Σύμφωνα με τους Bauer & Rees, τα σχήματα handover χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες : οι κλασικές διατάξεις δρομολόγησης και οι διατάξεις δρομολόγησης ανάλογα με την μέθοδο κατανομής του ασύρματου καναλιού για τις υλοποιήσεις handover. Έτσι η δεύτερη κατηγορία διατάξεων handover χωρίζονται σε :

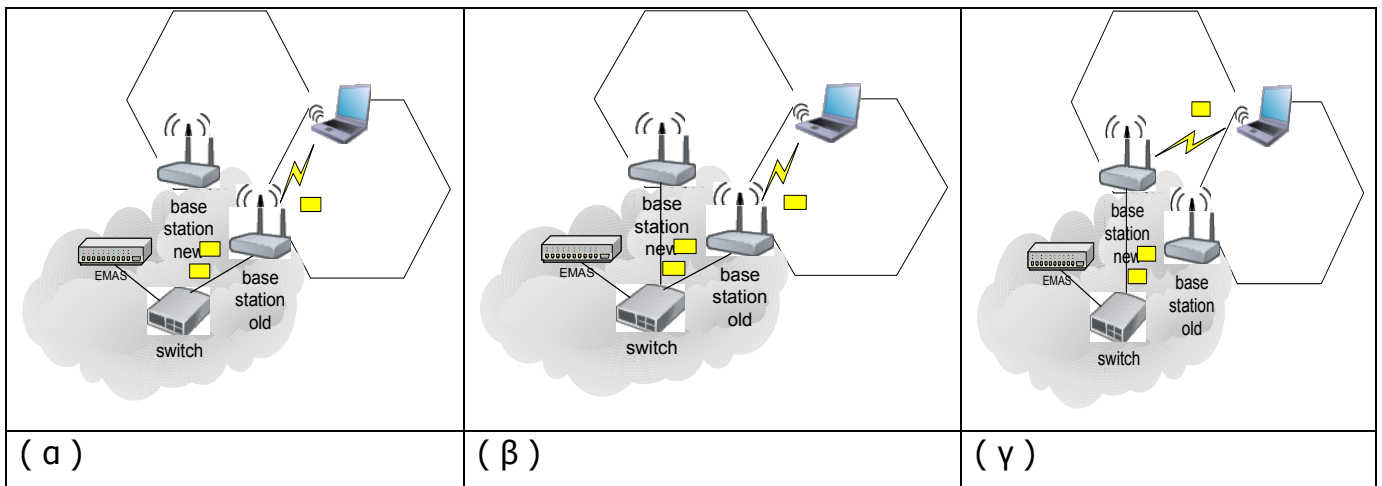
- υποθετικής ή μη προτεραιότητας (δυναμικής ή μη) δρομολόγησης.
- Δρομολόγησης των ουρών αιτήσεων των handover.
- Δρομολόγηση ανάλογα τη μεταφορά του καναλιού για το handover.
- Δρομολόγηση υπο-κατανομής του καναλιού για το handover.
- Δρομολόγηση προσαρμοσμένης προτεραιότητας.

Όλα αυτά τα σχήματα δρομολόγησης , θα τα εξετάσουμε λεπτομερώς παρακάτω.

2.4 Διαγράμματα Δρομολόγησης Handover

2.4.1 Διαγράμματα Επαναδρομολόγησης Handover

2.4.1.1 Διάγραμμα Hard Handover

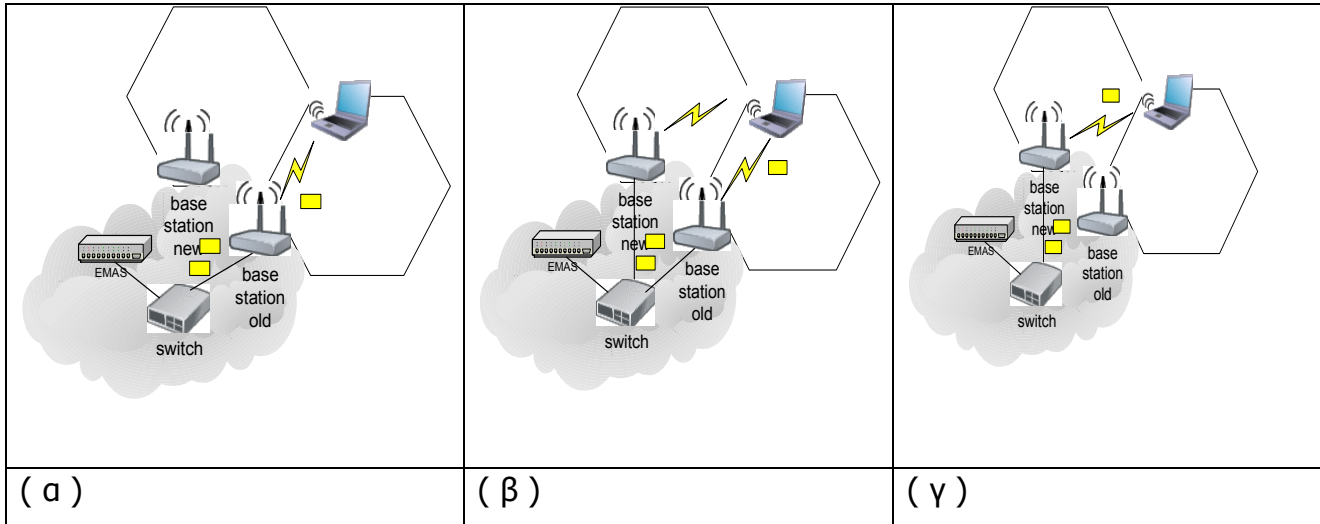


Εικόνα 22 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΟΥ HARD HANDOVER. ΣΤΟ (Α) ΤΟ ΚΙΝΗΤΟ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΕΙΝΑΙ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΤΟ ΠΑΛΙΟ ΣΤΑΘΜΟ ΒΑΣΗΣ, ΜΕΤΑ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΕΙ ΤΟ ΚΑΙΝΟΥΡΓΙΟ ΣΤΑΘΜΟ ΒΑΣΗΣ (Β), ΕΝΩ ΣΤΗ (Γ) ΦΑΣΗ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΧΕΙ ΤΕΡΜΑΤΙΣΕΙ ΤΗΝ ΠΑΛΙΑ ΖΕΥΞΗ ΚΑΙ ΤΟ ΚΙΝΗΤΟ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΕΧΕΙ ΣΥΝΔΕΘΕΙ ΣΤΗΝ ΝΕΑ.

Σε αυτό το διάγραμμα, το κινητό τερματικό αλλάζει το σημείο σύνδεσης (PA) του με μια μικρή διακοπή των υπηρεσιών. Απελευθερώνεται η παλιά σύνδεση και δημιουργείται μια καινούργια με το «νέο» σταθμό βάσης. Ο χρόνος που χρειάζεται το σύστημα για να εγκαταστήσει το μονοπάτι ονομάζεται χρόνος ανταπόκρισης του δικτύου. Εάν η «παλιά» σύνδεση αποσυνδεθεί πριν το δίκτυο ολοκληρώσει την δημιουργία «νέας», η σύνδεση κόβεται ακόμη και αν υπάρχουν διαθέσιμα κανάλια στο κύτταρο. Για να είναι όσο το δυνατόν πιο σύντομη η διακοπή των υπηρεσιών, το μονοπάτι για το «νέο» σταθμό βάσης προ-εγκαθίσταται πριν αλλάξει η συσκευή. Η μεταγωγή στο «νέο» μονοπάτι και η επαναδρομολόγηση των μεταδιδόμενων πληροφοριών διενεργούνται ταυτόχρονα. Σε κάθε χρονική στιγμή υπάρχει μια μοναδική σύνδεση του σταθμού βάσης με το κινητό τερματικό. Γι' αυτό το λόγο, δεν χαραμίζονται σπάνιοι πόροι και ελαχιστοποιούνται οι επιπλέον πληροφορίες αφού οι πληροφορίες δεν αντιγράφονται. Παρ' όλα αυτά, η παραπάνω

διακοπή των υπηρεσιών κατά την αλλαγή θα μπορούσε να προκαλέσει απόρριψη της κλήσης.

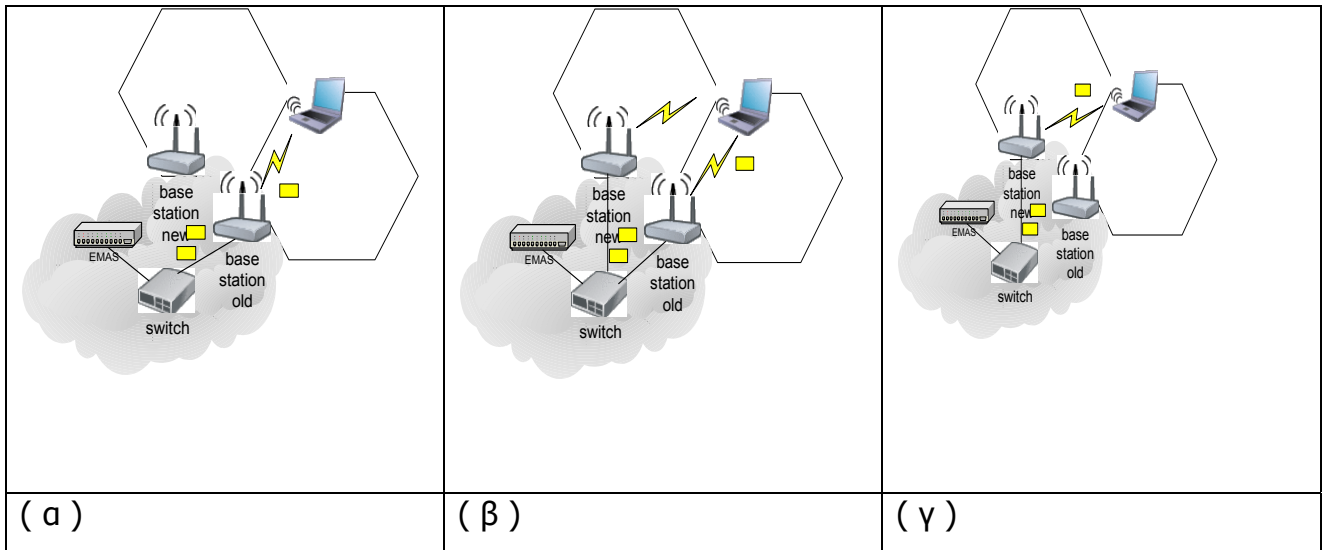
2.4.1.2 Διάταξη Handover «χωρίς απώλειες»



Εικόνα 23 HANDOVER «ΧΩΡΙΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ»

Το handover «χωρίς απώλειες» βασίζεται στην έννοια της αλλαγής ανάμεσα στα κύτταρα χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα και την «παλιά» και την «νέα» σύνδεση με μόνο μια από αυτές να είναι ενεργή. Οι πληροφορίες μεταδίδονται και στις δυο συνδέσεις. Η «παλιά» σύνδεση παραμένει ενεργή καθώς το «νέο» μονοπάτι ενεργοποιείται μέσω μιας ενέργειας μεταγωγής στο δίκτυο, βασισμένη στην αντίληψη της ποιότητας του κινητού τερματικού. Το handover «χωρίς απώλειες» σε σύγκριση με το hard handover είναι πιο αξιόπιστο αφού η «παλιά» σύνδεση διακόπτεται αφού εγκατασταθεί η «νέα» σύνδεση. Παρ' όλα αυτά, η χρήση των δύο συνδέσεων κατά τη διάρκεια του handover υποβαθμίζει τον αριθμό των διαθέσιμων καναλιών, πράγμα το οποίο έχει αρνητικό αντίκτυπο στον αριθμό των χρηστών που μπορούν να εξυπηρετηθούν.

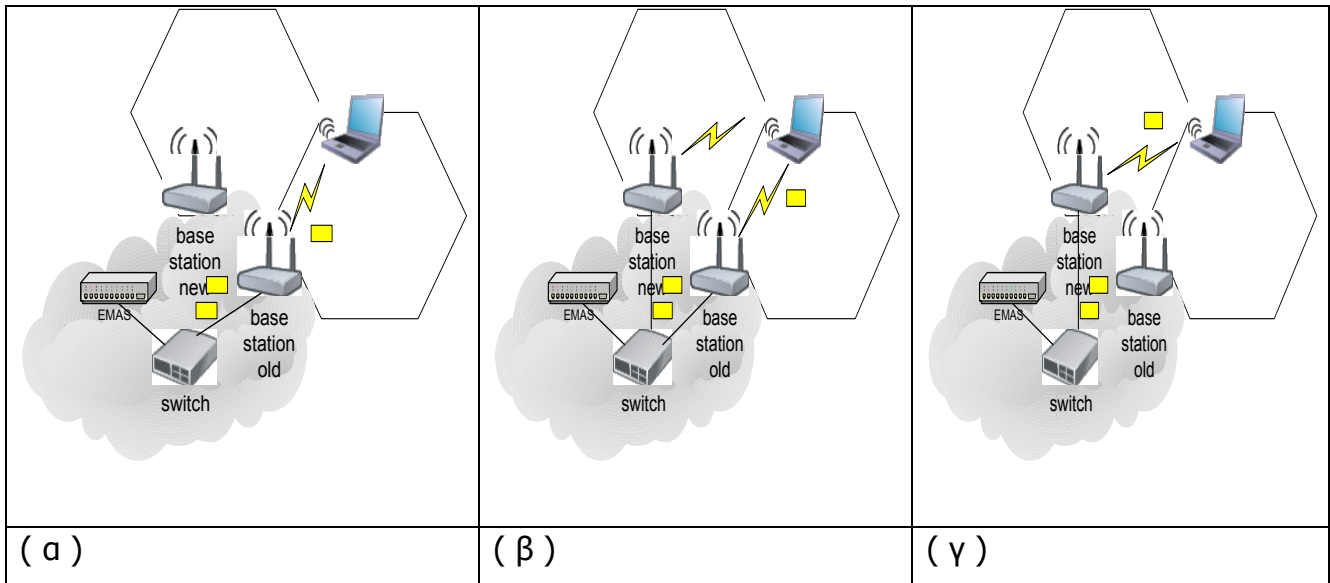
2.4.1.3 Διάταξη Soft Handover



Εικόνα 24 SOFT HANDOVER

Το soft handover επιτρέπει μια μεταβατική φάση κατά τη διάρκεια της οποίας πολλαπλές συνδέσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για επικοινωνία ταυτόχρονα με όλες αυτές να είναι ενεργές. Αυτή η σκέψη, η οποία έχει το πλεονέκτημα ότι εάν μια σύνδεση αποτύχει, το κινητό τερματικό μπορεί να εξακολουθεί την επικοινωνία χρησιμοποιώντας τις εναπομένουσες συνδέσεις, αναφέρεται ως πολλαπλο-κατανομική. Γι' αυτό το λόγο, η μεταφορά της σύνδεσης δεν είναι ευαίσθητη στον εναπομείναντα χρόνο μεταφοράς της σύνδεσης. Το soft handover μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρατείνει τον διαθέσιμο για την απόφαση handover χρόνο, χωρίς καμιά απώλεια του QoS. Αυτό επιτρέπει την μείωση στο ελάχιστο της διακοπής υπηρεσιών κατά την αλλαγή ανάμεσα στα κύτταρα. Παρ' όλα αυτά επιπρόσθετα από την αποδοτική χρήση του φάσματος συχνοτήτων, αυτό έχει ως αποτέλεσμα υπερβολικά επιπλέον πληροφορίες αφού τα πακέτα στέλνονται σε όλες τις συνδέσεις. Όμως υπάρχουν διάφορες προτάσεις τροποποιήσεων του soft handover για αύξηση της απόδοσης.

2.4.1.4 Διάταξη Handover Προβλεπόμενης Επαναδρομολόγησης



Εικόνα 25 HANDOVER ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗΣ ΕΠΑΝΑΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ

Το handover της προβλεπόμενης επαναδρομολόγησης προβλέπει τους «νέους» πιθανούς σταθμούς βάσης στηριζόμενο σε πληροφορίες αποθηκευμένες στο σύστημα διαχείρισης τοποθεσίας. Αυτοί οι σταθμοί βάσης συνενώνονται σε μια ομάδα από σταθμούς βάσης σχηματίζοντας ένα δέντρο πολλαπλής μετάδοσης, το οποίο δημιουργείται αρχικά όταν το κινητό τερματικό καταγραφεί στο σύστημα. Η ομάδα ενημερώνεται καθώς το κινητό τερματικό μετακινείται μέσα στην περιοχή κάλυψης του δικτύου. Σε αυτή την ομάδα, ο σταθμός βάσης που εξυπηρετεί ονομάζεται ενεργός ενώ οι υπόλοιποι ανενεργοί. Το handover τριγκάρεται όταν το κινητό τερματικό αποτύχει να λάβει το σήμα του σταθμού βάσης που το εξυπηρετεί πολλές φορές. Όταν αυτό συμβεί ο «νέος» σταθμός βάσης γίνεται ενεργός και ενημερώνει το δέντρο πολλαπλής μετάδοσης. Το δέντρο πολλαπλής μετάδοσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δυο διαφορετικούς τρόπους για να στείλει πακέτα πληροφοριών : είτε τα πακέτα στέλνονται μόνο στο ενεργό σταθμό βάσης ή είτε σε ολόκληρη την ομάδα των σταθμών βάσης. Στην τελευταία περίπτωση οι σταθμοί βάσης που είναι ανενεργοί αποθηκεύουν τα πακέτα και τα απορρίπτουν όταν αυτά λήξουν. Και στις δυο περιπτώσεις το πλεονέκτημα αυτού του διαγράμματος είναι ότι η σύνδεση είναι ήδη εγκατεστημένη προτού συμβεί το handover. Αφού το δέντρο ενημερώνεται μετά την απόκριση του handover, το διάστημα δράσης-αντίδρασης του handover έχει περιοριστεί

στο ελάχιστο (ο σκοπός αυτού του διαγράμματος). Παρ' όλα αυτά μια αρνητική πλευρά αυτού του διαγράμματος είναι ότι χρειάζεται υπερβολική πληροφορία σηματοδοσίας για την ενημέρωση του δέντρου πολλαπλής μετάδοσης, καθώς οι παραπάνω πληροφορίες στην περίπτωση των αντιγράφων πακέτων πληροφοριών στέλνονται σε όλα τα μέλη.

2.4.2 Διαγράμματα Κατανομής Καναλιού Handover

2.4.2.1 Διάταξη Handover Τρόπου Κράτησης

Το handover Κράτησης βασίζεται στην ιδέα να βάλει σε προτεραιότητα τις αιτήσεις handover για νέες κλήσεις. Αυτό πετυχαίνεται με το να κρατάει πόρους αποκλειστικά για τις αιτήσεις handover, οι οποίες μπορεί να εκτελούνται με υποθετικό ή μη υποθετικό τρόπο. Ενώ τα διαγράμματα υποθετικού τρόπου κράτησης κρατούν κανάλια στους πιθανούς σταθμούς βάσης, πριν από την άφιξη των κινητών τερματικών, βασισμένοι σε μελλοντικές υποθέσεις μονοπατιών χρησιμοποιώντας τιμές πιθανοτήτων και σχέδια κινητικότητας των μεμονωμένων κινητών τερματικών, τα διαγράμματα μη υποθετικού τρόπου κράτησης (ή διαγράμματα φύλαξης καναλιού Guard Channel Schemes) κρατούν μια ομάδα καναλιών αποκλειστικά για τις αιτήσεις handover. Με το να γίνεται αυτό οι αιτήσεις handover και οι νέες κλήσεις ανταγωνίζονται για τα εναπομείναντα κανάλια.

Τα διαγράμματα φύλαξης καναλιού μπορεί να χωριστεί σε δυναμικούς και στατικούς τύπους κράτησης σύμφωνα με το εάν η ομάδα των αποθεματικών καναλιών είναι προκαθορισμένη ή αλλάζει ανάλογα την κινητική κατάσταση. Η στατική διάταξη χρησιμοποιεί ένα κατώφλι για κάθε κύτταρο. Εάν ο αριθμός των καναλιών που χρησιμοποιούνται εκείνη τη στιγμή βρίσκονται κάτω από το κατώφλι, επιτρέπονται και οι νέες κλήσεις και οι αιτήσεις για handover. Εάν ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων καναλιών υπερβαίνει το καθορισμένο κατώφλι, οι εισερχόμενες κλήσεις μπλοκάρονται και εξυπηρετούνται μόνο οι αιτήσεις handover. Το βασικό πρόβλημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι η τιμή του κατωφλίου πρέπει να επιλεγθεί προσεκτικά, αλλιώς το προσφερόμενο φάσμα του συστήματος θα υπολειπουργεί και γι' αυτό θα είναι περιορισμένη η συνολική ποσότητα της διεξαχθείσας κίνησης. Η δυναμική διάταξη προσπαθεί να αποφύγει αυτό το πρόβλημα, ποικίλλοντας την ομάδα των εναπομεινάντων καναλιών σύμφωνα με την κατάσταση της κίνησης και την θέση των χρηστών. Αυτό έχει το πλεονέκτημα ότι η

διάταξη έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη χρήση του προσφερόμενου φάσματος. Για να κάνουμε δυναμικές ρυθμίσεις, απαιτείται κάποια μέθοδος παρακολούθησης της κινητικής κατάστασης, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την επιπλέον σηματοδότηση και υπολογισμό.

2.4.2.2 Διάταξη Handover Ουρών

Τα διαγράμματα ουρών handover απεικονίζουν μια επιπλέον τακτική της προτεραιότητας handover. Αυτά καθυστερούν το handover αντί να αρνούνται την πρόσβαση εάν το πιθανό «νέο» BS είναι απασχολημένο. Οι αιτήσεις του handover ουρών είναι δυνατές εξαιτίας του χρόνου που καταναλώνει μια κινητή συσκευή στις επικαλυπτόμενες περιοχές υπηρεσιών των κυττάρων. Σε αυτή την περιοχή το κινητό τερματικό μπορεί να επικοινωνήσει και με το BS που εξυπηρετεί και με το «νέο» BS. Όταν αρχικοποιηθεί ένα handover, εάν δεν υπάρχουν διαθέσιμα ελεύθερα κανάλια στο νέο κύτταρο, η αίτηση τοποθετείται σε μια ουρά περιμένοντας ένα ορισμένο χρονικό διάστημα για διαθέσιμα κανάλια. Καμιά καινούργια κλήση δεν δεσμεύει κανάλι, εάν δεν εξυπηρετηθούν οι αιτήσεις handover που βρίσκονται σε ουρά, πράγμα που γενικά έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της μεταφερόμενης προς παραδεχόμενης κίνησης.

Τα διαγράμματα ουρών μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε στατικά και δυναμικά διαγράμματα. Ενώ η στατική διάταξη εξυπηρετεί τα handover με έναν τρόπο first-come-first-served, τα δυναμικά διαγράμματα λαμβάνουν υπ' όψη το ρυθμό κλιμάκωσης στο ταυτόχρονο ασύρματο κανάλι και δυναμικά ξανατακτοποιεί τις αιτήσεις handover στην ουρά για να μειώσει την πιθανότητα της εξαναγκασμένης απόρριψης. Έτσι το σύστημα εξασφαλίζει ότι το κινητό τερματικό που θα φύγει πρώτο από την περιοχή handover θα έχει δοθεί το επόμενο διαθέσιμο κανάλι. Για να μπορέσει το σύστημα να υιοθετήσει την καινούργια κατάσταση της κίνησης χρειάζεται πληροφορίες, που μπορούν να αποκτηθούν είτε από το κινητό τερματικό είτε από το BS. Και οι δύο περιπτώσεις καταλήγουν σε επιπλέον υπολογισμούς ή σηματοδότηση.

Η έννοια των αιτήσεων ουρών έχει επίσης υιοθετηθεί από τα λεγόμενα διαγράμματα ανταλλαγής καναλιού, το οποίο κρατάει το δυναμικό για να βελτιστοποιήσει τις ιδιότητες ανάλυσης της παραπάνω προσέγγισης ουρών.

2.4.2.3 Διάταξη Handover Μεταφοράς Καναλιού

Στη διάταξη handover μεταφοράς καναλιού εάν δεν υπάρχουν κανάλια στο «νέο» BS, το κινητό τερματικό επιτρέπεται να συνεχίσει την χρήση του τωρινού καναλιού και να το μεταφέρει στο «νέο» κύτταρο. Η επικοινωνία τώρα επιτυγχάνεται μέσω του BS στο «νέο» κύτταρο χρησιμοποιώντας το «παλιό» κανάλι. Έτσι η διάταξη διασφαλίζει ότι μια κλήση που είναι σε εξέλιξη δεν θα τερματιστεί βίαια λόγω έλλειψης καναλιών. Αφού τα κανάλια δεν χρειάζονται να κρατούν αποθέματα εκ των προτέρων η αποτελεσματικότητα αυξάνεται. Αυτό επιτυγχάνεται χωρίς καμιά απαίτηση παγκόσμιας επικοινωνίας. Παρ' όλα αυτά, η μεταφορά ενός καναλιού σε ένα «νέο» κύτταρο έχει ως αποτέλεσμα επιπλέον αυξημένη σηματοδότηση εξαιτίας της επικοινωνίας με το γειτονικό κύτταρο για την διαπραγμάτευση του καναλιού, που υποτίθεται ότι είναι αμελητέα.

2.4.2.4 Διάταξη Handover Υπό-κατανομής Καναλιού

Σε σύγκριση με τα διαγράμματα που αναφέρθηκαν νωρίτερα, η διάταξη υπο-κατανομής καναλιού μπορεί να μεταφέρει το περισσότερο προσφερόμενο φορτίο από οποιαδήποτε άλλη διάταξη. Το επιτυγχάνει δημιουργώντας ένα καινούργιο κανάλι σε μια μπλοκαρισμένη θύρα για κάποια απόπειρα handover κατανέμοντας την υπάρχουσα σύνδεση. Η υπο-κατανομή σημαίνει ότι στην περίπτωση της μη διαθεσιμότητας καναλιών, ένα κανάλι πλήρους ρυθμού προσωρινά χωρίζεται σε δύο κανάλια του μισού του αρχικού ρυθμού. Με αυτό, το ένα μισό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξυπηρετήσει την υπάρχουσα σύνδεση και το άλλο μισό για την εξυπηρέτηση των αιτήσεων handover, έτσι ώστε οι εξαναγκασμένοι τερματισμοί των κλήσεων ουσιαστικά να εξαλειφθούν. Παρ' όλα αυτά, αυτή η βελτίωση επιτυγχάνεται με το κόστος της υποβάθμισης του QoS, που κάνει τη διάταξη κατάλληλη μόνο για απαιτήσεις χαμηλού εύρους ζώνης όπως η μετάδοση φωνής.

2.4.2.5 Διάταξη Handover Προσαρμοσμένης Προτεραιότητας

Στη handover προσαρμοσμένης προτεραιότητας έχει σχεδιαστεί για τις απαιτήσεις των υπηρεσιών πολυμέσων. Αφού αυτές είναι κυρίως ικανές να υιοθετήσουν και να ανταλλάξουν το QoS με αλλαγές στην χρήση του εύρους ζώνης. Η διάταξη παρέχει δύο τάξεις υπηρεσιών : την τάξη ευρείας ζώνης, ικανή να αντιμετωπίσει μια υποβάθμιση του QoS με το σχήμα της υπο-κατανομής του καναλιού και την τάξη της στενής ζώνης που δεν δέχεται οποιαδήποτε αλλαγή στο QoS. Οι κλήσεις που ανήκουν και στις δύο τάξεις γίνονται δεκτές μόνο εάν η κλήση μπορεί να εξασφαλίσει τις απαιτήσεις ολόκληρου του εύρους ζώνης. Εάν μια κλήση δεν μπορεί να λάβει ολόκληρο το εύρος ζώνης, μπλοκάρεται. Στην περίπτωση μιας αίτησης προσαρμοστικού handover με ανεπαρκές εύρος ζώνης, για να ικανοποιήσει το κανονικό QoS, η κλήση θα μεταχθεί με επιτυχία εάν τα «νέα» BSs μπορούν να παρέχουν ένα μικρότερο ποσοστό εύρους ζώνης ικανού για να καλύψει ένα χαμηλότερο αλλά ανεκτό QoS. Τα «νέα» BSs μπορούν να παραδώσουν το απαιτούμενο εύρος ζώνης για να υποστηρίξουν την κλήση υιοθετώντας το επίπεδο του QoS μιας ή περισσοτέρων υπάρχοντων κλήσεων που ήδη εξυπηρετούνται. Εάν η μεταγωγή είναι μη προσαρμοστικού τύπου, θα είναι επιτυχής μόνο εάν τα «νέα» BSs μπορούν να παρέχουν το εύρος ζώνης που χρειάζεται. Αυτό μπορεί να εξασφαλιστεί με τον ίδιο τρόπο για τις προσαρμοστικές κλήσεις.

Η διάταξη handover προσαρμοστικής προτεραιότητας εξασφαλίζει μειωμένη πιθανότητα αποτυχίας του handover, και έτσι επιτυγχάνει μικρότερη πιθανότητα μη αποδοχής του handover. Επιπλέον βελτιώνει το QoS που γίνεται αντιληπτό από τους χρήστες. Δεν περιλαμβάνει διαπραγματεύσεις σηματοδοσίας και υποδεικνύει τις αιτήσεις του εύρους ζώνης μιας σύνδεσης. Γενικά η διάταξη είναι κατάλληλο μόνο για περιορισμένα περιβάλλοντα και δεν είναι εφαρμόσιμο για τα περισσότερα συστήματα.

Διάταξη Handover	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Hard Handover	Αποτελεσματική χρήση του φάσματος των συχνοτήτων, οπότε δεν χαρμίζονται οι σπάνιοι πόροι. Επειδή δεν αντιγράφονται οι πληροφορίες, ελαχιστοποιούνται οι επιπλέον πληροφορίες.	Υπάρχει μικρή διακοπή των υπηρεσιών. Η υπερβολική επιπλέον διακοπή των υπηρεσιών μπορεί να οδηγήσει σε απόρριψη / τερματισμό της κλήσης.
Handover «χωρίς απώλειες»	Είναι αξιόπιστος τρόπος καθώς δεν υπάρχει διακοπή των υπηρεσιών.	Μη αποδοτική χρήση του φάσματος των συχνοτήτων. Υπάρχουν πολλές επιπλέον πληροφορίες.
Soft Handover	Υψηλά αξιόπιστος τρόπος (πολλές ενεργές ζεύξεις χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα χωρίς χάσιμο των υπηρεσιών). Καμία απώλεια του QoS δεν υπάρχει κατά την διάρκεια του handover.	Μη αποδοτική χρήση του φάσματος των συχνοτήτων. Υπάρχουν πολλές επιπλέον πληροφορίες.
Handover προβλεπόμενης επαναδρομολόγησης	Ελαχιστοποίηση του χρόνου δράσης – αντίδρασης του handover.	Υπάρχουν πιθανόν επιπλέον πληροφορίες. Υπάρχει υπερβολική επιπλέον σηματοδοσία.
Handover τρόπου κράτησης		
Στατική	Δεσμεύει μια ομάδα καναλιών για αιτήσεις handover.	Πιθανή υπολειτουργία του φάσματος συχνοτήτων.
Δυναμική	Δεσμεύει μια ομάδα καναλιών για αιτήσεις handover. Περισσότερο αποτελεσματική χρήση του φάσματος συχνοτήτων.	Υπερβολική επιπλέον πληροφορία σηματοδοσίας και υπολογισμών.
Προβλεπόμενης	Δεσμεύει μια ομάδα καναλιών για αιτήσεις handover. Αποτελεσματική χρήση του φάσματος συχνοτήτων.	Υπερβολική επιπλέον πληροφορία σηματοδοσίας και υπολογισμών.
Handover Ουρών		
Στατικό	Εύκολο στην υλοποίηση (Ουρά FIFO).	Υποβάθμιση των παραβλεπόμενων καναλιών (Ουρά FIFO).
Δυναμικό	Επαναδιευθέτηση των ουρών ανάλογα την υποβάθμιση των καναλιών.	Υπερβολική επιπλέον πληροφορία σηματοδοσίας και υπολογισμών.
Handover Μεταφοράς καναλιού	Αυξημένη αποτελεσματικότητα του συστήματος.	Επιπλέον πληροφορία σηματοδοσίας.
Handover Υπο-κατανομής καναλιού	Ουσιαστικά μηδενίζεται ο εξαναγκασμένος τερματισμός των κλήσεων.	Υποβάθμιση του QoS.
Handover Προσαρμοσμένης προτεραιότητας	Μπορεί να δεχθεί μια κλήση με λιγότερο εύρος συχνοτήτων από ότι απαιτεί μια κλήση.	Επιπλέον πληροφορία σηματοδοσίας. Χρειάζεται συνεχής μελέτη της ισχύος.

Εικόνα 26 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ HANDOVER

2.5 Περιγραφή του οπισθοδρομικού handover που αρχικοποιείται από το δίκτυο

Η εικόνα 28 απεικονίζει την ροή ελέγχου κατά την διάρκεια του οπισθοδρομικού handover. Θεωρούμε ότι ένα MT μετακινείται από την περιοχή που ελέγχεται από το BSC₁ στην περιοχή που ελέγχεται από το BSC₂.

Η σηματοδότηση του Handover έχει ως εξής :

1. Όταν το BSC₁ αποφασίσει ότι το MT πρέπει να ξεκινήσει την διαδικασία handover, στέλνει ένα μήνυμα **Αίτησης Handover (Handover Request (HOR))** και προς την σύνδεση της άνω ζεύξης και προς την σύνδεση της κάτω ζεύξης .
2. Αφού λάβει το μήνυμα HOR, το EMAS₁ αναγνωρίζει το COS (χρονική περίοδος [T₁ , T₂]) και προωθεί το HOR μήνυμα σε αυτό.
3. Το COS επιβεβαιώνει εάν μπορεί να δημιουργηθεί ένα καινούργιο μονοπάτι σύνδεσης με το BSC₂. Στην καταφατική περίπτωση, το COS στέλνει ένα μήνυμα **αποδοχής Handover (HandOver Confirm (HOC)** στο MT μέσω του BSC₁ . Διαφορετικά, η αίτηση HOR απορρίπτεται και το COS στέλνει ένα μήνυμα **Απόρριψης Handover (HandOver Denied (HOD))** .
4. Μόλις το πακέτο HOC MES μεταδοθεί, το COS ενημερώνει τον πίνακα δρομολόγησης της κίνησης προς την κάτω ζεύξη και αρχίζει να εκπέμπει την ροή των δεδομένων προς την κάτω ζεύξη , προτάσσοντας το μήνυμα **Εκκίνησης της Ροής των Δεδομένων της κάτω ζεύξης (Start Data Flow (SDF_{DOWN})** , προς το BSC₂ , αυτά τα πακέτα αποθηκεύονται στον προσωρινό καταχωρητή handover (downstream handover buffer) της κάτω ζεύξης στο BSC₂ , μέχρι να μπορούν να παραδοθούν στο MT μέσω της ασύρματης επικοινωνίας (χρονική περίοδος [δ₁ , δ₃]). Η μετάδοση του HOC και του SDF_{DOWN} , και ίσως να μπορούν να συγχωνευτούν στο ίδιο πακέτο μηνύματος , αφού η μετάδοση του HOC μπορεί να καθυστερήσει αφού οι πίνακες δρομολόγησης της κίνησης προς την κάτω ζεύξη να έχουν ενημερωθεί.
5. Ενώ περιμένει το HOC μήνυμα, το MT συνεχίζει να μεταδίδει (και να λαμβάνει) πακέτα δεδομένων από την αρχική σύνδεση άνω (και κάτω) ζεύξης . Αφού λάβει το HOC μήνυμα, το MT ολοκληρώνει την μετάδοση άνω ζεύξης μέσω του BSC₁ αποσυνδεδεμένο από το BSC₁

στέλνοντας σε αυτό το μήνυμα **Λήξης της Ροής των Δεδομένων (End Data Flow (EDF))** .

6. Η μετάδοση της άνω ζεύξης επαναλειτουργεί την χρονική στιγμή t_4 όταν έχει δημιουργηθεί η ασύρματη ζεύξη ανάμεσα στο MT και το BSC₂ ` εν τω μεταξύ το MT αποθηκεύει την παραγόμενη κίνηση στους προσωρινούς του καταχωρητές μετάδοσης (transmission buffer) (χρονική περίοδος [t_3 , t_4]) .

7. Όταν το μήνυμα EDF φτάσει στο COS, ενημερώνεται ο πίνακας δρομολόγησης της κίνησης προς την άνω ζεύξη στον μεταγωγέα (χρονική περίοδος [T_3 , T_4]) και το μήνυμα **Ετοιμότητας της Άνω Ζεύξης (Upstream Link Ready (ULR))** μεταδίδεται στο BSC₂ , για να τον ενημερώσει ότι το μονοπάτι σύνδεσης της άνω ζεύξης έχει επαναδρομολογηθεί.

8. Αφού ανασυσταθεί η ασύρματη ζεύξη, το MT στέλνει το μήνυμα της **Έναρξης της Ροής Δεδομένων στην άνω ζεύξη (Start Data Flow on the Upstream connection (SDF_{UP}))** και αρχίζει να μεταδίδει τα πακέτα δεδομένων της άνω ζεύξης στο BSC₂ , και από την άλλη μεριά το BSC₂ αρχίζει να μεταδίδει πακέτα στο MT μέσω της ασύρματης κάτω ζεύξης. Τα πακέτα που φτάνουν στο BSC₂ από το MT, αποθηκεύονται στον προσωρινό handover καταχωρητή της άνω ζεύξης (upstream handover buffer) μέχρι να το μήνυμα URL να φτάσει στο BSC₂ (χρονικό διάστημα [δ_2 , δ_5]) .

9. Το πρωτόκολλο handover τελειώνει όταν το μήνυμα SDF_{UP} έχει προωθηθεί από το BSC₂ στο COS μέσω του καινούργιου ενσύρματου μονοπατιού σύνδεσης.

Η διαδικασία Handover θα μπορούσε να τερματιστεί με ένα λίγο διαφορετικό τρόπο, αποθηκεύοντας τα πακέτα της άνω ζεύξης μόνο στο MT και επαναλειτουργώντας την μετάδοση της άνω ζεύξης όταν φτάσει το URL μήνυμα που προωθείται στο MT. Αυτό είναι απόλυτα εφαρμόσιμο και ένα πρωτόκολλο που θα παρείχε και τις δύο λύσεις θα μπορούσε εύκολα να υπολογιστεί. Όμως η προσωρινή αποθήκευση στο BSC είναι προτιμότερη γιατί μειώνει ελαφρά την χρονική καθυστέρηση του Handover και εξάλλου η αποθήκευση των πακέτων και της άνω ζεύξης και της κάτω ζεύξης στο δεν είναι βαρύ φορτίο για το BSC.

Το « χωρίς απώλειες» handover απαιτεί εντός ζώνης σηματοδosis μέσα σε κάθε σύνδεση και μονάδες προσωρινής αποθήκευσης (buffering) στο δίκτυο. Τα αποτελέσματα των μεταβατικών ενοχλήσεων του handover μπορούν να ελαχιστοποιηθούν, ανάλογα το πώς υλοποιείται η επαναδρομολόγηση κατά τη διάρκεια του handover.

Το COS μπορεί να επιλεγεί με διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με το πώς εκτελείται η επαναδρομολόγηση κατά την διάρκεια του handover :

(α) Προέκταση του Νοητού Κυκλώματος VC.

Σε αυτή την περίπτωση, ένα κομμάτι της σύνδεσης εγκαθίσταται ανάμεσα στα «παλιό» και το «νέο» EMAS-Es. Το «παλιό» EMAS-E συνεπώς γίνεται COS.

(β) Επαναδρομολόγηση βασισμένη σε άγκυρα.

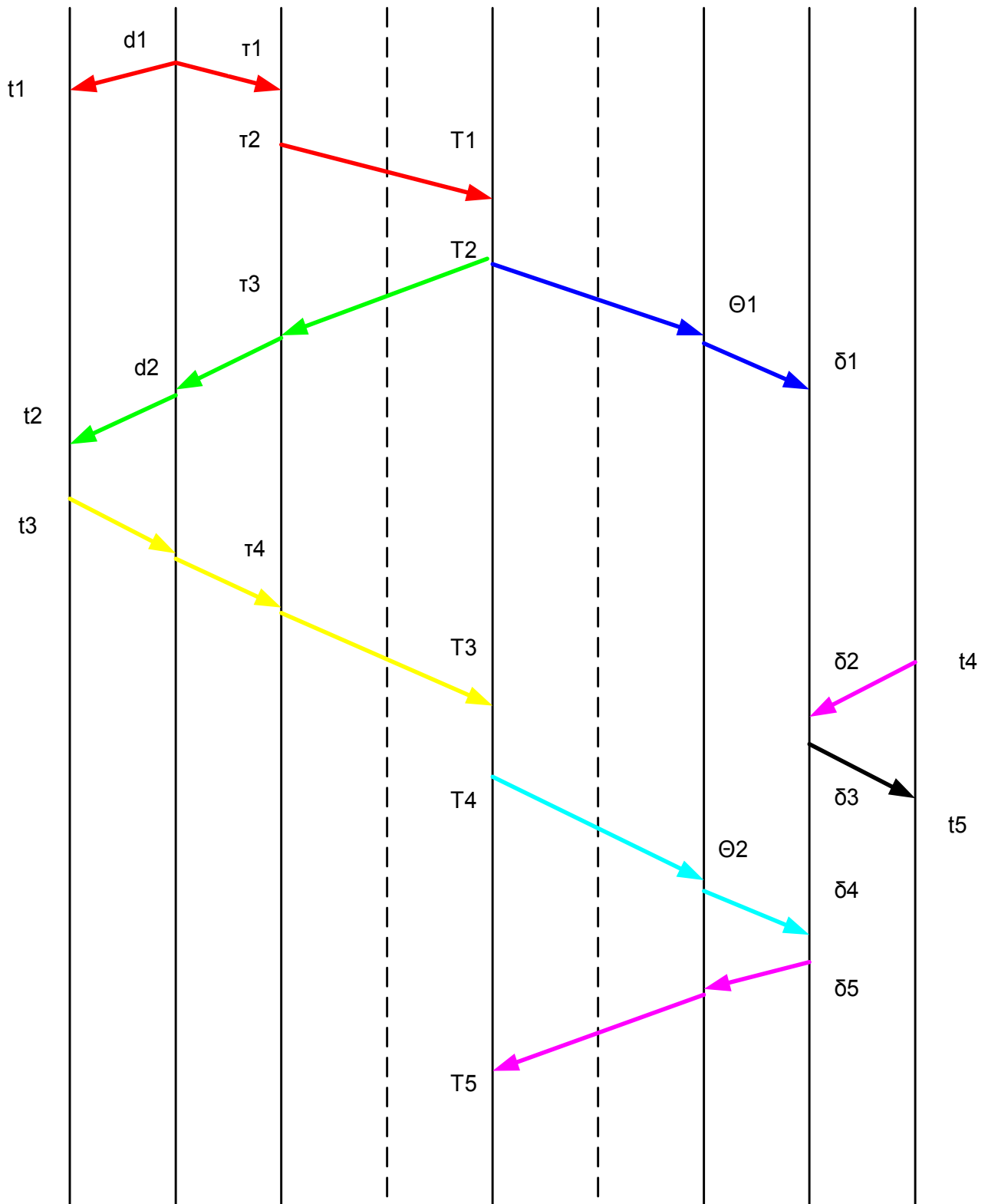
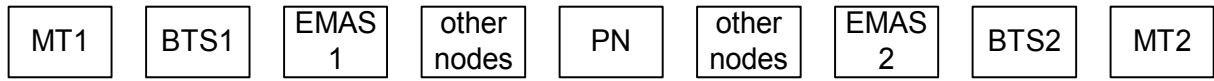
Σε αυτή την περίπτωση, επιλέγεται μόνιμα ένα EMAS στο μονοπάτι σύνδεσης ως COS και χρησιμοποιείται σε όλα τα handovers που περιλαμβάνει η σύνδεση. Ένα τέτοιο COS μπορεί να εγκατασταθεί μέσω διαμόρφωσης ή επιλογής όταν δημιουργείται αρχικά η σύνδεση. Κατά την διάρκεια του handover, εγκαθίσταται ένα νέο κομμάτι σύνδεσης από το «νέο» EMAS-E στο COS και το υπάρχων τμήμα ανάμεσα στο COS και το «παλιό» EMAS-E απελευθερώνεται.

(γ) Δυναμική αναζήτηση COS.

Σε αυτή την περίπτωση, το COS επιλέγεται δυναμικά.

Περιγραφή μηνυμάτων Handover	
<u>Αίτηση Έναρξης Handover</u> HOR = Handover Request	Αίτηση για την έναρξη της διαδικασίας Handover, το στέλνει ο σταθμός βάσης (BTS1) προς όλες τις κατευθύνσεις όταν καταλάβει ότι πρέπει να γίνει ένα Handover.
<u>Αδειοδότηση έναρξης Handover</u> HOC = Handover Confirm	Μήνυμα επιβεβαίωσης ότι μπορεί να διεξαχθεί η διαδικασία Handover, στέλνεται από τον μεταγωγέα crossover όταν αυτός εξασφαλίσει ότι υπάρχουν αρκετοί πόροι για να διεξαχθεί το Handover.
<u>Μη-αδειοδότηση έναρξης Handover</u> HOD = Handover Denied	Μήνυμα απόρριψης της διαδικασίας Handover, συνήθως εξαιτίας ανεπαρκών πόρων.
<u>Έναρξη αποστολής δεδομένων</u> SDF _{DOWN} = Start Data Flow on the Downstream Connection	Έναρξη αποστολής των δεδομένων από τον μεταγωγέα crossover προς το BTS2.
<u>Τέλος ροής μηνυμάτων</u> EDF = End Data Flow	Μήνυμα τέλους της ροής των μηνυμάτων από το κινητό τερματικό προς το BTS1.
<u>Ετοιμότητα της ζεύξης προς το BTS2</u> ULR = Upstream Link Ready	Μήνυμα ετοιμότητας και ολοκλήρωσης της ζεύξης προς το νέο σταθμό βάσης, ώστε να αρχίσει η ροή δεδομένων.
<u>Έναρξη αποστολής δεδομένων</u> SDF _{UP} = Start Data Flow on the Upstream Connection	Έναρξη αποστολής των δεδομένων από το κινητό τερματικό προς το BTS2

Εικόνα 27 Τα είδη των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται ανάμεσα στις δικτυακές οντότητες κατά την διάρκεια του HARD BACKWARD NETWORK-INITIATED HANDOVER.

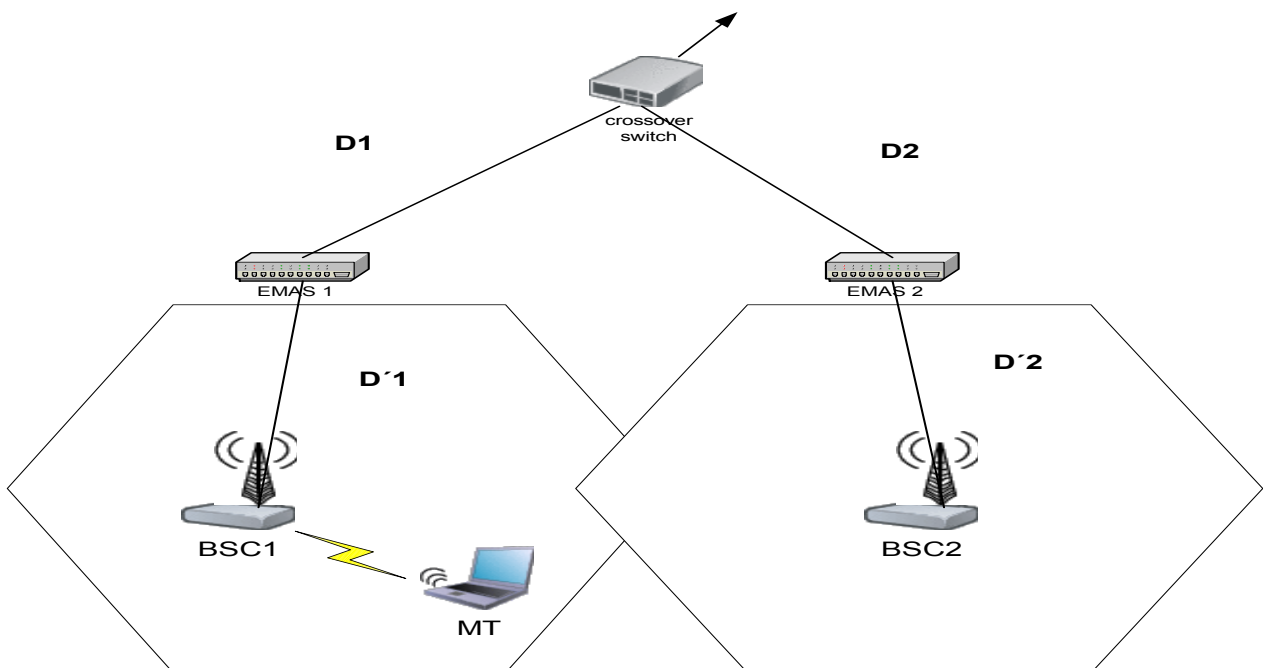


Εικόνα 28 Η ΡΟΗ ΤΩΝ ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΕΝΑ HARD ΟΠΙΣΘΙΟ HANDOVER ΠΟΥ ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ.

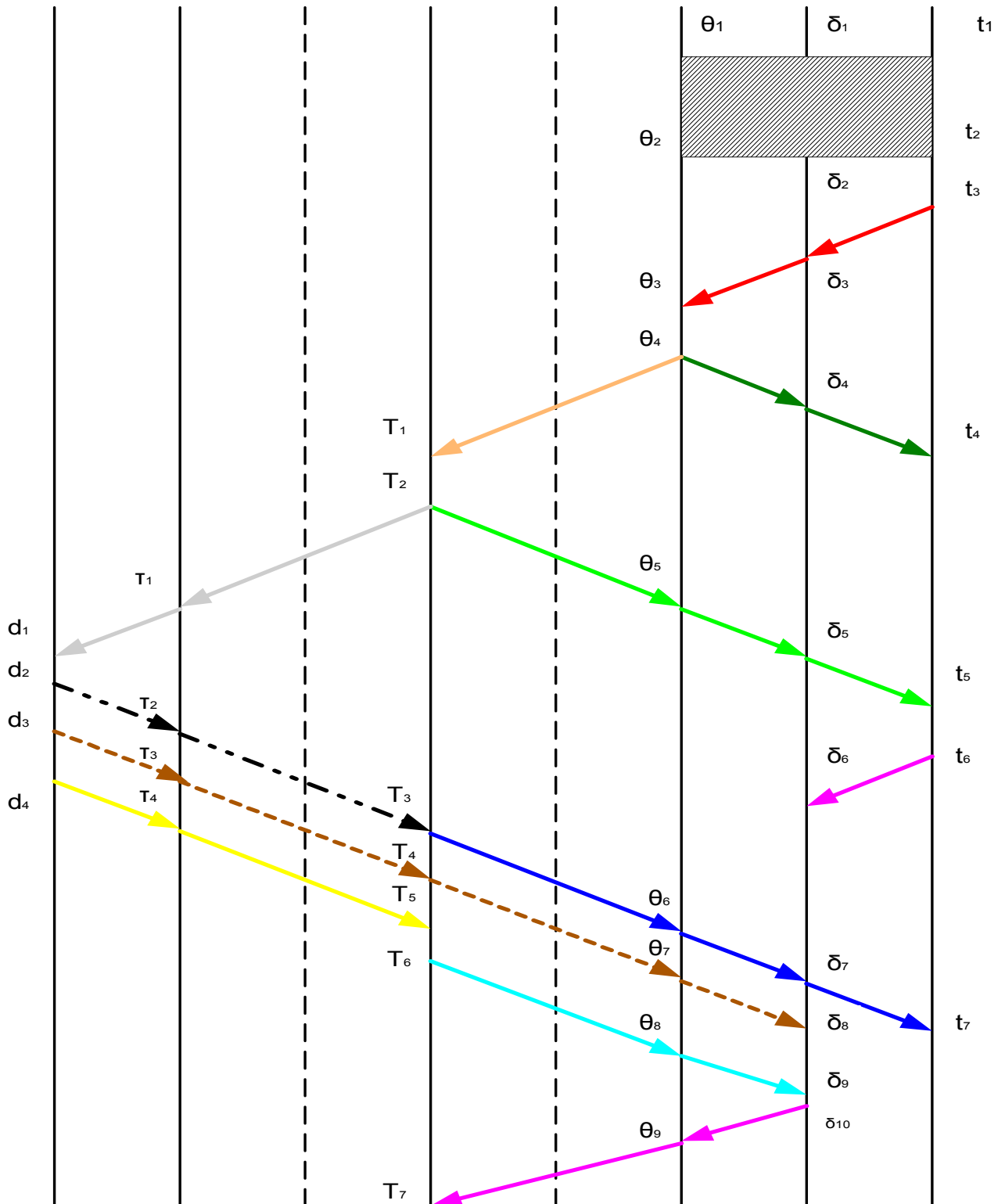
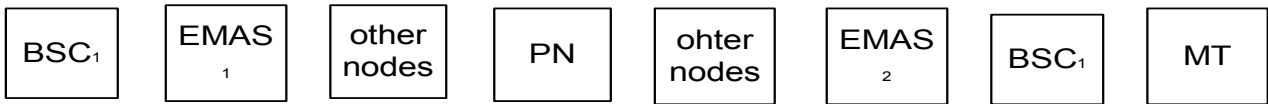
2.6 Περιγραφή του Εμπρόσθιου Handover που αρχικοποιείται από το κινητό τερματικό

Η ανάγκη για την διαμόρφωση αυτού του handover πηγάζει από την πιθανότητα μιας ξαφνικής διακοπής της ασύρματης ζεύξης ανάμεσα στο κινητό τερματικό και τον σταθμό βάσης 1, μια πιθανότητα η οποία είναι πολύ ρεαλιστική σε ένα δίκτυο με μεγάλο εύρος ζώνης και κανάλια υψηλών συχνοτήτων παρά σε κυψελωτά δίκτυα στενής ζώνης. Όπως φαίνεται από την εικόνα 29, η ζεύξη του κινητού τερματικού στο σταθμό βάσης BSC1 (ο σταθμός βάσης στον οποίο ήταν συνδεδεμένο το κινητό τερματικό πριν χαθεί η ζεύξη), δεν λογαριάζεται καθόλου, καθώς δεν παίζει κανένα ρόλο στην διαδικασία του handover αφού υποθέτουμε ότι η ζεύξη επανα-δραστηριοποιείται μέσω κάποιου άλλου διαφορετικού από το πρώτο BSC. Το κινητό τερματικό προσπαθεί να επανασυνδεθεί στο δίκτυο και έρχεται σε επαφή με ένα BSC διαφορετικό από το προηγούμενο στην χρονική στιγμή t_1 . Για χάρη απλότητας θεωρούμε ότι η ζεύξη διακόπηκε στην χρονική στιγμή t_0 .

Αφού δεν υπάρχει ενεργή σύνδεση ανάμεσα στο κινητό τερματικό και το δίκτυο, η χρήση της ενδοκαναλικής σηματοδότησης είναι απαραίτητη για να ξεκινήσει η διαδικασία handover, αφού μια φάση σηματοδότησης πρέπει να προηγηθεί για να καταχωρηθεί το κινητό τερματικό.



Εικόνα 29 Η ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HANDOVER.



Εικόνα 30 Η ΡΟΗ ΤΩΝ ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ ΣΤΟ HARD FORWARD ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΑΠΟ ΤΟ ΚΙΝΗΤΟ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ HANDOVER

Περιγραφή μηνυμάτων Handover	
Αίτηση Έναρξης Handover HOR = Handover Request	Αίτηση για την έναρξη της διαδικασίας Handover, το στέλνει ο σταθμός βάσης (BTS1) προς όλες τις κατευθύνσεις όταν καταλάβει ότι πρέπει να γίνει ένα Handover.
Αδειοδότηση έναρξης Handover HOC = Handover Confirm	Μήνυμα επιβεβαίωσης ότι μπορεί να διεξαχθεί η διαδικασία Handover, στέλνεται από τον μεταγωγέα crossover όταν αυτός εξασφαλίσει ότι υπάρχουν αρκετοί πόροι για να διεξαχθεί το Handover.
Μη-αδειοδότηση έναρξης Handover HOD = Handover Denied	Μήνυμα απόρριψης της διαδικασίας Handover, συνήθως εξαιτίας ανεπαρκών πόρων.
Έναρξη αποστολής δεδομένων SDF_{DOWN} = Start Data Flow on the Downstream Connection	Έναρξη αποστολής των δεδομένων από τον μεταγωγέα crossover προς το BTS2.
Τέλος ροής μηνυμάτων EDF = End Data Flow	Μήνυμα τέλους της ροής των μηνυμάτων από το κινητό τερματικό προς το BTS1.
Ετοιμότητα της ζεύξης προς το BTS2 ULR = Upstream Link Ready	Μήνυμα ετοιμότητας και ολοκλήρωσης της ζεύξης προς το νέο σταθμό βάσης, ώστε να αρχίσει η ροή δεδομένων.
Έναρξη αποστολής δεδομένων SDF_{UP} = Start Data Flow on the Upstream Connection	Έναρξη αποστολής των δεδομένων από το κινητό τερματικό προς το BTS2

Εικόνα 31 ΤΑ ΜΗΝΥΜΑΤΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΝΟΣ HARD FORWARD MOBILE-INITIATED HANDOVER

1.Ο χρόνος που απαιτείται για την φάση σηματοδότησης πριν την διαδικασία του handover υπογραμμίζεται με την σκιαγραφημένη περιοχή στην εικόνα 30 και ορίζεται από τα t_1 , t_2 , θ_1 και θ_2 . Σε αυτό το χρονικό διάστημα, το κινητό τερματικό πρέπει να δηλώσει στο σταθμό βάσης 2 BSC2, ότι η αίτηση σύνδεσης δεν αναφέρεται σε μια καινούργια σύνδεση αλλά είναι για το σκοπό του handover και ότι νωρίτερα ήταν συνδεδεμένο με το BSC1.

2. Από την χρονική στιγμή t_3 και μετά, μπορεί να ξαναρχίσει η ενδοκαναλική σηματοδότηση και το κινητό τερματικό στέλνει το μήνυμα HOR στο BSC με το οποίο μόλις συνδέθηκε.

3. Ως αναγνώριση για την επαναδραστηριοποίηση της διαδικασίας, το EMAS₂ στέλνει ένα **μήνυμα καλωσορίσματος WEL** στο κινητό τερματικό.

4. Ένώ ταυτόχρονα στέλνει το μήνυμα επαναδραστηριοποίησης του handover στον μεταγωγέα διασταύρωσης, απαιτώντας την εκτέλεση της διαδικασίας του handover. Το χρονικό διάστημα $[\theta_3, \theta_4]$ χρησιμοποιείται για την αναγνώριση του μεταγωγέα διασταύρωσης. Αφού σε αυτή την περίπτωση ο σταθμός βάσης BSC₂ δεν γνωρίζει το μονοπάτι της σύνδεσης προτού η σύνδεση με το κινητό τερματικό ξαναρχίσει, η παραπάνω διαδικασία μπορεί να απαιτήσει ένα καθόλου ασήμαντο χρονικό κομμάτι.

5. Εάν ο μεταγωγέας διασταύρωσης δεν μπορεί να βρεθεί έγκαιρα, ή εάν δεν μπορεί να δημιουργηθεί μια καινούργια σύνδεση, το δίκτυο (είτε το EMAS₂, είτε ο μεταγωγέας διασταύρωσης) μεταδίδει ένα HOD μήνυμα απόρριψης handover' διαφορετικά αναγνωρίζει το αιτούμενο handover στέλνοντας ένα HOC μήνυμα επιβεβαίωσης ότι θα αρχίσει την διαδικασία handover.

6. Κατόπιν το κινητό τερματικό₂ τις upstream πληροφορίες στο σταθμό βάσης BSC₂, το οποίο αποθηκεύει τα δεδομένα μέχρι η upstream σύνδεση στο δίκτυο να είναι έτοιμη.

7. Κατά την χρονική διάρκεια $[T_2, T_5]$, ο μεταγωγέας διασταύρωσης επικοινωνεί με το BSC₁ επανακτά τις downstream και upstream πληροφορίες που είχαν αποθηκευτεί στο BSC₁ όταν χάθηκε η ασύρματη ζεύξη. Όταν το BSC₁ αρχίζει να αδειάζει τα τους προσωρινούς καταχωρητές προς την κάτω ζεύξη (downstream buffer) που σχετίζονται με το κινητό τερματικό που βρίσκεται στην διαδικασία handover, στέλνει το μήνυμα της **κατάστασης των προσωρινών καταχωρητών της κάτω ζεύξης Downstream buffer Status (BST_{DOWN})** στο μεταγωγέα διασταύρωσης. Αυτές οι πληροφορίες που προέρχονται από το BSC₁ προωθούνται από τον μεταγωγέα διασταύρωσης στο κινητό τερματικό.

8. Το **μήνυμα κατάστασης των προσωρινών καταχωρητών της άνω ζεύξης Upstream buffer Status (BST_{UP})** σταματάει την ροή των δεδομένων που παραδίδονται στο κινητό τερματικό και αρχίζει την ροή των upstream δεδομένων που ο μεταγωγέας διασταύρωσης πρέπει να προωθήσει στο απομακρυσμένο τερματικό. Διασαφηνίζω ότι αφού το BSC₁ μπορεί να συνεχίσει να προωθεί τα πακέτα στον

μεταγωγέα διασταύρωσης μετά την αποσύνδεση του από το κινητό τερματικό, συνήθως το upstream buffer του BSC_1 είναι άδειο : σε αυτή την περίπτωση τα μηνύματα BST_{up} και EDF συμπίπτουν και μπορούν να σταλούν μέσα στο ίδιο πακέτο MES. Τα τρία μηνύματα BST_{DOWN} , BST_{up} και EDF θα τα κρατήσουμε χωριστά στην επεξήγηση του πρωτοκόλλου για χάρη του συνόλου και της γενικότητας, αν και τα upstream buffers θα πρέπει πάντα να είναι άδεια. Είναι καθαρά απόφαση υλοποίησης το εάν θα πρέπει να συγχωνεύσουμε μερικά από αυτά τα μηνύματα ή όχι ' παρ' όλα αυτά σε μερικές προσομοιώσεις η ύπαρξη του upstream buffer μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη, αν όχι απαραίτητη. Για παράδειγμα, εάν τα upstream και downstream ασύρματα κανάλια επιτυγχάνονται με αμφίδρομη διαίρεση συχνότητας, μπορεί να συμβεί το downstream κανάλι να διακοπεί ενώ το upstream κανάλι να είναι καλό και το κινητό τερματικό να εξακολουθεί να μεταδίδει πακέτα ενώ προσπαθεί να επικοινωνήσει με ένα καινούργιο σταθμό βάσης.

9.Αφού τελειώσει η ροή από το BSC_1 , ο μεταγωγέας διασταύρωσης ενημερώνει τους upstream πίνακες δρομολόγησης και στέλνει το μήνυμα URL στο BSC_2 .

10. Με την αποστολή του μηνύματος SDF_{UP} στο μεταγωγέα διασταύρωσης, το BSC_2 ολοκληρώνει την διαδικασία του handover και αρχίζει να αδειάζει το upstream handover buffer.

Στην εικόνα 30, τα πακέτα που έρχονται από το απόμακρο άκρο της σύνδεσης, αρχίζοντας από την χρονική στιγμή T_2 , θα πρέπει να προωθούνται στο BSC_2 , όπως επίσης και τα πακέτα που επανακτώνται από το BSC_1 . Αφού είναι επιλογή μας να αποθηκεύουμε μόνο στο BSC_2 , και όχι στον μεταγωγέα διασταύρωσης, ένα βοηθητικό νοητό κανάλι θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την μεταφορά των πακέτων από το BSC_1 στο BSC_2 .

Στις διαδικασίες του forward handover, η απλή διάταξη αποθήκευσης που παρέχεται από το BSC_2 στα οπισθοδρομικά handovers δεν επαρκεί για να διασφαλίσει ένα handover «χωρίς απώλειες» με παράδοση των πακέτων σε σειρά. Για να παραδοθούν τα πακέτα κάτω ζεύξης με την κατάλληλη σειρά, αυτά που επανακτώνται από το BSC_1 θα πρέπει να αποθηκεύονται σε μια ουρά λογικά διαφορετική από αυτή του προσωρινού καταχωρητή της κάτω ζεύξης που χρησιμοποιήθηκε για να συλλέξει την ροή των δεδομένων από το απόμακρο άκρο της σύνδεσης. Η προώθηση του μηνύματος BST_{UP} στο BSC_2 υποδηλώνει ότι όλα τα πακέτα έχουν ανακτηθεί από το BSC_1 και οι δύο προσωρινοί καταχωρητές της

κάτω ζεύξης μπορούν να ενωθούν για να μεταδώσουν όλα τα πακέτα με την σωστή σειρά στο κινητό τερματικό.

2.7 Ανάλυση των χρονικών καθυστερήσεων και των προϋποθέσεων των buffer

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσω μια αναλυτική μέθοδο για την εκτίμηση της μέγιστης επιπρόσθετης καθυστέρησης που εισάγονται με τις διαδικασίες του handover (και είναι μια καθοριστική παράμετρος για τις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου), καθώς και τις προϋποθέσεις που πρέπει να υπάρχουν για ένα handover στα BSCs. Οι δύο παραπάνω παράγοντες συνδέονται στενά καθώς εάν οι αποθηκευτικές ικανότητες του δικτύου είναι περιορισμένες τα δεδομένα μπορεί να χαθούν αλλά και να οδηγήσει μια σημαντικότερη καθυστέρηση στην ολοκλήρωση της διαδικασίας του handover.

Η ανάλυση που παρουσιάζεται στηρίζεται στην περίπτωση του εμπρόσθιου αρχικοποιημένου από το κινητό τερματικό handover, που περιγράψαμε παραπάνω αλλά είναι αρκετά γενικό και μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε διαδικασία handover, άσχετα με το ποια τεχνική σηματοδότησης έχει υιοθετηθεί. Η μοναδική απλουστευμένη παραδοχή που κάνουμε είναι ότι ο προσωρινός καταχωρητής της άνω ζεύξης στο BSC₁ είναι άδειο όταν το κινητό τερματικό επανασυνδέεται στο δίκτυο, πράγμα το οποίο είναι μια λογική υπόθεση.

Η λογική της ανάλυσης είναι ο υπολογισμός για κάθε εξεταζόμενο προσωρινό καταχωρητή, για το χρονικό διάστημα T , που υποδηλώνεται με το I , κατά την διάρκεια του οποίου ο κάθε προσωρινός καταχωρητής που εμπλέκεται στην διαδικασία γεμίζει και αδειάζει. Η μέγιστη κατοχή των προσωρινών καταχωρητών συμπεραίνεται από την διαφορική ροή των πακέτων που εισάγονται στους προσωρινούς καταχωρητές που εξετάζουμε. Η κάτω γραφή D , U και A αναφέρονται στα downstream, upstream και βοηθητικά buffer αντίστοιχα ενώ η άνω γραφή (1, 2) αναφέρεται στα BSC₁ και BSC₂ αντίστοιχα. Όλα τα μεγέθη που είναι τυχαίες διαδικασίες αναφέρονται στην εικόνα 32.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ HANDOVER	
PCR , SCR	Ο μέγιστος και ο σταθερός ρυθμός των πακέτων των VBR συνδέσεων . Ο πρώτος ρυθμίζεται να είναι ίσος με την χωρητικότητα της ασύρματης ζεύξης
AVCR	Ο ρυθμός των πακέτων του βοηθητικού νοητού καναλιού DBR.
L_o	Το μέσο προσφερόμενο φορτίο ανά σύνδεση.
T_p	Η καθυστέρηση μετάδοσης των πακέτων στην ασύρματη ζεύξη.
T_{REG}	Η διάρκεια της φάσης καταχώρησης ($[\theta_2 - \theta_1]$ στην εικόνα 19).
T_{UPD}	Ο χρόνος που απαιτείται για να ενημερωθούν οι πίνακες δρομολόγησης των ATM μεταγωγέων και για να κατασκευαστούν τα επιπρόσθετα μονοπάτια στην τρέχουσα σύνδεση.
T_{COS}	Ο χρόνος που χρειάζεται για να αναγνωρισθεί ο μεταγωγέας διασταύρωσης ($[\theta_4 - \theta_3]$ στην εικόνα 19).
T_{SCR} , T_{PCR} , T_{AVCR}	Τα χρονικά διαστήματα ανάμεσα σε δύο διαδοχικές μεταδόσεις πακέτων στους ρυθμούς PCR , SCR και AVCR αντίστοιχα.
γ_{COS} , γ_{BSC} , γ_{MT}	Η καθυστέρηση επεξεργασίας των πακέτων MES στα COS, BSC και στο κινητό τερματικό αντίστοιχα.
ξ_{MES} , ξ_{mes}	Ο χρόνος ανάμεσα στην δημιουργία (άφιξη) ενός πακέτου MES στο κινητό τερματικό (ενν. το BSC) και την μετάδοση του στην ασύρματη ζεύξη ' προϋποτίθεται ότι οι τιμές είναι ομαλά κανονικοποιημένες ανάμεσα στο $[0 , T_{SCR}]$.
D_i' , D_i	Η καθυστέρηση μετάδοσης των πακέτων ανάμεσα στα BSC_i και το $EMAS_i$ και το $EMAS_i$ και το COS, αντίστοιχα.

Εικόνα 32 ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΩΝ ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ HANDOVER.

Αναφερόμενοι στην εικόνα 30, η χρονική στιγμή d_0 στο BSC_1 αναφέρεται στην ξαφνική διακοπή της ασύρματης ζεύξης. Από την χρονική στιγμή d_0 και μετά η ροή των δεδομένων που μεταδίδονται από τον ασύρματο χρήστη στο BSC_1 δεν μπορούν να παραδοθούν στο κινητό τερματικό και τα πακέτα πρέπει να αποθηκευτούν στο downstream buffer στο BSC_1 . Τα πακέτα αποθηκεύονται μέχρι την χρονική στιγμή d_2 όπου το buffer αρχίζει να αδειάζει.

Έτσι, πακέτα αποθηκεύονται στο BSC_1 κατά την χρονική διάρκεια

$$I_{[d_0, d_2]}^{(1)} = T_{REG} + T_P + \xi_{HOR} + D_1 + D_1' + D_2 + D_2' + \gamma_{BSC} + 2\gamma_{EMAS} + \gamma_{COS} + T_{UPD} + T_{COS}$$

(1)

Θεωρώντας ότι τα $\gamma_{BSC} + \gamma_{EMAS} + \gamma_{COS}$ είναι αμελητέα, ο παραπάνω τύπος γίνεται :

$$I_{[d_0, d_2]}^{(1)} = T_{REG} + T_P + \xi_{HOR} + D_1 + D_1' + D_2 + D_2' + T_{UPD} + T_{COS}$$

(2)

Συνεπώς, ο μέγιστος αριθμός πακέτων που αποθηκεύονται στο downstream buffer στο BSC₁ είναι

$$\eta_D^{(1)} = \frac{I_{[d_0, d_2]}^{(1)} \cdot L_o}{424}$$

(3)

Όπου 424 είναι τα bits ενός πακέτου ATM (53 bytes * 8 bits = 424 bits).

Από την χρονική στιγμή d_2 , το BSC₁ αρχίζει την μετάδοση των αποθηκευμένων πακέτων στο AVCR, μετά ο χρόνος που χρειάζεται για να αδειάσει το downstream buffer είναι

$$I_{[d_2, d_3]}^{(1)} = \eta_D^{(1)} \cdot \tau_{AVCR}$$

(4)

Ο ολικός χρόνος κατοχής του downstream buffer στο BSC₁ μπορεί να γραφτεί σύμφωνα με την παραδοχή των αμελητέων χρόνων επεξεργασίας των πακέτων ως

$$I_D^1 = I_{[d_0, d_1]}^{(1)} + I_{[d_2, d_3]}^{(1)}$$

(5)

Τα πακέτα μεταφέρονται από το BSC₁ στο κινητό τερματικό μέσω του BSC₂ στην ασύρματη ζεύξη σε PCR. Εάν AVCR > PCR , τα πακέτα αποθηκεύονται στο βοηθητικό downstream buffer στο BSC₂ , αλλιώς τα πακέτα απλώς διασχιίζουν αυτόν τον buffer. Ο χρόνος που χρειάζεται για να παραδοθούν όλα τα πακέτα που προέρχονται από το BSC₁ στο κινητό τερματικό είναι

$$I_A^{(2)} = (\eta_D^{(1)} + 1) \tau_{PCR}$$

(6)

Όπου ένα επιπλέον πακέτο που αντιπροσωπεύει το μήνυμα SDF_{DOWN} πρέπει να προστεθεί στο $\eta_D^{(1)}$. Ο μέγιστος αριθμός πακέτων που μπορούν να αποθηκευτούν στο βοηθητικό downstream buffer είναι

$$\eta_A^{(2)} = \frac{\eta_D^{(1)} + 1}{AVCR} (AVCR - PCR)$$

(7)

Τα πακέτα που έρχονται από τον ασύρματο χρήστη και στέλνονται από το COS στο BSC₂ δεν μπορούν να μεταδοθούν στο κινητό τερματικό μέχρι να τελειώσει η ροή των πακέτων από το BSC₁. Λαμβάνοντας υπ' όψιν την μετάδοση του μηνύματος BST_{UP} και αγνοώντας τους χρόνους επεξεργασίας, το χρονικό διάστημα κατά το οποίο τα πακέτα θα πρέπει να συγκεντρωθούν στο downstream buffer στο BSC₂ απορρέει ως

$$I_{[\delta_5, \delta_8]}^{(2)} = D_1 + D_1' - D_2 - D_2' + D_1 + D_1' + D_2 + D_2' + 2\gamma_{BSC} + 2\gamma_{EMAS} + \gamma_{COS} + I_A^{(2)} + \tau_{AVCR}$$

$$= 2(D_1 + D_1') + I_A^{(2)} + \tau_{AVCR}$$

(8)

Για την κατοχή του downstream buffer στο BSC₂, έχουμε

$$\eta_D^{(2)} = \frac{I_{[\delta_5, \delta_8]}^{(2)} \cdot L_o}{424}$$

(9)

Αφού από την χρονική στιγμή δ_8 τα πακέτα που αποθηκεύονται στο downstream buffer στο BSC₂ προωθούνται στο κινητό τερματικό σε PCR, ενώ η ροή των δεδομένων από τον ασύρματο χρήστη φτάνει στο BSC₂ με ρυθμό L_o , η συνολική χρονική διάρκεια κατά την οποία το downstream buffer χρησιμοποιείται από την σύνδεση του κινητού τερματικού είναι

$$I_D^2 = I_{[\delta_5, \delta_8]}^{(2)} + \frac{\eta_D^{(2)}}{(PCR - L_o)}$$

(10)

Αναφερόμενοι πάλι στην εικόνα 18 και παραμελώντας τους χρόνους επεξεργασίας, η χρονική περίοδος κατά την οποία τα πακέτα αποθηκεύονται στο upstream buffer του BSC₂ και δεν μπορούν να προωθηθούν στο COS είναι

$$I_{[\delta_6, \delta_{10}]}^{(2)} = I_A^{(2)} + D_1 + D_1' + D_2 + D_2' + T_{UPD} + 2\tau_{AVCR} - 2T_P - \xi_{SDF_{UP}} - \xi_{HOC}$$

(11)

Ο μέγιστος αριθμός των πακέτων που αποθηκεύονται στο upstream buffer υπολογίζεται γνωρίζοντας ότι κατά την διάρκεια του χρονικού διαστήματος $[\delta_6, \delta_8]$ το buffer είναι γεμάτο από το κινητό τερματικό στο SCR.

$$\eta_U^{(2)} = \frac{I_{[\delta_6, \delta_{10}]}^{(2)}}{\tau_{SCR} \cdot 424}$$

(12)

Μετά την χρονική στιγμή δ_{10} , το BSC₂ αρχίζει να αδειάζει το upstream handover buffer στο PCR, έτσι αυτό το buffer χρησιμοποιείται από την σύνδεση του κινητού τερματικού για ένα χρονικό διάστημα που ισοδυναμεί με

$$I_U^2 = I_{[\delta_6, \delta_{10}]}^{(2)} + \frac{\eta_U^{(2)}}{(PCR - SCR)}$$

(13)

Θεωρούμε ότι ο ρυθμός με τον οποίο το upstream buffer γεμίζει είναι ίσος με το SCR αφού υποστηρίζουμε ότι ένας μεγάλος αριθμός πακέτων αποθηκεύεται στο buffer μετάδοσης του κινητού τερματικού εξαιτίας της διακοπής της ασύρματης ζεύξης αφού έχουμε hard handover. Τελικά, υπό την προϋπόθεση ότι ο χρόνος επεξεργασίας του MES πακέτου είναι αμελητέος, εξάγουμε την καθυστέρηση εξαιτίας ολόκληρης της διαδικασίας handover

$$\Delta_{HO} = T_{REG} + \xi_{HOR} + T_P + T_{COS} + 2T_{UPD} + 2(D_2 + D_2') + I_{[d_3, d_4]}^{(1)} + 2\tau_{AVCR} + 3(D_1 + D_1')$$

(14)

Η εξίσωση (14) δηλώνει ξεκάθαρα ότι η συνολική καθυστέρηση που εισάγεται εξαιτίας του handover εξαρτάται από το σύνολο των καθυστερήσεων μετάδοσης ανάμεσα στα COS και τα BSCs. Οι εξισώσεις (2) -(12) δηλώνουν ότι η κατοχή των buffer εξαρτάται μόνο από το σύνολο των καθυστερήσεων μετάδοσης και όχι από τις διαφορές του.

Οι εξισώσεις (3),(7),(9) και (12) δίνουν μια στοχαστική περιγραφή των αποθηκευτικών μέσων που χρειάζονται για να εξασφαλίσουμε μια διαδικασία handover «χωρίς απώλειες», ενώ η (14) περιγράφει την συνολική διάρκεια του handover από μόνο του. Καθώς το handover δεν πρέπει να γίνεται αντιληπτό από τον χρήστη, ασχέτως με τον τύπο της υπηρεσίας που ο χρήστης λαμβάνει από το δίκτυο, τότε η διάρκεια του δεν πρέπει να ξεπερνάει μερικές δεκάδες milliseconds. Ένα άλλο ενδιαφέρον γεγονός είναι ότι και η κατοχή των buffer και η διάρκεια του handover αυξάνονται γραμμικά με την καθυστέρηση μετάδοσης ανάμεσα στα BSCs και το COS : Τα handovers μπορούν να διαχειριστούν με ασφάλεια ακόμη και αν το σημείο επαναδρομολόγησης βρίσκεται εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά από τα BSCs.

Στο [4] τα θεωρητικά και τα αποτελέσματα προσομοίωσης που επικεντρώνονται στα βασικά χαρακτηριστικά του εμπρόσθιου handover που αρχικοποιείται από το MT όπου εξετάζουμε την ειδική περίπτωση όπου $D_1 = D_2$ και $D_1' = D_2'$. Οι παράμετροι του συστήματος είναι οι ακόλουθοι :

PCR = 2.0 Mb/s	Ακτίνα κυψέλης = 2.4 Km (περίπου)
SCR = 1.9 Mb/s	T_{REG} = μεταβλητή ομοιόμορφης κατανομής με [0.2 , 0.8]
$L_o = 1.8$ Mb/s	T_{COS} = ομοιόμορφη Κατανομή με μέση τιμή = $5.5 D_1$ ms
$D_1 = D_2 = 0.25$ ms	T_{UPD} = εκθετική λογαριθμική Με τιμές από [2,8] με μέση Τιμή 4ms
$T_p = 8.5$ μ s	

Εικόνα 33 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.

$D_{1,2}$ [ms]	AVCR = 2 Mbit / s		AVCR = 4 Mbit / s	
	$\eta_U^{(2)}$		$\eta_U^{(2)}$	
	Θεωρ. ανάλυση	Προσομοίωση	Θεωρ. ανάλυση	Προσομοίωση
0.5	61	60	40	41
5	236	226	139	144
50	2000	2057	1205	1156
	AVCR = 8 Mbit / s		AVCR = 16 Mbit / s	
	$\eta_U^{(2)}$		$\eta_U^{(2)}$	
	Θεωρ. ανάλυση	Προσομοίωση	Θεωρ. ανάλυση	Προσομοίωση
0.5	29	23	23	18
5	92	100	67	79
50	724	667	484	442

Εικόνα 34 Η ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΠΑΚΕΤΩΝ ΠΟΥ ΑΠΟΘΗΚΕΥΟΝΤΑΙ ΣΤΟΝ ΠΡΟΣΩΡΙΝΟ ΚΑΤΑΧΩΡΗΤΗ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΝΩ ΖΕΥΞΗ ΣΤΟ BSC_2 ΓΙΑ AVCR= 2 , 4 , 8 ΚΑΙ 16 MBPS.

AVCR = 2 Mbit / s				
D_{1,2} [ms]	Δ_{HO} [ms]		^Ω95_Δ [ms]	
	Θεωρ. ανάλυση	Προσομοίωση	Θεωρ. ανάλυση	Προσομοίωση
0.5	24.4	24.6	31.7	36.2
5	104.3	97.1	132	140
50	912.7	877.2	1171	1271.6
AVCR = 4 Mbit / s				
D_{1,2} [ms]	Δ_{HO} [ms]		^Ω95_Δ [ms]	
	Θεωρ. ανάλυση	Προσομοίωση	Θεωρ. ανάλυση	Προσομοίωση
0.5	19.6	19.9	27.2	30.7
5	83.0	79.9	107.1	110.9
50	722.8	690.8	938.5	1000.8
AVCR = 8 Mbit / s				
D_{1,2} [ms]	Δ_{HO} [ms]		^Ω95_Δ [ms]	
	Θεωρ. ανάλυση	Προσομοίωση	Θεωρ. ανάλυση	Προσομοίωση
0.5	17.7	17.9	24.6	26.6
5	72.3	68.8	95	95.4
50	627.9	604.5	830.2	862.3
AVCR = 16 Mbit / s				
D_{1,2} [ms]	Δ_{HO} [ms]		^Ω95_Δ [ms]	
	Θεωρ. ανάλυση	Προσομοίωση	Θεωρ. ανάλυση	Προσομοίωση
0.5	16.6	17.1	23.3	25.2
5	67.0	64.8	89.4	89.5
50	580.4	565.1	781.6	797.7

Εικόνα 35 Η ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (Δ_{HO} [MS]) ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΜΠΡΟΣΘΙΟΥ HANDOVER ΚΑΙ ΤΟ 95 % (^Ω95_Δ [ms]) ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΜΠΡΟΣΘΙΟΥ HANDOVER ΓΙΑ AVCR = 2 , 4 , 8 ΚΑΙ 16 MB/S.

Η σχετική ταύτιση της θεωρητικής ανάλυσης και των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης είναι αξιοσημείωτη.

2.8 Επίλογος για το Handover στο Ασύρματο Ασύγχρονο Τρόπο Μεταφοράς

Με αυτή την πτυχιακή εργασία μελετήσαμε το WATM ως τη εξέλιξη του ενσύρματου ATM καθώς και την ενδοκαναλική σηματοδότηση για την διαχείριση του μηχανισμού Handover. Είδαμε την αναγκαιότητα της χρήσης του WATM, εξετάσαμε τις επιμέρους οντότητές του και τα επιπλέον χαρακτηριστικά του ως προέκταση του ενσύρματου ATM.

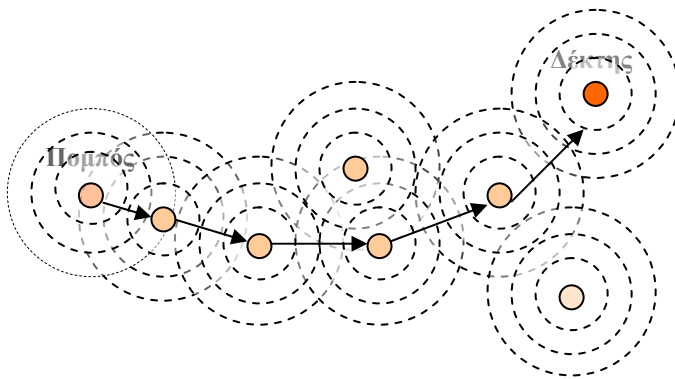
Παρουσιάσαμε δύο διαδικασίες handover, μια για το οπισθοδρομικό που προκαλείται από το δίκτυο handover, και μια για το εμπρόσθιο handover που προκαλείται από το ΜΤ. Η ανάλυση των διαδικασιών handover υπολογίστηκε για την επιπρόσθετη καθυστέρηση που ενσωματώνεται στα πακέτα της νοητής σύνδεσης και τις απαιτήσεις των προσωρινών καταχωρητών που πρέπει να διασφαλίζει το δίκτυο ώστε να παρέχεται μια υλοποίηση χωρίς απώλειες και η παράδοση των πακέτων να γίνεται σε σειρά.

Αναμφίβολα το WATM είναι μια πολύ αποδοτική πρόταση για τις ασύρματες επικοινωνίες του μέλλοντος, περιμένουμε και την πρακτική υλοποίησή του.

WIRELESS SENSOR NETWORKS

Κεφάλαιο 3 Τι είναι τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

Τα δίκτυα των αισθητήρων αποτελούνται από ένα μεγάλο αριθμό κόμβων, ώστε να έχουν το πλεονέκτημα της επικοινωνίας πολλαπλών αλμάτων και μικρής εμβέλειας για την εξοικονόμηση ενέργειας. Αποτελούνται από ένα μεγάλο αριθμό κόμβων εξοπλισμένων με ενσωματωμένους επεξεργαστές, αισθητήρες και ασύρματους πομποδέκτες. Αυτοί οι κόμβοι συνεργάζονται για να εκτελέσουν μια κοινή εργασία όπως ο έλεγχος και η παρακολούθηση περιβάλλοντος ή η παρακολούθηση πόρων. Σε πολλές εφαρμογές οι κόμβοι των αισθητήρων αναπτύσσονται με ένα ad-hoc τρόπο χωρίς προσεκτικό σχεδιασμό. Ακολουθώς πρέπει να οργανώσουν τους ίδιους για να μορφοποιηθούν σε ένα ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας πολλαπλών αλμάτων.



Εικόνα 36 Απλοϊκό ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΛΜΑΤΩΝ.

Μια κατηγορία των ασύρματων δικτύων αισθητήρων ονομάζονται και «Έξυπνη Σκόνη / Smart Dust» εξαιτίας του μικροσκοπικού μεγέθους τους. Ο σκοπός της «Έξυπνης Σκόνης» είναι να δημιουργήσει μια ανεξάρτητη πλατφόρμα με αισθητήρες χιλιοστομετρικής κλίμακας και επικοινωνία για μαζικής κατανάλωσης δίκτυα αισθητήρων. Αυτή η συσκευή θα έχει το μέγεθος περίπου ενός κόκκου άμμου και θα περιέχει αισθητήρες, υπολογιστικές ικανότητες, ασύρματη επικοινωνία δύο κατευθύνσεων και τροφοδοσία ενέργειας, ενώ θα είναι και αρκετά φτηνή για να αναπτυχθεί κατά εκατοντάδες. Ο σκοπός της επιστήμης και της μηχανικής του ερευνητικού αυτού έργου είναι να κατασκευάσει ένα ολοκληρωμένο, περίπλοκο σύστημα σε μικροσκοπικό μέγεθος χρησιμοποιώντας υψηλότερο επίπεδο

επιστήμης, που θα απαιτήσει εξελικτικές και επαναστατικές προόδους στην ολοκλήρωση, σμίκρυνση και στην διαχείριση ενέργειας.

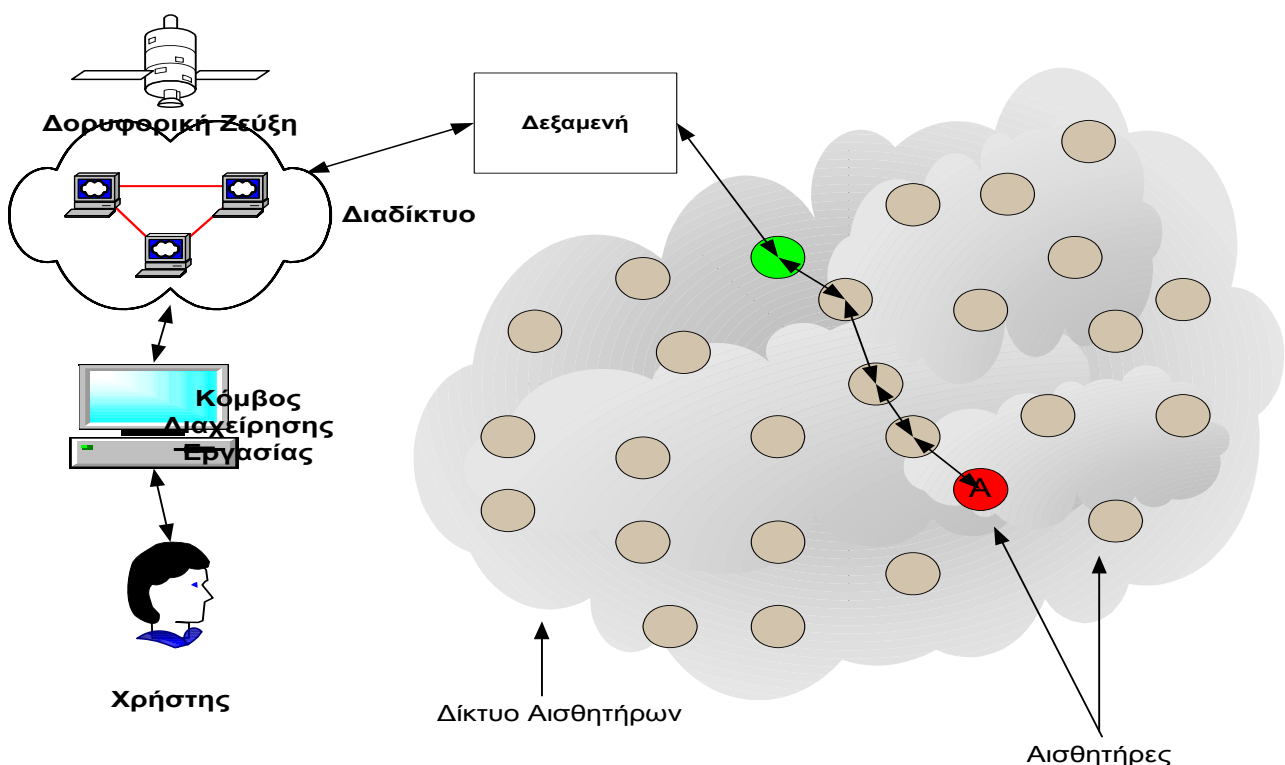
3.1 Αρχιτεκτονική των δικτύων αισθητήρων

Τα δίκτυα αισθητήρων αποτελούνται από ένα μεγάλο αριθμό κατανεμημένων κόμβων αισθητήρων που οργανώνονται σε ασύρματο δίκτυο πολλαπλών αλμάτων. Ο καθένας από αυτούς τους κόμβους αισθητήρων έχει την ικανότητα να συλλέγει πληροφορίες και να τις δρομολογεί στη δεξαμενή (Sink).

Τα δεδομένα δρομολογούνται στη δεξαμενή μέσω μιας διάταξης πολλαπλών αλμάτων.

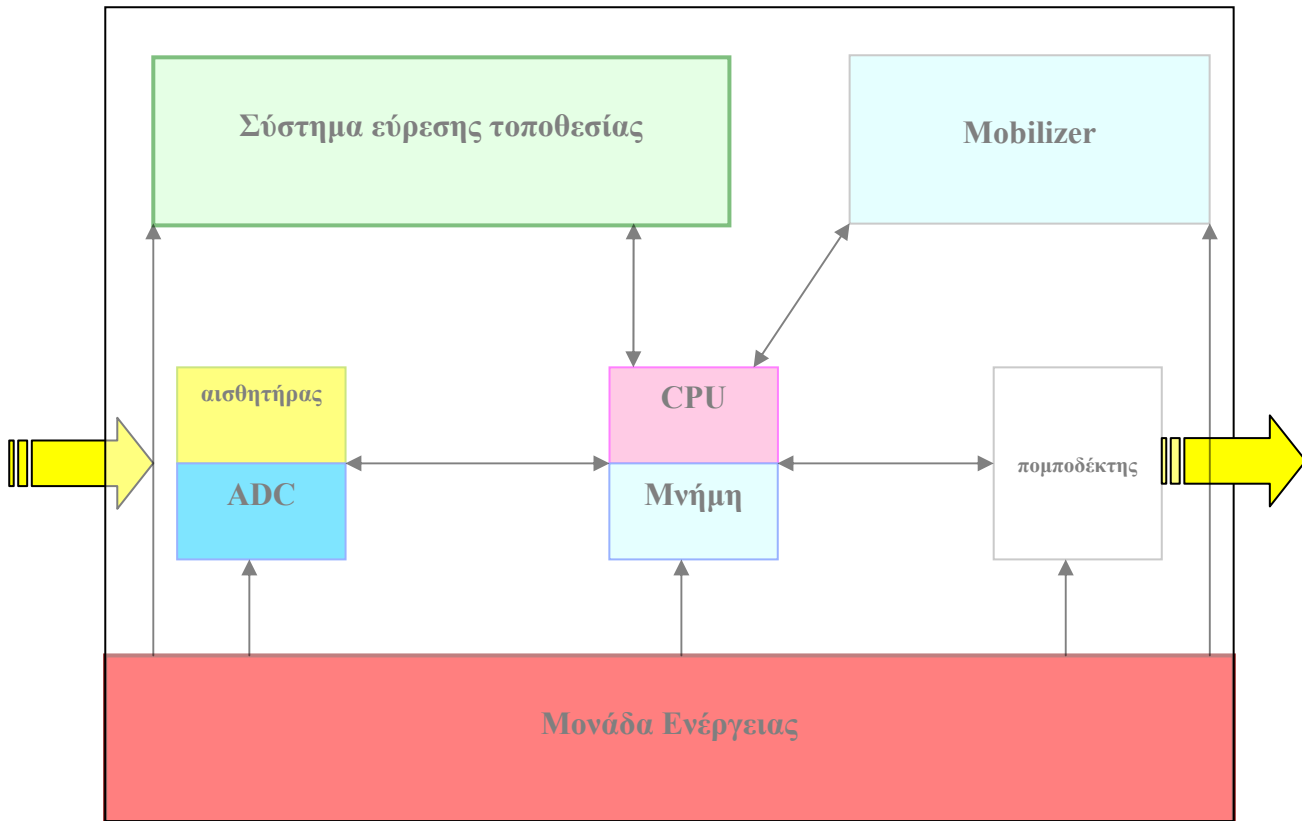
Η δεξαμενή μπορεί να επικοινωνεί με τον διευθύνων κόμβο μέσω του διαδικτύου ή κάποιας δορυφορικής ζεύξης.

Οι κόμβοι αισθητήρων συνήθως διασκορπίζονται σε ένα πεδίο αισθητήρων όπως φαίνεται παρακάτω :



Εικόνα 37 ΔΙΚΤΥΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.

3.2 Η Αρχιτεκτονική ενός Ασύρματου Αισθητήρα



Εικόνα 38 Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΝΟΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ.

Οι αισθητήρες απαρτίζονται από τέσσερα βασικά εξαρτήματα :

Μια μονάδα αίσθησης

Μια μονάδα επεξεργασίας

Μια μονάδα πομποδέκτη

Μια μονάδα ενέργειας

Μπορούν επίσης να έχουν επιπλέον εξαρτήματα ανάλογα την εφαρμογή όπως : ένα σύστημα ευρέσεως της τοποθεσίας , ένα mobilizer ή μια γεννήτρια ενέργειας.

Η μονάδα αίσθησης συνήθως αποτελείται από δύο επιμέρους κομμάτια : τους αισθητήρες και τον μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Τα αναλογικά σήματα που παράγονται από τον αισθητήρα βασισμένα φαινόμενο που παρατηρείται, μετατρέπονται σε ψηφιακά σήματα από τον μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, και μετά αυτά τα σήματα στέλνονται στην μονάδα επεξεργασίας. Η μονάδα επεξεργασίας, η οποία γενικά συνδέεται με μια μικρή μονάδα αποθήκευσης, διαχειρίζεται τις διαδικασίες οι οποίες κάνουν

τον αισθητήριο κόμβο να συνεργάζεται με άλλους κόμβους για να εκτελέσουν τις εργασίες αίσθησης που τους έχουν ανατεθεί. Μια μονάδα πομποδέκτη συνδέει τον κόμβο με το δίκτυο. Ένα από τα πιο σημαντικά εξαρτήματα του κόμβου είναι η μονάδα ενέργειας. Οι ενεργειακές μονάδες μπορεί να υποστηρίζονται από μια μονάδα σάρωσης ενέργειας όπως ηλιακές κυψέλες. Υπάρχουν επίσης και άλλες υπό – μονάδες οι οποίες όμως εξαρτώνται από την εφαρμογή.

Οι περισσότερες τεχνικές δρομολόγησης των δικτύων αισθητήρων και οι εφαρμογές αίσθησης απαιτούν γνώση της τοποθεσίας με υψηλή ακρίβεια. Έτσι είναι σύνηθες ένας κόμβος αισθητήρα να έχει ένα σύστημα εύρεσης τοποθεσίας. Αφού οι κόμβοι αναπτύσσονται άτακτα και «τρέχουν» χωρίς επίβλεψη, χρειάζεται να ενσωματωθεί ένα σύστημα εύρεσης τοποθεσίας. Τα συστήματα εύρεσης τοποθεσίας επίσης πολλές φορές απαιτούνται από πολλά προτεινόμενα πρωτόκολλα δρομολόγησης ασύρματων δικτύων. Συχνά κάθε κόμβος αισθητήρα έχει ένα σύστημα παγκόσμιας εύρεσης θέσης (Global Positioning System (GPS)) με τουλάχιστον ακρίβεια 5 m. Ο εξοπλισμός όλων των κόμβων αισθητήρων με ένα GPS δεν είναι εφαρμόσιμο στα δίκτυα αισθητήρων. Έτσι μια εναλλακτική πρόταση είναι ένας περιορισμένος αριθμός κόμβων να είναι εφοδιασμένος με GPS και να βοηθούν τους άλλους κόμβους να βρουν την θέση τους . Ένας mobilizer μερικές φορές μπορεί να χρειάζεται για να μετακινήσει τους κόμβους αισθητήρων χρειάζεται για να επιτευχθούν οι εφαρμογές που τους έχουν ανατεθεί.

Όλες αυτές οι υπό – μονάδες πρέπει να χωρέσουν σε ένα module μεγέθους σπιρτόκουτου. Το απαιτούμενο μέγεθος ίσως χρειάζεται να είναι μικρότερο ακόμα και από ένα κυβικό εκατοστό το ελαφρύ αρκετά για να παραμείνει να υπερίπταται στον αέρα. Εκτός από το μέγεθος υπάρχουν επίσης μερικοί άλλοι περιορισμοί για τους κόμβους αισθητήρων. Αυτοί οι κόμβοι πρέπει :

Να καταναλώνουν υπερβολικά λίγη ενέργεια

Να λειτουργούν σε υψηλές volumetric πυκνότητες.

Να έχουν χαμηλό κόστος παραγωγής και να είναι αναλώσιμοι.

Να είναι αυτόνομοι και να λειτουργούν χωρίς επιστασία.

Να είναι προσαρμοστικοί προς το περιβάλλον.

Αφού η πρόσβαση στους κόμβους είναι συχνά αδύνατη, η διάρκεια ζωής ενός δικτύου αισθητήρων συχνά εξαρτάται από την διάρκεια ζωής των πηγών ενέργειας των κόμβων. Η ενέργεια είναι επίσης είναι ένας σπάνιος πόρων εξαιτίας των περιορισμών του μεγέθους. Για παράδειγμα, η συνολική αποθηκευμένη ενέργεια σε ένα mote smart dust είναι της τάξεως

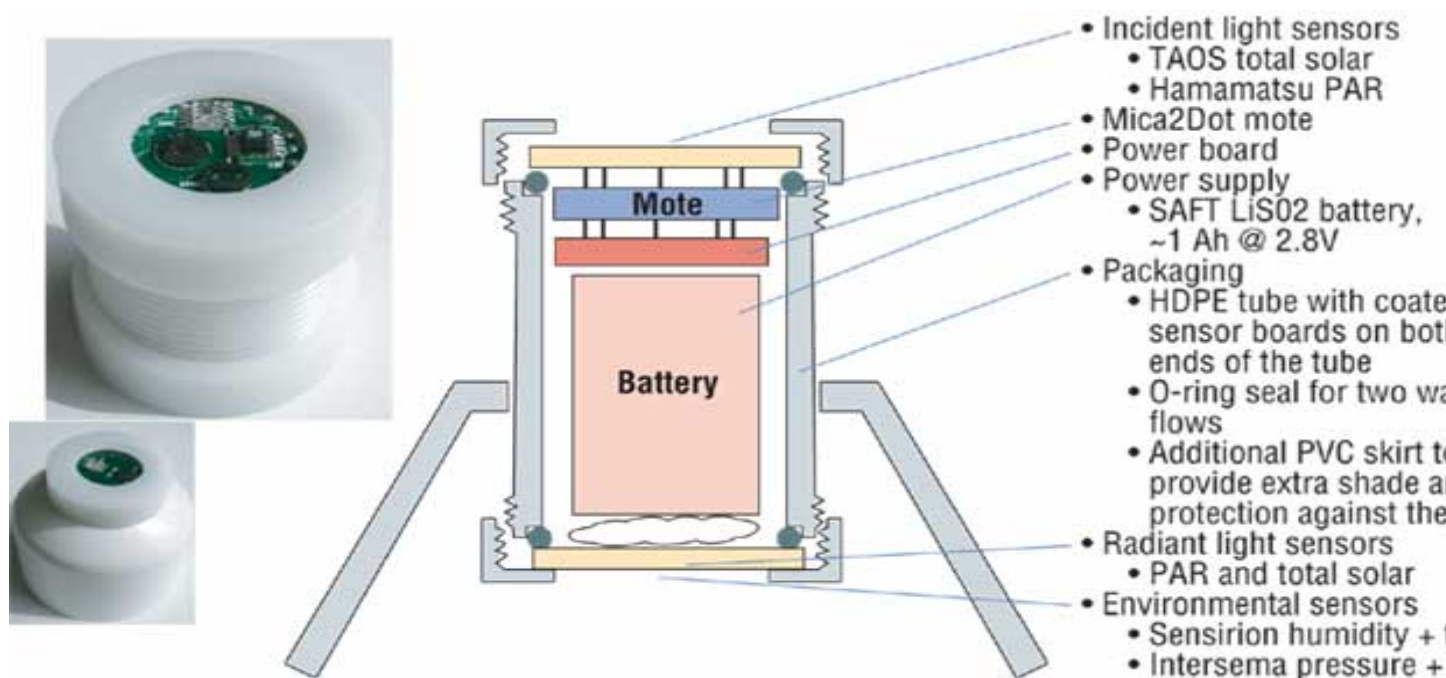
του 1 J. Για τα ασύρματα ολοκληρωμένα δίκτυα αισθητήρων η συνολική μέση προμήθεια ρεύματος του συστήματος πρέπει να είναι λιγότερο από 30mA για να παρέχει μεγάλη διάρκεια λειτουργίας . Οι κόμβοι WINS παίρνουν ενέργεια από μια τυπική κυψέλη λίθου τύπου νομίσματος (2.5 cm σε διάμετρο και 1 cm σε πάχος). Είναι επίσης πιθανό να παρατείνουμε την διάρκεια ζωής των δικτύων αισθητήρων με το energy scavenging , το οποίο σημαίνει να αντλούμε ενέργεια από το περιβάλλον. Οι ηλιακές κυψέλες είναι ένα παράδειγμα των τεχνικών που χρησιμοποιούνται για τοscavenging της ενέργειας.

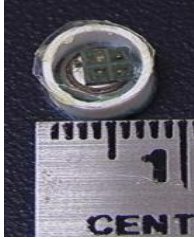
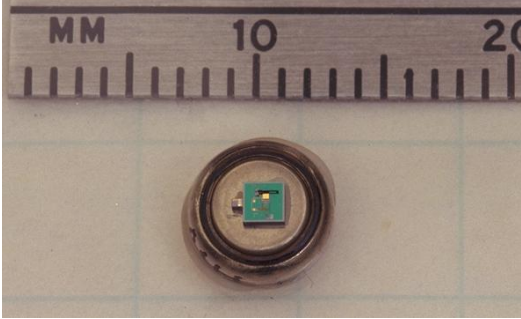
Οι πομποδέκτες των κόμβων αισθητήρων μπορεί να είναι ενεργητικές ή παθητικές οπτικές συσκευές όπως στα smart dust motes ή συσκευές ασύρματων συχνοτήτων (radio frequency (RF)). Οι ασύρματες επικοινωνίας συχνοτήτων απαιτούν διαμόρφωση, ζωνοπερατό φίλτράρισμα, αποδιαμόρφωση και κυκλώματα πολυπλεξίας, τα οποία τις καθιστούν πιο πολύπλοκες και ακριβές. Επίσης η απώλεια του μονοπατιού του μεταδιδόμενου σήματος μεταξύ δύο κόμβων μπορεί να είναι τόσο υψηλή όσο ο εκθέτης τέταρτης τάξης της απόστασης μεταξύ τους επειδή οι κεραιές των κόμβων αισθητήρων είναι πολύ κοντά στο έδαφος. Παρ' όλα αυτά ασύρματες επικοινωνίας συχνοτήτων προτιμώνται στα τρέχοντα ερευνητικά προγράμματα των δικτύων αισθητήρων επειδή τα πακέτα στα ασύρματα δίκτυα είναι μικρά και οι ρυθμοί δεδομένων είναι χαμηλοί (γενικά μικρότεροι από 1 Hz), και η επαναχρησιμοποίηση της συχνότητας είναι υψηλή εξαιτίας των μικρών αποστάσεων επικοινωνίας. Αυτά τα χαρακτηριστικά επίσης καθιστούν δυνατό να χρησιμοποιήσουμε ασύρματα ηλεκτρονικά εξαρτήματα για τα δίκτυα αισθητήρων με χαμηλό duty cycle.

Αν και είναι διαθέσιμες υψηλότερες υπολογιστικές δυνατότητες σε όλο και πιο μικρούς επεξεργαστές, η επεξεργασία και οι μονάδες της μνήμης εξακολουθούν να είναι σπάνιοι πόροι. Για παράδειγμα, η μονάδα επεξεργασίας ενός πρωτοτύπου του smart dust mote είναι ένας μικροεπεξεργαστής Atmel AVR 8535 των 4 Mhz με μνήμη εντολών 8 KB, 512 byte RAM και 512 byte EEPROM. Χρησιμοποιείται το λειτουργικό σύστημα Tiny OS σε αυτόν τον επεξεργαστή , ο οποίος έχει 3500 bytes διάστημα κώδικα του λειτουργικού συστήματος και 4500 bytes διαθέσιμου χώρου κώδικα. Ενώ η σύγχρονη υλοποίηση των Mica Motes χρησιμοποιεί τον μικροεπεξεργαστή Atmel ATmega 128L με 128KB μνήμης flash και 4KB μνήμης δεδομένων, εξοπλισμένος με τον πομποδέκτη RFM TR3000 και μια μικρή κεραία τύπου μαστιγίου. Χρησιμοποιεί μεταλλαγή μετατόπισης πλάτους (Amplitude Shift Keying (ASK)) και καταναλώνει 14.4mW για λήψη, 36mW για μετάδοση και 15mW σε κατάσταση νάρκης.

Εύρος Ασύρματης ζώνης	20 Kbps		
Κωδικοποίηση καναλιού	Manchester	Ενεργός κύκλος	1-99%
Μήκος πακέτου ελέγχου	10 Bytes	Διάρκεια διαστήματος ακρόασης	115ms
Μήκος πακέτου Δεδομένων	- 250 Bytes	Παράθυρο Ανταγωνισμού για το SYNC	15 θυρίδες
Μήκος MAC επικεφαλίδας	8 Bytes	Παράθυρο Ανταγωνισμού για το δεδομένα	31 θυρίδες

Εικόνα 39 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ S-MAC ΤΟΥ MICA MOTES



	
<p>Κόμβος αισθητήρα.</p>	<p>Κόμβος αισθητήρα.</p>

Εικόνα 40 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΟΜΒΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

3.3 Εφαρμογές των δικτύων αισθητήρων

Τα δίκτυα αισθητήρων μπορεί να αποτελούνται από πολλούς διαφορετικούς τύπους αισθητήρων όπως : σεισμικούς, μαγνητικούς χαμηλού ρυθμού δειγματοληψίας, θερμικούς, οπτικούς, υπέρυθρους, ακουστικούς και τύπου ραντάρ, που θα μπορούν να παρακολουθούν μια μεγάλη ποικιλία συνθηκών οι οποίες μπορούν να περιλαμβάνουν τα ακόλουθα :

Θερμοκρασία

Υγρασία

Κίνηση οχημάτων

Συνθήκες φωτισμού

Πίεση

Επίπεδα θορύβου

Την παρουσία ή απουσία ορισμένων ειδών αντικειμένων

Τα επίπεδα μηχανικής πίεσης (stress) σε προσαρτώμενα αντικείμενα

Τα σύγχρονα χαρακτηριστικά όπως η ταχύτητα, η κατεύθυνση και το μέγεθος ενός αντικειμένου

Οι κόμβοι αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συνεχή ανίχνευση, ανίχνευση ενός γεγονότος, την ID ενός γεγονότος, την ανίχνευση της τοποθεσίας και τον τοπικό έλεγχο των υποκινητών τους. Η έννοια της μικρό – ανίχνευσης και της ασύρματης σύνδεσης αυτών των κόμβων υπόσχονται την ύπαρξη πολλών νέων περιοχών εφαρμογής τους. Θα κατηγοριοποιήσουμε τις εφαρμογές τους σε στρατιωτικές, περιβαλλοντολογικές, υγείας, οικιστικές και άλλους εμπορικούς τομείς. Επίσης είναι δυνατό να επεκτείνουμε την κατηγοριοποίηση με περισσότερους τομείς όπως η εξερεύνηση του διαστήματος, οι χημικές διεργασίες και η ανακούφιση καταστροφών.

3.3.1 Στρατιωτικές εφαρμογές

Τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να είναι ένα ολοκληρωμένο μέρος των στρατιωτικών συστημάτων *εντολών, ελέγχου, υπολογισμών, κατασκοπείας, εποπτείας, reconnaissance και σκόπευσης (CAISRT)* . Η ραγδαία ανάπτυξη, η αυτό-διοργάνωση και τα χαρακτηριστικά της ανοχής σφαλμάτων των δικτύων αισθητήρων κάνει αυτά τα δίκτυα μια πολλά υποσχόμενη τεχνική ανίχνευσης για το στρατιωτικό *CAISRT*. Αφού τα δίκτυα αισθητήρων βασίζονται στην πυκνή ανάπτυξη των αναλώσιμων και χαμηλού κόστους

κόμβων αισθητήρων, η καταστροφή μερικών κόμβων από εχθρικές πράξεις δεν επηρεάζει μια στρατιωτική επιχείρηση τόσο πολύ όσο η καταστροφή ενός παραδοσιακού αισθητήρα, πράγμα που κάνει τα δίκτυα αισθητήρων μια καλή προσέγγιση για τα πεδία μαχών. Μερικές στρατιωτικές εφαρμογές των δικτύων αισθητήρων είναι :

Η ανίχνευση φιλικών δυνάμεων, εξοπλισμού και πυρομαχικών: Οι αρχηγοί και οι διοικητές θα μπορούν συνεχώς να ανιχνεύουν την κατάσταση των φιλικών στρατευμάτων, την κατάσταση και την διαθεσιμότητα του εξοπλισμού και των πυρομαχικών στο πεδίο μάχης με τη χρήση των δικτύων αισθητήρων. Σε κάθε στράτευμα, όχημα, εξοπλισμός και ζωτικής σημασίας πυρομαχικά μπορούν να ενσωματωθούν αισθητήρες που θα μπορούν να αναφέρουν την κατάσταση τους. Αυτές οι αναφορές θα μαζεύονται σε κόμβους sink και θα στέλνονται στους αρχηγούς των στρατευμάτων. Οι πληροφορίες μπορούν επίσης να προωθούνται σε ανώτερα κλιμάκια της ιεραρχίας ενώ θα μπορούν να αθροίζουν πληροφορίες από άλλες μονάδες επιπέδου.

Η εποπτεία του πεδίου μάχης : Τα ζωτικής σημασίας πεδία, οι διαδρομές και τα μονοπάτια προσέγγισης μπορούν γρήγορα να καλυφθούν με δίκτυα αισθητήρων και να παρακολουθηθούν στενά οι ενέργειες των εχθρικών δυνάμεων. Εάν καθώς προχωράνε οι επιχειρήσεις και προετοιμάζονται καινούργια επιχειρησιακά πλάνα μπορούνε ανά πάσα στιγμή να αναπτυχθούνε νέα δίκτυα αισθητήρων για την εποπτεία του πεδίου μάχης.

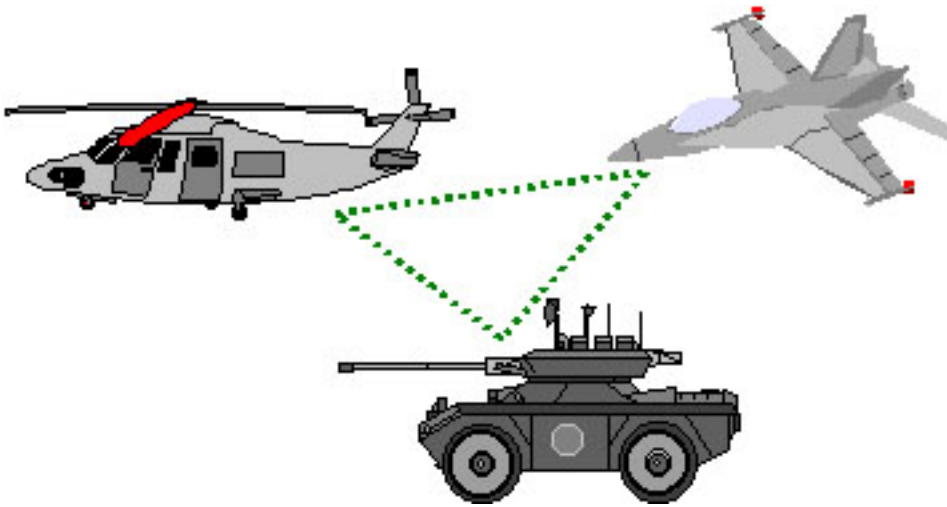
Πληροφόρηση για τις εχθρικές δυνάμεις και το εχθρικό πεδίο: Τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να αναπτυχθούν σε ζωτικά πεδία και μπορούν να συγκεντρωθούν πολύτιμες, λεπτομερείς πληροφορίες για τις εχθρικές δυνάμεις προτού αυτές να μπορούν να τις διασταυρώσουν.

Σκόπευση : Τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να ενσωματωθούν στα συστήματα σκόπευσης των «έξυπνων» όπλων.

Εκτίμηση των ζημιών του πεδίου μάχης : Πριν ή μετά από τις επιθέσεις , οι κόμβοι αισθητήρων μπορούν να αναπτυχθούν στην περιοχή του στόχου για να συλλέξουν πληροφορίες για την εκτίμηση των ζημιών του πεδίου μάχης.

Ανίχνευση και πληροφόρηση για πυρηνική, βιολογική και χημική επίθεση: Στον χημικό και βιολογικό πόλεμο, το να είναι κανείς κοντά στο σημείο μηδέν είναι σημαντικό για την λεπτομερή ανίχνευση των παραγόντων. Τα δίκτυα αισθητήρων που αναπτύσσονται σε μια φιλική περιοχή και χρησιμοποιούνται ως ένα χημικό ή βιολογικό σύστημα προειδοποίησης μπορούν να παρέχουν στις φιλικές δυνάμεις τον ζωτικό χρόνο αντίδρασης , ο οποίος θα μειώσει δραστικά τις παράπλευρες απώλειες. Μπορούμε επίσης να χρησιμοποιήσουμε τα

δίκτυα αισθητήρων για λεπτομερή πληροφόρηση αφού ανιχνευτεί μια για πυρηνική, βιολογική και χημική επίθεση.



Εικόνα 41 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.

3.3.2 Περιβαλλοντικές εφαρμογές

Μερικές περιβαλλοντικές εφαρμογές των δικτύων αισθητήρων περιλαμβάνουν την παρακολούθηση των κινήσεων των πουλιών, μικρών ζώων και των εντόμων, την καταγραφή των περιβαλλοντικών συνθηκών που επηρεάζουν την συγκομιδή και τα μεγάλα ζώα, την άρδευση, την χημική και βιολογική ανίχνευση, την καλλιέργεια ακριβείας, την βιολογική, την περιβαλλοντική και εδαφική παρακολούθηση σε θαλάσσια, χωμάτινα και ατμοσφαιρικά πλαίσια, ανίχνευση δασικής πυρκαγιάς, μετεωρολογική ή γεωφυσική έρευνα, ανίχνευση πλημμυρών, χαρτογράφηση της βιοπολυπλοκότητας του περιβάλλοντος, και μελέτη της ρύπανσης.

ανίχνευση δασικής πυρκαγιάς : Αφού οι κόμβοι των αισθητήρων μπορούν να αναπτυχθούν με στρατηγικό, τυχαίο και πυκνό τρόπο μέσα σε ένα δάσος, οι κόμβοι αισθητήρων μπορούν να μεταβιβάσουν στον τελικό χρήστη την ακριβή εστία της πυρκαγιάς πριν αυτή επεκταθεί ανεξέλεγκτα. Εκατομμύρια κόμβων αισθητήρων μπορούν να αναπτυχθούν και να ενσωματωθούν χρησιμοποιώντας οπτικά συστήματα ή ασύρματες συχνότητες. Επίσης μπορούν να είναι εφοδιασμένες με αποτελεσματικές μεθόδους εξαγωγής ενέργειας, όπως οι ηλιακές κυψέλες καθώς οι αισθητήρες θα παραμένουν αφύλακτοι για μήνες ή και χρόνια. Οι κόμβοι αισθητήρων θα συνεργάζονται μεταξύ τους για να εκτελούν το καταναμεμημένο έργο τους και να ξεπερνούν τα εμπόδια όπως δένδρα και βράχοι, που μπλοκάρουν την οπτική ευθεία του ασύρματου αισθητήρα.

χαρτογράφηση της βιοπολυπλοκότητας του περιβάλλοντος : Μία χαρτογράφηση της βιοπολυπλοκότητας του περιβάλλοντος απαιτεί πολυσύνθετες προσεγγίσεις για την ενσωμάτωση των πληροφοριών στις χρονικές και χωρικές κλίμακες. Η πρόοδος της τεχνολογίας στην ασύρματη αντίληψη και την αυτοματοποιημένη συλλογή πληροφοριών έχει επιτρέψει την χρήση υψηλότερης χωρικής, φασματικής και χρονικής ανάλυσης με γεωμετρικά φθίνοντα κόστος ανά μονάδα. Παράλληλα με αυτές τις προόδους, οι κόμβοι αισθητήρων έχουν επίσης την ικανότητα να συνδέονται με το internet, πράγμα που επιτρέπει στους απόμακρους χρήστες να ελέγχουν, να παρακολουθούν και να παρατηρούν την βιοπολυπλοκότητα του περιβάλλοντος. Αν και οι δορυφορικοί αισθητήρες και οι εν πτήση αισθητήρες είναι χρήσιμοι στην παρακολούθηση της μεγάλης βιοποικιλότητας π.χ. την χωρική πολυπλοκότητα των κυρίαρχων φυτικών ειδών, όμως δεν έχουν υψηλό κόκκο ανάλυσης για να παρατηρούν την βιοποικιλότητα μικρού μεγέθους, η οποία είναι το μεγαλύτερο τμήμα της βιοποικιλότητας ενός συστήματος. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει η ανάγκη για την ανάπτυξη των ασύρματων κόμβων στο έδαφος για την παρακολούθηση της βιοποικιλότητας. Ένα τέτοιο παράδειγμα χαρτογράφησης της βιοπολυπλοκότητας του περιβάλλοντος γίνεται στο James Reserve στην Νότια Καρολίνα, όπου 3 δίκτυα παρακολούθησης το καθένα με 25-100 κόμβους αισθητήρων θα εφαρμοστούν για την καταχώρηση περιβαλλοντολογικών πληροφοριών αισθητήρων.

Ανίχνευση πλημμυρών: Ένα παράδειγμα ανίχνευσης πλημμυρών είναι το σύστημα ALERT που έχει αναπτυχθεί στις Η.Π.Α.. Μερικοί τύποι αισθητήρων που υπάρχουν στο ALERT είναι αισθητήρες βροχόπτωσης, επιπέδου του νερού και καιρού. Αυτοί οι αισθητήρες παρέχουν πληροφορίες σε ένα κεντρικό σύστημα πληροφοριών με ένα προκαθορισμένο τρόπο.

Καλλιέργειες ακριβείας: Μερικά από τα πλεονεκτήματα είναι η ικανότητα να παρακολουθήσουμε τα επίπεδα των εντομοκτόνων στο πόσιμο νερό, το επίπεδο της διάβρωσης του εδάφους και τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 42 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.

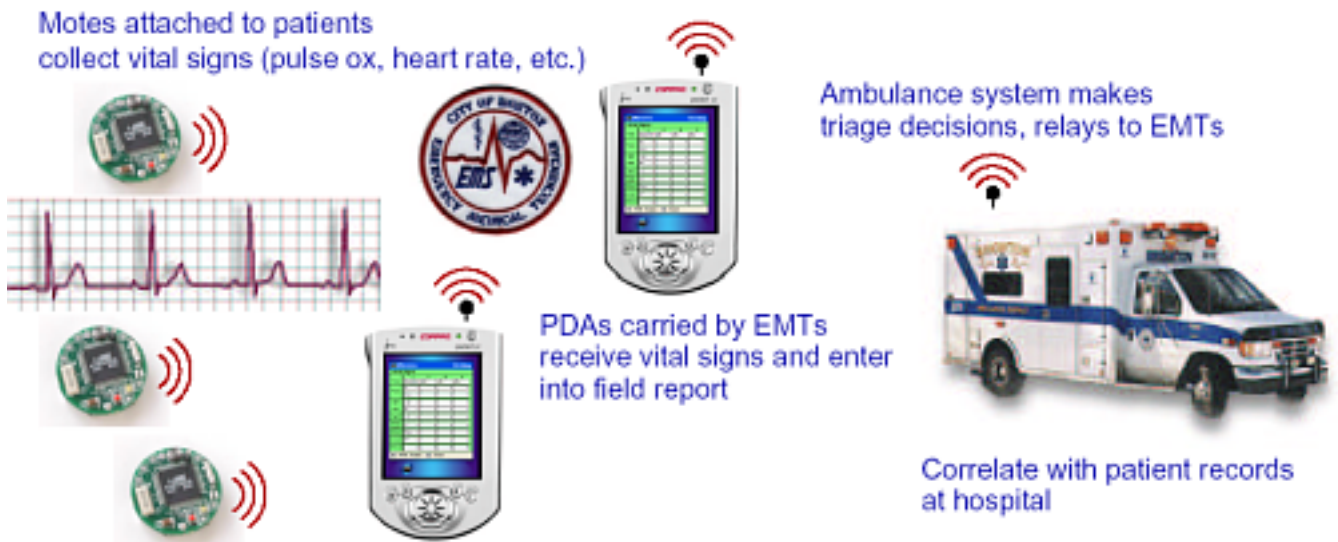
3.3.3 Εφαρμογές υγείας

Μερικές από τις εφαρμογές υγείας των δικτύων αισθητήρων παρέχουν διεπαφές για τους ανάπηρους ανθρώπους, ολοκληρωμένη παρακολούθηση ασθενών, διαγνώσεις, διαχείριση των φαρμάκων στα νοσοκομεία, παρακολούθηση των κινήσεων και των εσωτερικών διαδικασιών των εντόμων ή άλλων μικρών ζώων, τηλεπαρακολούθηση των ανθρώπινων φυσιολογικών πληροφοριών, και ανίχνευση και παρακολούθηση των γιατρών και των ασθενών μέσα σε ένα νοσοκομείο.

Τηλεπαρακολούθηση των ανθρώπινων φυσιολογικών πληροφοριών: Οι φυσιολογικές πληροφορίες που συλλέγονται από τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να αποθηκευτούν για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ιατρικές εξετάσεις. Το εγκατεστημένο δίκτυο αισθητήρων μπορεί επίσης να παρακολουθεί και να ανιχνεύει την συμπεριφορά ηλικιωμένων ανθρώπων, π.χ. μια πτώση. Οι μικροί κόμβοι αισθητήρων επιτρέπουν την μεγαλύτερη ελευθερία κινήσεων του υποκειμένου και επιτρέπουν στους γιατρούς να αναγνωρίσουν νωρίτερα τα προκαθορισμένα συμπτώματα. Επίσης συγκρινόμενα με τα κέντρα θεραπείας παρέχουν μια ζωή υψηλότερης ποιότητας για τα υποκείμενα. Το « Έξυπνο σπίτι της Υγείας » σχεδιάστηκε στο πανεπιστήμιο της Ιατρικής επιστήμης στο Grenoble της Γαλλίας για να πιστοποιήσει την πραγματοποίηση ενός τέτοιου συστήματος.

Ανίχνευση και παρακολούθηση των γιατρών και των ασθενών μέσα σε ένα νοσοκομείο: Ο κάθε ασθενής έχει ένα μικρό και ελαφρύ κόμβο αισθητήρα συνδεδεμένο μαζί του. Ο κάθε κόμβος αισθητήρα έχει ένα συγκεκριμένο σκοπό. Παραδείγματος χάριν, ένας κόμβος αισθητήρα μπορεί να ανιχνεύει τους ρυθμούς της καρδιάς ενώ κάποιος άλλος την αρτηριακή πίεση. Οι γιατροί μπορεί επίσης να φέρουν ένα κόμβο αισθητήρα μαζί τους, ο οποίος θα επιτρέπει σε άλλους γιατρούς να τους εντοπίσουν μέσα στο νοσοκομείο.

Διαχείριση των φαρμάκων στα νοσοκομεία: Εάν οι κόμβοι αισθητήρων συνδεθούν με τα φάρμακα, η πιθανότητα της λήψης και της συνταγογράφησης του λάθους φαρμάκου θα ελαττωθεί. Επειδή οι ασθενείς θα έχουν έναν κόμβο αισθητήρα που θα αναγνωρίζει τις αλλεργίες τους και την απαιτούμενη φαρμακευτική αγωγή.



<p>http://www.eecs.harvard.edu/~mdw/proj/codeblue</p>	<p>http://www.eecs.harvard.edu/~mdw/proj/codeblue</p>
<p>Ασύρματος κόμβος αισθητήρα για ιατρικούς σκοπούς.</p>	<p>Το εσωτερικό ενός ιατρικού κόμβου αισθητήρα.</p>

Εικόνα 43 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.

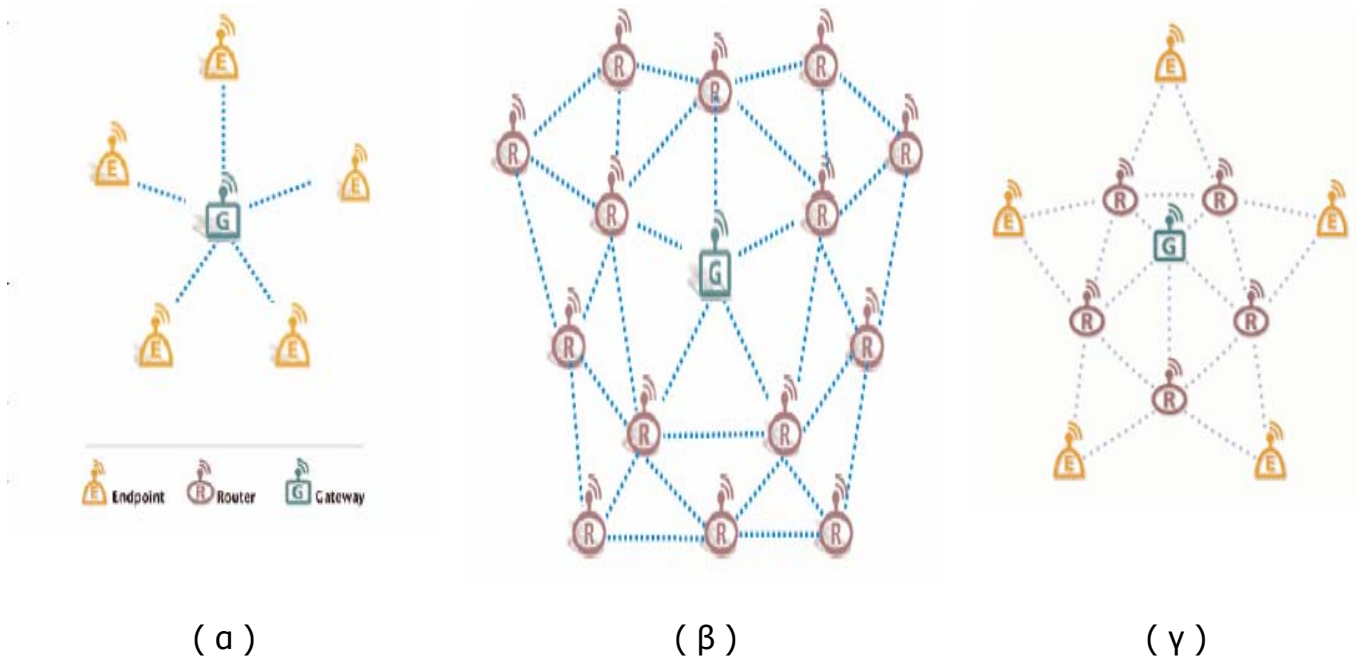
3.3.4 Οικιακές εφαρμογές

Οικιακός αυτοματισμός : Ως πρόοδος της επιστήμης, οι κόμβοι αισθητήρων και οι υποκινητές μπορούν να εμφυτευθούν μέσα σε συσκευές όπως ηλεκτρικές σκούπες, φούρνοι μικροκυμάτων, ψυγεία, και VCR. Αυτοί οι κόμβοι αισθητήρων μπορούν να αλληλεπιδράσουν μεταξύ τους και με το εξωτερικό δίκτυο μέσω του διαδικτύου ή δορυφόρων. Επιτρέπουν στους χρήστες να χειρίζονται τις οικιακές συσκευές τοπικά και Πιστεύουμε ότι στο μέλλον τα δίκτυα αισθητήρων θα ενσωματωθούν στην καθημερινή μας ζωή μέσα από την αλληλεπίδραση που προσφέρουν μεταξύ του ανθρώπου και του φυσικού περιβάλλοντος. .

Οι εμπορικές εφαρμογές

αναμένονται να προκύψουν μόλις τα δίκτυα αισθητήρων γίνουν πλήρως λειτουργικά. Ο έλεγχος της σεισμικής δραστηριότητας και οι έξυπνες εφαρμογές περιβάλλοντος είναι δύο σημαντικά παραδείγματα. Το πρώτο θα εισαγάγει νέες μεθόδους έρευνας για τους γεωλόγους, και κάποιος μπορεί μόνο ελπίδα ότι θα βοηθήσουν για την ακριβέστερη πρόβλεψη της σεισμικής δραστηριότητας. Τα έξυπνα περιβάλλοντα αναμένονται για να είναι χρήστης-διαλογικά, ενσωματωμένος και παντού παρών.

Ανάλογα την καθεμία υλοποίηση και τις ιδιαιτερότητες της οι κόμβοι, αν δεν σκορπίζονται άτακτα μπορούν να τοποθετηθούν σύμφωνα με τις ανάγκες της διάταξης που εξυπηρετεί καλύτερα τη λειτουργία και το σκοπό τους. Στο πιο απλό παράδειγμα οι κόμβοι μπορεί να αποτελούνται από ελάχιστους αισθητήρες (4 – 5) και μια πύλη προς την δεξαμενή. Σε πιο περίπλοκες διατάξεις , όπου χρειάζεται οι κόμβοι να δρομολογούν το φορτίο τους σε άλλα δίκτυα μπορεί στην υλοποίηση οι αισθητήρες να λειτουργούν και ως δρομολογητές. Όμως και μια συγκεραστική λύση με κόμβους αισθητήρων που άλλοι θα λειτουργούν απλά ως μεταγωγείς της κίνησης , άλλοι ως πύλες και άλλοι ως δρομολογητές μπορεί να υπάρξει , εξαρτάται καθαρά όμως από τον σκοπό της υλοποίησης και την αρχιτεκτονική της.



Εικόνα 44 ΠΙΘΑΝΕΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.

3.4 Μέσο Μετάδοσης

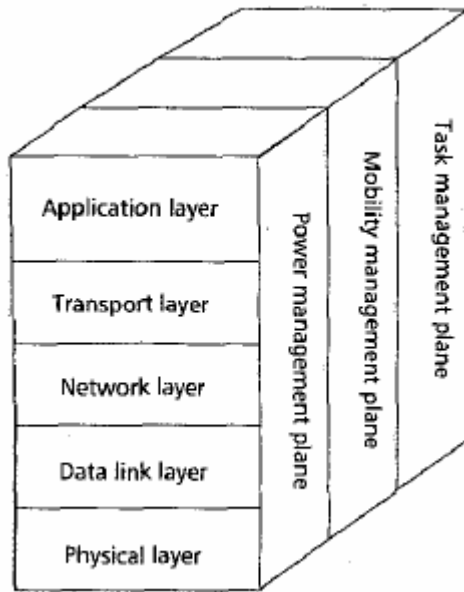
Σε ένα δίκτυο αισθητήρων πολλαπλών αλμάτων , οι κόμβοι επικοινωνίας ενώνονται με ένα ασύρματο μέσο. Αυτές οι ζεύξεις μπορεί να είναι με ασύρματα , υπέρυθρα ή οπτικά μέσα. Το επίπεδο της ζεύξης δεδομένων πολυπλέκει την ροή των bits και την μεταβιβάζει στο κατώτερο επίπεδο του πρωτοκόλλου της στοίβας επικοινωνίας που είναι υπεύθυνο για την μετάδοση, δηλαδή στο φυσικό επίπεδο. Το φυσικό επίπεδο είναι υπεύθυνο για την μετατροπή των ροών των bits σε σήματα κατάλληλα για επικοινωνία στο ασύρματο κανάλι. Ειδικότερα, το φυσικό επίπεδο είναι υπεύθυνο για την επιλογή της συχνότητας, την αναγέννηση της συχνότητας του φέροντος, την ανίχνευση σήματος, την διαμόρφωση και την κωδικοποίηση των δεδομένων. Για να έχουμε παγκόσμια λειτουργία αυτών των δικτύων, το μέσο μετάδοσης που θα επιλέξουμε πρέπει να παρέχεται σε παγκόσμια κλίμακα. Μια επιλογή είναι η χρήση των ασύρματων ζεύξεων των Βιομηχανικών, Επιστημονικών και Ιατρικών ζωνών (Industrial, Scientific and Medical (ISM)), οι οποίες στις περισσότερες χώρες λειτουργούν χωρίς να χρειάζεται άδεια. Ο πίνακας της Διεθνούς Διαμοίρασης των Συχνοτήτων στους Ασύρματους Κανονισμούς καθορίζει ποιο εύρος συχνοτήτων είναι διαθέσιμος για αυτές τις Βιομηχανικές, Επιστημονικές και Ιατρικές εφαρμογές.

Εύρος Ζώνης Συχνοτήτων	Κεντρική Συχνότητα
6765-6795 KHz	6780KHz
13,553-13,567KHz	13,560KHz
26,957-27,283KHz	27,120KHz
40.66 – 40.70 MHz	40.68 MHz
433.05 – 434.79 MHz	433.92 MHz
902 – 928 MHz	915 MHz
2400 – 2500 MHz	2450 MHz
5725 – 5875 MHz	5800 MHz
24 – 24.25 GHz	24.125 GHz
61 – 61.5 GHz	61.25 GHz
122 – 123 GHz	122.5 GHz
244 – 246 GHz	245 GHz

Εικόνα 45 Το διαθέσιμο εύρος συχνοτήτων για τις ISM εφαρμογές. Μέχρι τώρα η ζώνη των 915 MHz θεωρείται ιδανική για την χρήση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων.

3.5 Πρωτόκολλο για τα WSN

Η στοίβα του πρωτοκόλλου που χρησιμοποιείται για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και από τους κόμβους αισθητήρων και από την δεξαμενή απεικονίζεται στην εικόνα 46 και παρέχει την ενεργειακή γνώση και την αντίληψη δρομολόγησης των δεδομένων, ενσωματώνει τις πληροφορίες με τα πρωτόκολλα του δικτύου , επικοινωνεί με το ασύρματο μέσο και προωθεί την συνεργασία των κόμβων αισθητήρων.



Εικόνα 46 Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΤΩΝ WSN.

Ανάλογα από τις διαφορετικές εφαρμογές των WSN διαφορετικό λογισμικό μπορεί να υλοποιηθεί στο επίπεδο εφαρμογής.

Το επίπεδο μεταφοράς βοηθά στην διατήρηση της ροής των δεδομένων εάν το απαιτεί η εφαρμογή.

Το επίπεδο δικτύου φροντίζει την δρομολόγηση των δεδομένων που παρέχει το επίπεδο μεταφοράς.

Στο επίπεδο σύνδεσης δεδομένων το πρωτόκολλο MAC, με το οποίο θα ασχοληθούμε, παρέχει την ελάχιστη σύγκρουση ανάμεσα σε γειτονικές μεταδόσεις και μεριμνά για την σπαταλώμενη ενέργεια.

Το φυσικό επίπεδο ασχολείται με τις τεχνικές διαμόρφωσης, μετάδοσης και λήψης.

Εμείς θα εξετάσουμε δύο MAC μοντέλα που έχουν ως σκοπό την μείωση της χρησιμοποιούμενης ενέργειας και την αποφυγή των συγκρούσεων.

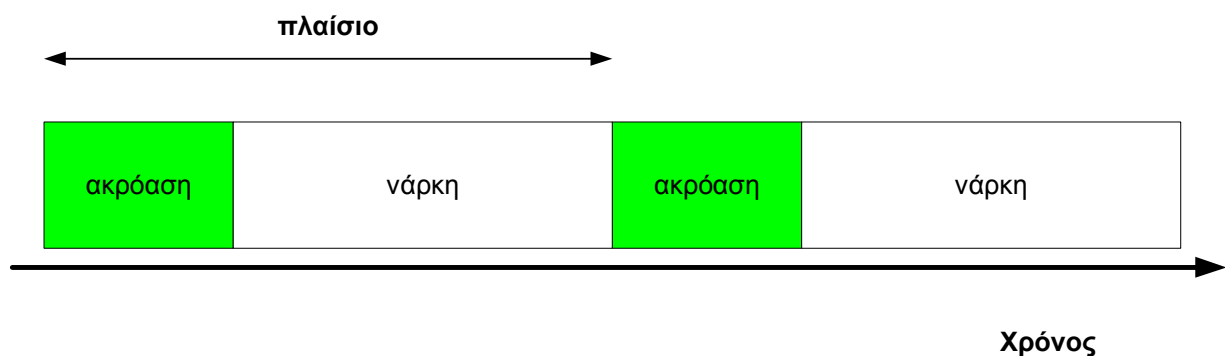
Κεφάλαιο 4 Sensor-MAC (S-MAC)

4.1 Σκοπός του S-MAC

Βασικός σκοπός του S-MAC είναι να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας από όλες τις πηγές της σπατάλης ενέργειας, όπως : την ανενεργή παρακολούθηση (idle listening), τις συγκρούσεις (collision), το overhearing, και τις επιπλέον πληροφορίες ελέγχου (control overhead).

4.2 Περιοδική «Ακρόαση» και «Ύπνος»

Σε πολλές εφαρμογές των δικτύων αισθητήρων, οι κόμβοι είναι ανενεργοί για μεγάλο χρονικό διάστημα εάν δεν συμβαίνει κάποιο ανιχνεύσιμο γεγονός. Δοθέντος του γεγονότος ότι ο ρυθμός των πληροφοριών είναι πολύ χαμηλός για αυτό το χρονικό διάστημα, δεν είναι απαραίτητο να έχουμε τους κόμβους να «ακούν» όλη την ώρα. Το S-MAC μειώνει τον χρόνο «ακρόασης» βάζοντας τους κόμβους σε περιοδική κατάσταση «ύπνου».

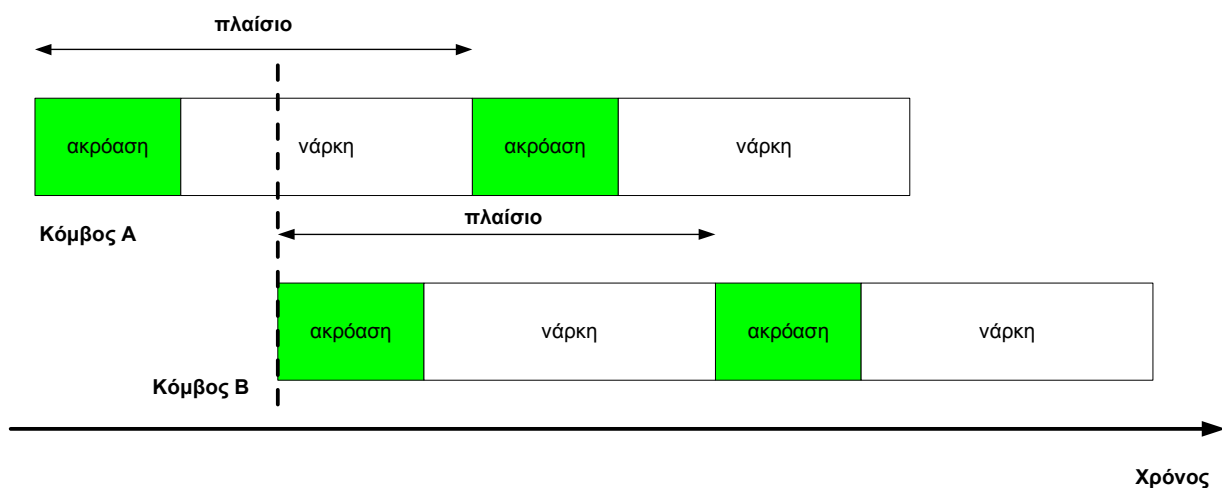


Εικόνα 47 Η ΒΑΣΙΚΗ ΑΥΤΗ ΙΔΕΑ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ «ΑΚΡΟΑΣΗΣ» ΚΑΙ «ΥΠΝΟΥ».

Ο κάθε κόμβος «κοιμάται» για κάποιο χρονικό διάστημα, και κατόπιν ξυπνάει και «ακούει» για να διαπιστώσει εάν κάποιος άλλος κόμβος θέλει να του μιλήσει. Κατά την διάρκεια του «ύπνου» του, απενεργοποιεί την ασύρματη ζεύξη του, και ενεργοποιεί ένα «ξυπνητήρι» για τον αφυπνίσει αργότερα. Ένας πλήρης κύκλος «ακρόασης» και «ύπνου» ονομάζεται

πλαίσιο. Κάθε πλαίσιο ξεκινάει με μια περίοδο «ακρόασης» για τους κόμβους που έχουν να στείλουν πληροφορίες για να συγχρονιστούν. Ακολουθεί μια περίοδος «ύπνου», κατά την οποία οι κόμβοι κοιμούνται εάν δεν υπάρχουν πληροφορίες για να σταλούν ή να ληφθούν, και οι κόμβοι παραμένουν ενεργοί και ανταλλάσσουν πληροφορίες εάν αναμιγνύονται στην επικοινωνία. Το διάστημα «ακρόασης» ορίζεται κανονικά ανάλογα με το φυσικό επίπεδο και τις παραμέτρους του επιπέδου MAC, π.χ. το ασύρματο εύρος ζώνης και το μέγεθος του παραθύρου του ανταγωνισμού. Στο SMAC όλοι οι κόμβοι είναι ελεύθεροι να διαλέξουν τα δικά τους προγράμματα «ακρόασης» / «ύπνου». Διαμοιράζουν τα χρονοδιαγράμματα τους με τους γείτονες τους ώστε να είναι πιθανή η επικοινωνία με όλους τους κόμβους. Τότε οι κόμβοι προγραμματίζουν τις εκπομπές κατά την περίοδο εκπομπής του προοριζόμενου κόμβου. Για παράδειγμα, ο κόμβος Α και ο κόμβος Β στην εικόνα 2 ακολουθούν διαφορετικά προγράμματα. Εάν ο Α θέλει να στείλει κάποιο μήνυμα στο Β, περιμένει μέχρι ο Β να ακούει. Το SMAC κάνει δυνατή την λειτουργία πολλαπλών αλμάτων με την προσαρμογή πολλαπλών χρονοδιαγραμμάτων στο δίκτυο.

Ο κόμβος Α μεταδίδει στον Β όταν ο Β αρχίζει να ακούει



Εικόνα 48 Ο ΚΟΜΒΟΣ Α ΜΕΤΑΔΙΔΕΙ ΣΤΟΝ Β, ΟΤΑΝ Ο Β ΑΡΧΙΖΕΙ ΝΑ ΑΚΟΥΕΙ.

Duty cycle ορίζεται ως ο λόγος του διαστήματος «ακρόασης» προς το μήκος του πλαισίου. Τα διαστήματα «ύπνου» μπορούν να αλλάξουν ανάλογα τις απαιτήσεις των διαφορετικών εφαρμογών, το οποίο ουσιαστικά αλλάζει το duty cycle. Για απλότητα, αυτές οι τιμές είναι κοινές για όλους τους κόμβους. Η πρώτη τεχνική στο SMAC είναι να

εγκαταστήσει μια λειτουργία low duty cycle στους κόμβους σε ένα δίκτυο πολλαπλών αλμάτων. Για δίκτυα αισθητήρων μεγάλης διάρκειας ζωής, αναμένουμε duty cycles 1-10 %. Το βασικό σχήμα είναι παρόμοιο με το 802.11 PS αλλά χωρίς να υποθέτουμε ότι όλοι οι κόμβοι μπορούν να ακούσουν ο ένας τον άλλον, ή ένα καθορισμένο σταθμό βάσης.

$$\text{Duty cycle} = \frac{T_{listen}}{T}$$

Είπαμε παραπάνω ότι όλοι οι κόμβοι είναι ελεύθεροι να επιλέξουν τα δικά τους προγράμματα «ακρόασης»/«ύπνου». Παρ' όλα αυτά, για να μειώσουμε τις επιπλέον πληροφορίες ελέγχου (control overhead), προτιμούμε οι γειτονικοί κόμβοι να συγχρονίζονται μαζί. Αυτό γίνεται διότι «ακούνε» την ίδια χρονική στιγμή και πέφτουν σε ανενεργία την ίδια περίοδο. Δύο γειτονικοί κόμβοι ο A και ο B μπορεί να έχουν διαφορετικά προγράμματα, εάν πρέπει να συγχρονιστούν με διαφορετικούς κόμβους, τον C και τον D αντίστοιχα, όπως φαίνεται στην εικόνα 49.



Εικόνα 49 *ΟΙ ΓΕΙΤΟΝΙΚΟΙ ΚΟΜΒΟΙ A ΚΑΙ B, ΕΧΟΥΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ. ΣΥΓΧΡΟΝΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΟΥΣ ΚΟΜΒΟΥΣ C ΚΑΙ D ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.*

Οι κόμβοι περιοδικά ανταλλάσσουν τα προγράμματα τους στέλνοντας ένα πακέτο SYNC στους άμεσους γείτονες τους. Ένας κόμβος μιλάει στους γειτονικούς του, κατά την προκαθορισμένη περίοδο «ακρόασης», εξασφαλίζοντας ότι όλοι οι γειτονικοί κόμβοι μπορούν να επικοινωνήσουν ακόμη και αν έχουν διαφορετικά προγράμματα. Στην εικόνα 49, παραδείγματος χάριν, εάν ο κόμβος A θέλει να μιλήσει στον κόμβο B, θα περιμένει μέχρι ο κόμβος B να ακούει. Η περίοδος για την οποία ένας κόμβος στέλνει ένα πακέτο SYNC ονομάζεται περίοδος συγχρονισμού. Με τον τρόπο αυτό αποτρέπουμε λάθη συγχρονισμού λόγω παρατεταμένης ολίσθησης του ρολογιού, αφού το πακέτο SYNC παρέχει ένα απλό συγχρονισμό ρολογιού. Συνδυασμένο έτσι με το σχετικά μεγάλο

διάστημα «ακρόασης» και το μικρό διάστημα επιφύλαξης στην αφύπνιση, το SMAC δεν χρειάζεται τον αυστηρό συγχρονισμό ρολογιού ενός TDMA πρωτοκόλλου.

Από την άλλη πλευρά, το SMAC για να μειώσει τον επιπλέον έλεγχο, προτρέπει τους γειτονικούς κόμβους να υιοθετήσουν πανομοιότυπα προγράμματα. Όταν ένας κόμβος πρώτο-επαληθεύσει τον εαυτό του, ακούει για μια περίοδο συγχρονισμού και υιοθετεί το πρώτο χρονοδιάγραμμα που ακούει. Επιπλέον, οι κόμβοι περιοδικά εκτελούν την αναζήτηση γειτόνων, ακούγοντας για ένα ολόκληρο πακέτο, με αυτό τον τρόπο τους επιτρέπεται να ανακαλύψουν κόμβους με διαφορετικά προγράμματα που μπορεί να έχουν μετακινηθεί μέσα στο πεδίο.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό του S-MAC είναι ότι μορφοποιεί τους κόμβους σε μια επίπεδη, peer-to-peer τοπολογία. Αντίθετα με τα πρωτόκολλα ομαδοποίησης, το S-MAC δεν απαιτεί συντονισμό μέσω των επικεφαλίδων των ομάδων.

4.3 Διαλογή και Συντήρηση των προγραμμάτων

Πριν κάθε κόμβος αρχίσει την περιοδική του «ακρόαση» και «νάρκη», πρέπει να διαλέξει ένα χρονοδιάγραμμα και να το ανταλλάξει με τους γειτονικούς του κόμβους. Ο κάθε κόμβος διατηρεί ένα **πίνακα προγραμμάτων** όπου αποθηκεύει τα προγράμματα όλων των γνωστών του γειτονικών κόμβων. Ακολουθεί τα παρακάτω βήματα για να διαλέξει το χρονοδιάγραμμα του και να εγκαταστήσει τον πίνακα προγραμμάτων του.

Ένας κόμβος πρώτα «ακούει» για προκαθορισμένη χρονική περίοδο, η οποία ισοδυναμεί τουλάχιστον με την περίοδο συγχρονισμού. Εάν δεν ακούσει κάποιο χρονοδιάγραμμα από κάποιον άλλον κόμβο, αμέσως διαλέγει το δικό του χρονοδιάγραμμα και αρχίζει να το εφαρμόζει. Εν τω μεταξύ, ο κόμβος προσπαθεί να ανακοινώσει το χρονοδιάγραμμα του μεταδίδοντας ένα πακέτο SYNC. Η μετάδοση του πακέτου SYNC ακολουθεί την διαδικασία του κανονικού ανταγωνισμού. Ο κανονικοποιημένος χρόνος ανίχνευσης φέρουσας μειώνει το ρίσκο των συγκρούσεων των πακέτων SYNC.

Εάν ο κόμβος λάβει ένα χρονοδιάγραμμα από έναν γειτονικό κόμβο, προτού διαλέξει ή ανακοινώσει το δικό του χρονοδιάγραμμα, ακολουθεί αυτό το χρονοδιάγραμμα καθορίζοντας το χρονοδιάγραμμα του ώστε να είναι ίδιο. Μετά ο κόμβος θα προσπαθήσει να ανακοινώσει το χρονοδιάγραμμα του στην επόμενη προγραμματισμένη του περίοδο «ακρόασης».

Υπάρχουν δύο περιπτώσεις εάν ένας κόμβος λάβει ένα διαφορετικό χρονοδιάγραμμα, αφού έχει διαλέξει και ανακοινώσει το δικό του χρονοδιάγραμμα. Εάν ο κόμβος δεν έχει άλλους γειτονικούς, θα απορρίψει το τωρινό του χρονοδιάγραμμα και θα ακολουθήσει το καινούργιο. Εάν ο κόμβος ήδη ακολουθεί ένα χρονοδιάγραμμα μαζί με έναν ή περισσότερους γειτονικούς κόμβους, θα υιοθετήσει και τα δύο προγράμματα «ξυπνώντας» στα διαστήματα «ακρόασης» και των δύο προγραμμάτων.

Για να απεικονίσουμε αυτόν τον αλγόριθμο, σκεφτείτε ένα δίκτυο όπου όλοι οι κόμβοι μπορούν να ακούσουν ο ένας τον άλλον. Ο κόμβος που αρχίζει πρώτα θα διαλέξει πρώτα ένα χρονοδιάγραμμα, και η μετάδοση του θα συγχρονίσει όλους τους κόμβους της ίδιας ομάδας με το χρονοδιάγραμμα του. Εάν δύο ή περισσότεροι κόμβοι αρχίσουν πρώτοι ταυτόχρονα, θα τελειώσουν την αρχική ακρόαση την ίδια ώρα, και θα διαλέξουν το ίδιο χρονοδιάγραμμα ανεξάρτητα. Ασχέτως με το ποιος κόμβος μεταδίδει πρώτος το SYNC πακέτο του (κερδίζει δηλαδή τον ανταγωνισμό), αυτός θα συγχρονίσει και τους υπόλοιπους κόμβους.

Παρ' όλα αυτά, δύο κόμβοι μπορούν να προσδιορίσουν ανεξάρτητα τα προγράμματα τους εάν δεν μπορούν να ακούσουν ο ένας τον άλλον σε ένα δίκτυο πολλαπλών αλμάτων. Σε αυτήν την περίπτωση, αυτοί οι κόμβοι στα σύνορα των δύο προγραμμάτων θα υιοθετήσουν και τα δύο. Για παράδειγμα, οι κόμβοι Α και Β στην εικόνα 49 θα ξυπνήσουν στην περίοδο «ακρόασης» και των δύο προγραμμάτων. Με αυτόν τον τρόπο, όταν ένας συνοριακός κόμβος στέλνει ένα πακέτο μετάδοσης, χρειάζεται μόνο να το στείλει μια φορά. Το μειονέκτημα είναι ότι οι συνοριακοί κόμβοι έχουν λιγότερη ώρα για ύπνο και καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια από άλλους.

Μια άλλη άποψη είναι να αφήσουμε τον συνοριακό κόμβο να υιοθετήσει μόνο ένα χρονοδιάγραμμα, αυτό που λαμβάνει πρώτο. Αφού ξέρει ότι κάποιοι άλλοι γειτονικοί κόμβοι ακολουθούν κάποιο άλλο χρονοδιάγραμμα, θα εξακολουθεί να μπορεί να μιλήσει σε αυτούς. Παρ' όλα αυτά, στην μετάδοση, χρειάζεται να μεταδώσει δύο φορές σε δύο διαφορετικά προγράμματα. Το πλεονέκτημα είναι ότι οι συνοριακοί κόμβοι έχουν το ίδιο απλό πρότυπο της περιοδικής «ακρόασης και ύπνου» όπως και οι άλλοι κόμβοι.

Προσδοκούμε ότι οι κόμβοι σπάνια θα αντιμετωπίζουν πολλαπλά προγράμματα, αφού κάθε κόμβος προσπαθεί να ακολουθήσει ένα υφιστάμενο χρονοδιάγραμμα προτού διαλέξει ένα ανεξάρτητο. Όμως, ένας καινούργιος κόμβος μπορεί να αποτύχει να ανακαλύψει έναν υφιστάμενο γειτονικό κόμβο για πολλούς λόγους. Το πακέτο SYNC από τον γειτονικό κόμβο μπορεί να είναι χαλασμένο από συγκρούσεις ή από παρεμβολές. Ο γειτονικός

κόμβος μπορεί να έχει καθυστερήσει να στείλει το πακέτο SYNC εξαιτίας του απασχολούμενου μέσου. Εάν ο νέος κόμβος είναι στα σύνορα δύο προγραμμάτων, μπορεί να ανακαλύψει μόνο το πρώτο εάν τα δύο προγράμματα δεν επικαλύπτονται.

Για να αποτρέψουμε την περίπτωση όπου δύο γειτονικοί κόμβοι χάνουν ο ένας τον άλλον μόνιμα όταν ακολουθούν εντελώς διαφορετικά προγράμματα, το SMAC εισάγει την περιοδική ανακάλυψη γειτονικών κόμβων, π.χ. κάθε κόμβος περιοδικά αφουγκράζεται για ολόκληρη περίοδο συγχρονισμού. Η συχνότητα με την οποία ένας κόμβος εκτελεί την περιοδική ανακάλυψη γειτονικών κόμβων εξαρτάται από τον αριθμό των γειτονικών κόμβων που έχει. Εάν ο κόμβος δεν έχει κανένα γειτονικό κόμβο, εκτελεί την περιοδική ανακάλυψη γειτονικών κόμβων πιο επιθετικά από ότι στην περίπτωση που έχει πολλούς γειτονικούς κόμβους. Αφού το κόστος της ενέργειας είναι υψηλό κατά την διάρκεια της περιοδικής ανακάλυψης γειτονικών κόμβων, δεν θα πρέπει να εκτελείται τόσο συχνά. Στην υλοποίηση του Heidemann [1] η περίοδος συγχρονισμού είναι 10 s , και ένας κόμβος εκτελεί την περιοδική ανακάλυψη γειτονικών κόμβων κάθε 2 min. Έστω και αν έχει μόνο ένα γειτονικό κόμβο.

4.4 Διατήρηση Συγχρονισμού

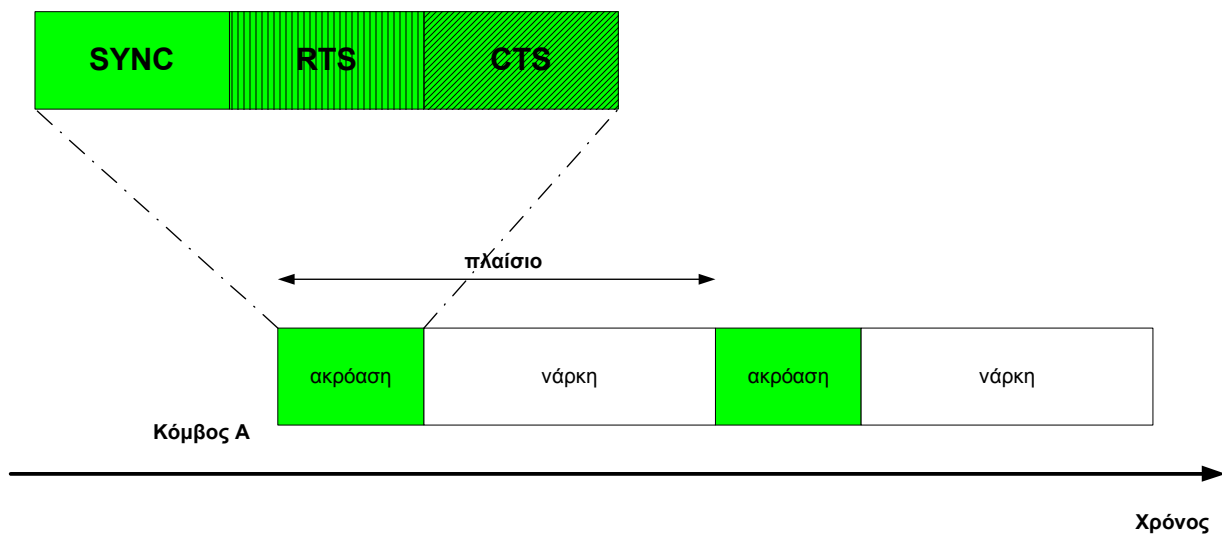
Αφού οι γειτονικοί κόμβοι συγχρονίζονται για τα προγράμματα «νάρκης» τους, η ολίσθηση του ρολογιού σε κάθε κόμβο μπορεί να επιφέρει λάθη συγχρονισμού. Χρησιμοποιούμε δύο τεχνικές για να κάνουμε το σύστημα ανθεκτικό σε τέτοια λάθη. Πρώτα όλες οι πληροφορίες συγχρονισμού είναι περισσότερο σχετικές παρά απόλυτες. Δεύτερον, η περίοδος «ακρόασης» είναι σημαντικά μεγαλύτερη από ότι οι τιμές ολίσθησης του ρολογιού. Για παράδειγμα, ο χρόνος «ακρόασης» των 0,5 s είναι μεγαλύτερος κατά 10^4 φορές από τις τυπικές τιμές ολίσθησης ρολογιού. Συγκρινόμενο με τα διαγράμματα TDMA με πολύ μικρότερες χρονοθυρίδες, το SMAC απαιτεί πολύ πιο χαλαρή περίοδο συγχρονισμού.

Αν και οι μεγάλοι χρόνοι «ακρόασης» μπορούν να ανεχτούν σχετικά μεγάλες ολισθήσεις ρολογιού, οι γειτονικοί κόμβοι ακόμη χρειάζονται να ενημερώνουν περιοδικά το χρονοδιάγραμμα τους ο ένας με τον άλλον για να αποτρέψουν τις μεγάλες ολισθήσεις του ρολογιού. Η περίοδος συγχρονισμού μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη. Οι μετρήσεις σε κόμβους δοκιμής του Heidemann[1] ;έδειξαν ότι η ολίσθηση του ρολογιού ανάμεσα σε δύο κόμβους δεν ξεπερνά τα 0,2 ms ανά δευτερόλεπτο.

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, η ενημέρωση των προγραμμάτων επιτυγχάνεται με την αποστολή ενός πακέτου SYNC. Το πακέτο SYNC είναι πολύ μικρό και περιλαμβάνει την διεύθυνση του πομπού / αποστολέα και τον χρόνο του επόμενου του ύπνου. Ο χρόνος του επόμενου ύπνου είναι σχετικός με την στιγμή που ο πομπός αρχίζει να μεταδίδει το πακέτο SYNC. Όταν ο δέκτης λάβει τον χρόνο από το πακέτο SYNC αφαιρεί τον χρόνο μετάδοσης του πακέτου και χρησιμοποιεί την καινούργια τιμή για να ρυθμίσει το χρονόμετρο του.

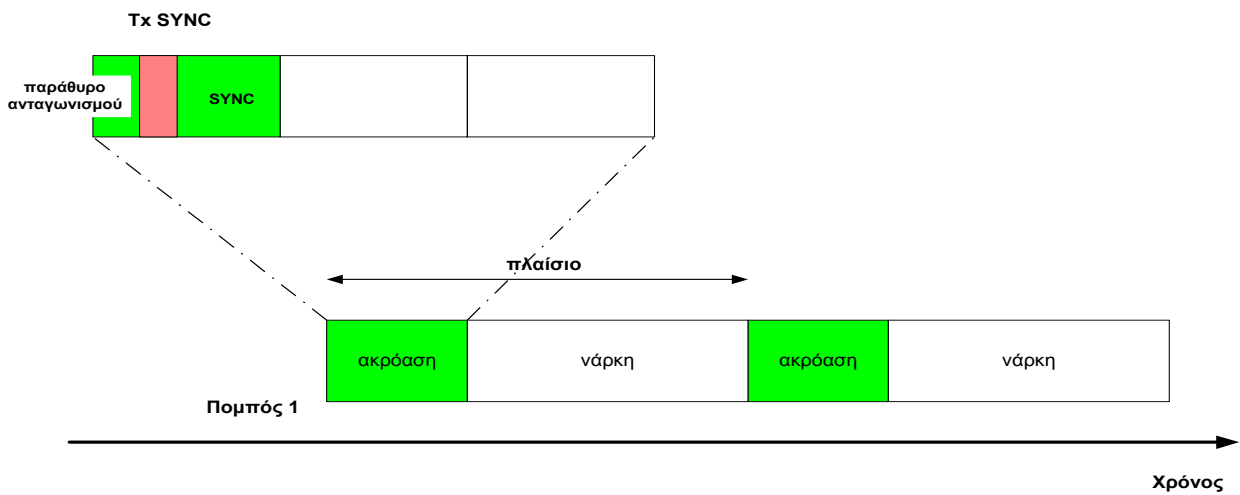
Για να μπορέσει ένας κόμβος να λάβει και πακέτα SYNC και πακέτα δεδομένων, διαιρούμε το διάστημα «ακρόασης» του σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος είναι για πακέτα συγχρονισμού και το δεύτερο για πακέτα πληροφοριών, όπως δείχνει και η εικόνα 4. Κάθε μέρος έχει ένα παράθυρο ανταγωνισμού με πολλές χρονοθυρίδες για τους πομπούς για να εκτελούν την ανίχνευση φέροντος. Για παράδειγμα, εάν ένας πομπός θέλει να στείλει ένα πακέτο SYNC, αρχίζει την ανίχνευση φέροντος όταν ο δέκτης αρχίζει να «ακούει». Τυχαία επιλέγει μια χρονοθυρίδα για να τελειώσει την ανίχνευση φέροντος. Εάν δεν έχει ανιχνεύσει κάποια μετάδοση μέχρι το τέλος αυτής της χρονοθυρίδας, κερδίζει τον ανταγωνισμό και αρχίζει να στέλνει το SYNC πακέτο του. Η ίδια διαδικασία χρησιμοποιείται και όταν στέλνει πακέτα πληροφοριών.

Δέκτης

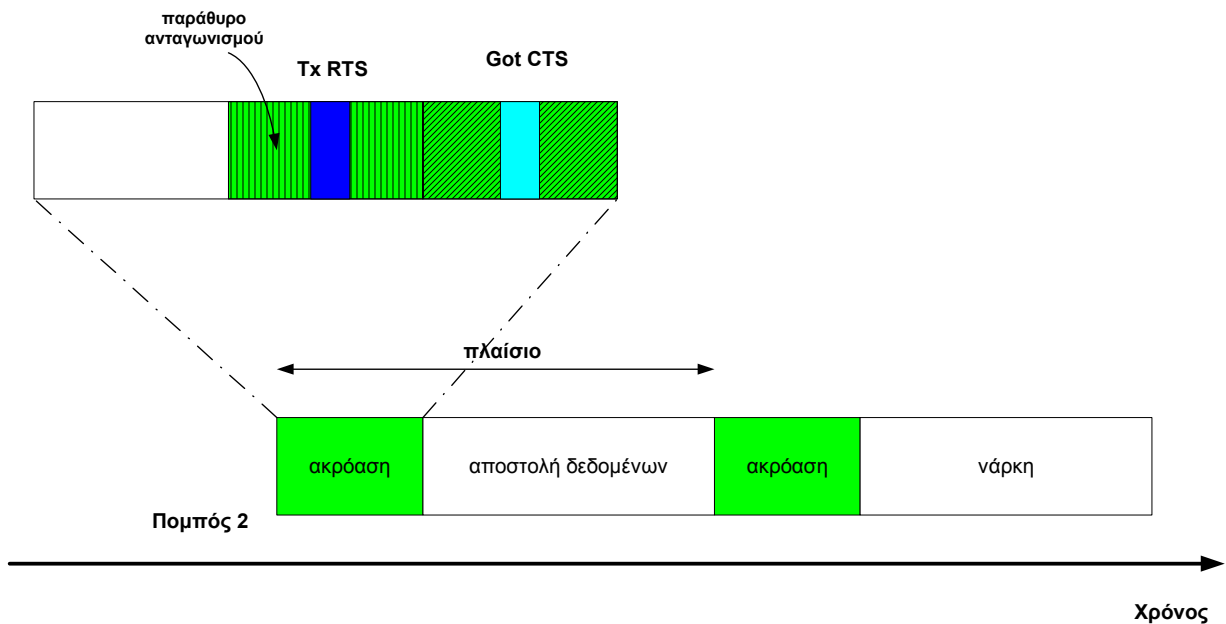


Εικόνα 50 ΔΙΑΜΟΙΡΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ «ΑΚΡΟΑΣΗΣ» ΣΕ ΔΥΟ ΚΟΜΜΑΤΙΑ (ΣΕ ΕΝΑ ΔΕΚΤΗ), ΕΝΑ ΚΟΜΜΑΤΙ ΓΙΑ ΤΑ ΠΑΚΕΤΑ SYNC ΚΑΙ ΤΟ ΥΠΟΛΟΙΠΟ ΓΙΑ ΠΑΚΕΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ.

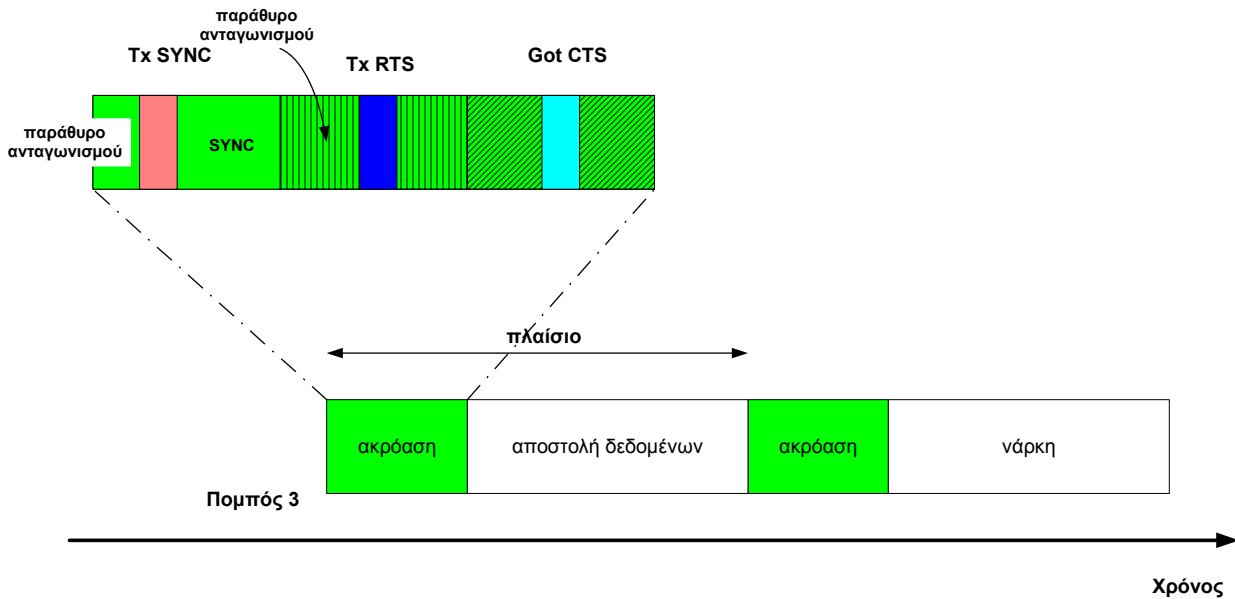
Οι εικόνες 51, 52, 53 δείχνουν την χρονική σχέση των τριών πιθανών καταστάσεων όπου ο πομπός μεταδίδει σε ένα δέκτη.



Εικόνα 51 Ο ΠΟΜΠΟΣ 1 ΣΤΕΛΝΕΙ ΜΟΝΟ ΕΝΑ ΠΑΚΕΤΟ SYNC ΓΙΑ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΙΠΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ.



Εικόνα 52 Ο ΠΟΜΠΟΣ 2 ΣΤΕΛΝΕΙ ΕΝΑ ΠΑΚΕΤΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΕ ΕΝΑ ΑΛΛΟ ΚΟΜΒΟ. ΔΕΝ ΣΤΕΛΝΕΙ ΠΑΚΕΤΟ SYNC, ΑΡΑ ΔΕΝ ΓΙΝΕΤΑΙ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ ΤΩΝ ΑΛΛΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ. ΒΛΕΠΟΥΜΕ ΟΤΙ ΣΤΕΛΝΕΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΦΟΥ ΛΑΒΕΙ ΤΟ ΠΑΚΕΤΟ CTS.



Εικόνα 53 Ο ΠΟΜΠΟΣ 3 ΣΤΕΛΝΕΙ ΚΑΙ ΠΑΚΕΤΟ SYNC, ΕΝΗΜΕΡΩΝΟΝΤΑΣ ΤΟΥΣ ΑΛΛΟΥΣ ΚΟΜΒΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΚΑΙ ΑΦΟΥ ΛΑΒΕΙ ΤΟ ΠΑΚΕΤΟ CTS ΑΠΟ ΤΟΝ ΔΕΚΤΗ, ΣΤΕΛΝΕΙ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.

4.5 Προσαρμόσιμη «ακρόαση»

Το σχέδιο της περιοδικής «ακρόασης και ύπνου» είναι ικανό να μειώσει σημαντικά τον χρόνο που σπαταλιέται στην ανενεργή «ακρόαση» όταν το φορτίο της κίνησης είναι ασήμαντο. Παρ’ όλα αυτά, όταν πράγματι γίνεται ένα αυτόματα ανιχνεύσιμο γεγονός, είναι επιθυμητό οι πληροφορίες που ανιχνεύθηκαν να περάσουν δια μέσου του δικτύου χωρίς μεγάλη καθυστέρηση. Όταν κάθε κόμβος ακολουθεί αυστηρά το δικό του χρονοδιάγραμμα «νάρκης», υπάρχει κάποια πιθανή καθυστέρηση σε κάθε άλμα, η μέση τιμή της οποίας σε διάστημα πολλών αλμάτων είναι ανάλογη με το μήκος του πλαισίου που χαρακτηρίζει το μέσο. Γι’ αυτό εισάγουμε ένα μηχανισμό για να αλλάξει τους κόμβους από την κατάσταση του χαμηλού duty cycle σε έναν πιο ενεργό κύκλο.

Το SMAC προτείνει μια σημαντική τεχνική, που ονομάζεται **προσαρμόσιμη «ακρόαση»**, για να βελτιώσει την χρονική καθυστέρηση (latency) που προκαλείται από την περιοδική «νάρκη» του κάθε κόμβου σε ένα δίκτυο πολλαπλών αλμάτων. Η βασική ιδέα είναι να αφήσουμε τον κόμβο που κρυφακούει τις μεταδόσεις του γειτονικού κόμβου (στην

καλύτερη περίπτωση μόνο το RTS ή το CTS) και να αφυπνιστεί για ένα μικρό χρονικό διάστημα στο τέλος της μετάδοσης. Με αυτόν τον τρόπο, εάν ο κόμβος είναι ο κόμβος του επόμενου άλματος, ο γειτονικός του κόμβος μπορεί αμέσως να διαβιβάσει τις πληροφορίες σε αυτόν, αντί να περιμένει για τον προγραμματισμένο χρόνο ακρόασης. Εάν ο κόμβος δεν λάβει τίποτα κατά την προσαρμοσμένη «ακρόαση», θα ξαναπέσει σε «νάρκη» μέχρι τον επόμενο προγραμματισμένο χρόνο «ακρόασης».

Ας δούμε το χρονικό διάγραμμα στις εικόνες 50-53. Εάν ο κόμβος του επόμενου άλματος είναι γειτονικός του πομπού, θα λάβει το RTS πακέτο. Εάν ο κόμβος του επόμενου άλματος είναι γειτονικός του δέκτη, θα λάβει το πακέτο CTS από τον δέκτη. Έτσι οι γειτονικοί κόμβοι και του πομπού και του δέκτη μαθαίνουνε για πόση ώρα κρατάει η μετάδοση από τα πεδία διάρκειας των πακέτων RTS και CTS. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να αφυπνιστούν προσαρμοστικά όταν η μετάδοση λήξει.

Το διάστημα της προσαρμοστικής «ακρόασης» δεν περιλαμβάνει το χρόνο του πακέτου SYNC όπως στο κανονικό διάστημα «ακρόασης» (βλέπε εικόνα 50-53). Τα πακέτα SYNC στέλνονται μόνο στον προγραμματισμένο χρόνο «ακρόασης» για να διασφαλιστεί ότι όλοι οι γειτονικοί κόμβοι μπορούν να τα λάβουν. Για να δώσουν προτεραιότητα στο πακέτο SYNC, η προσαρμοστική «ακρόαση» και μετάδοση δεν εκτελούνται εάν η διάρκεια από την στιγμή που έχει τερματίσει η προηγούμενη μετάδοση έως την στιγμή της κανονικά προγραμματισμένης «ακρόασης» είναι μικρότερη από το διάστημα της προσαρμοστικής «ακρόασης».

Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν μπορούν όλοι οι κόμβοι του επόμενου άλματος να κρυφακούσουν το πακέτο από την προηγούμενη μετάδοση, ειδικά όταν η προηγούμενη μετάδοση άρχισε προσαρμοστικά, π.χ. όχι στον κανονικά προγραμματισμένο χρόνο «ακρόασης». Έτσι εάν ο πομπός αρχίσει μια μετάδοση στέλνοντας ένα πακέτο RTS κατά την διάρκεια της προσαρμοστικής «ακρόασης», μπορεί να μην έχει μια CTS απάντηση. Σε αυτήν την περίπτωση, απλά πέφτει ξανά σε «νάρκη» και θα ξαναπροσπαθήσει στον επόμενο κανονικό χρόνο «ακρόασης».

4.6 Αποφυγή Συγκρούσεων

Εάν πολλαπλοί γείτονες θέλουν να μιλήσουν σε ένα κόμβο ταυτόχρονα, θα προσπαθήσουν να στείλουν όταν ο κόμβος αρχίσει να «ακούει». Σε αυτή την περίπτωση, χρειάζεται να ανταγωνιστούνε για το μέσο. Ανάμεσα στα πρωτόκολλα ανταγωνισμού, το 802.11 ανταποκρίνεται πολύ καλά στην αποφυγή των συγκρούσεων. Το S-MAC χρησιμοποιεί παρόμοιες διαδικασίες, συμπεριλαμβάνοντας εικονική και φυσική ανίχνευση φέροντος, και την ανταλλαγή RTS/CTS για το πρόβλημα του κρυμμένου κόμβου.

Υπάρχει ένα χρονικό πεδίο σε κάθε εκπεμπόμενο πακέτο, το οποίο υποδηλώνει πόσης διάρκειας θα είναι η εναπομένουσα εκπομπή. Εάν ένας κόμβος παραλάβει ένα πακέτο που προορίζεται για ένα άλλο κόμβο, ξέρει πόση ώρα πρέπει να σιγήσει από αυτόν το πεδίο. Ο κόμβος καταγράφει αυτή την τιμή σε μια μεταβλητή που ονομάζεται διάνυσμα κατανομής δικτύου (network allocation vector (NAV)) και ενεργοποιεί ένα χρονόμετρο γι' αυτό. Κάθε φορά που ενεργοποιείται το χρονόμετρο, ο κόμβος μειώνει το NAV, μέχρι να μηδενιστεί. Πριν αρχικοποιήσει μια μετάδοση, ο κόμβος πρώτα κοιτάει το NAV του. Εάν η τιμή του δεν είναι μηδέν, ο κόμβος αποφασίζει ότι το μέσο είναι απασχολημένο. Αυτό ονομάζεται εικονική ανίχνευση φέροντος.

Η φυσική ανίχνευση φέροντος εκτελείται στο φυσικό επίπεδο ακούγοντας το κανάλι για πιθανές εκπομπές. Ο χρόνος της ανίχνευσης φέροντος τυχαιοποιείται μέσα σε ένα παράθυρο ανταγωνισμού για να αποφευχθούν οι συγκρούσεις και οι λιμοκτονίες. Το μέσο λογαριάζεται ότι είναι ελεύθερο όταν και η εικονική και η φυσική ανίχνευση φέροντος δείξουν ότι είναι ελεύθερο.

Όλοι οι αποστολείς διεξάγουν την ανίχνευση φέροντος πριν από μια μετάδοση.

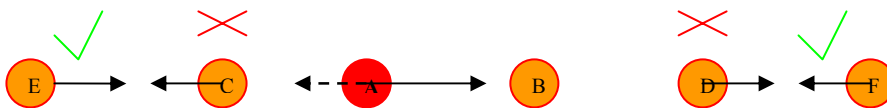
4.7 Αποφυγή «κρυφακούσματος» και μετάδοσης δεδομένων

Η αποφυγή των συγκρούσεων είναι μια βασική διεργασία των MAC πρωτόκολλων. Το S-MAC υιοθετεί το σχήμα που βασίζεται στον ανταγωνισμό. Είναι γνωστό ότι οποιοδήποτε πακέτο μεταδίδεται από ένα κόμβο λαμβάνεται από όλους τους γειτονικούς του κόμβους ακόμη κι αν μόνο ένας από αυτούς είναι ο δέκτης προορισμού. Αυτό το «κρυφάκουσμα» κάνει τα πρωτόκολλα που βασίζονται στον ανταγωνισμό λιγότερο αποδοτικά σε επίπεδο ενέργειας, απ' ότι τα TDMA πρωτόκολλα.

4.7.1 Αποφυγή «κρυφακούσματος»

Στο 802.11 κάθε κόμβος συνεχώς ακούει όλες τις μεταδόσεις από τους γείτονες του ώστε να εκτελέσει μια αποδοτική εικονική ανίχνευση φέροντος. Ως αποτέλεσμα, κάθε κόμβος «κρυφακούει» αρκετά πακέτα που δεν απευθύνονται σε αυτόν. Είναι μια σημαντική απώλεια ενέργειας, ειδικά όταν η πυκνότητα των κόμβων είναι υψηλή και το φορτίο κίνησης είναι υψηλό.

Το S-MAC προσπαθεί να αποφύγει το «κρυφακούσμα» με το να επιτρέπει στους παρεμβαλλόμενους κόμβους να πέσουν σε νάρκη αφού ακούσουν ένα RTS ή CTS πακέτο. Αφού τα πακέτα πληροφοριών είναι κανονικά πολύ μεγαλύτερα από τα πακέτα ελέγχου, η προσέγγιση αυτή αποτρέπει τους γειτονικούς κόμβους από το «κρυφακούσμα» των μεγάλων πακέτων πληροφοριών και των ακολουθούμενων ACK. Παρακάτω εξετάζουμε ποιοι κόμβοι πρέπει να πέσουν σε νάρκη όταν είναι σε εξέλιξη μια ενεργή μετάδοση.



Εικόνα 54 ΠΟΙΟΣ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΠΕΣΕΙ ΣΕ ΝΑΡΚΗ ΟΤΑΝ Ο ΚΟΜΒΟΣ Α ΜΕΤΑΔΙΔΕΙ ΣΤΟΝ ΚΟΜΒΟ Β;

Στην εικόνα 54, οι κόμβοι A,B,C,D,E και F διαμορφώνουν ένα δίκτυο πολλαπλών αλμάτων όπου ο κάθε κόμβος μπορεί να ακούει μόνο τις μεταδόσεις από τους άμεσους γείτονες του. Υποθέτουμε ότι ο κόμβος A μεταδίδει τώρα ένα πακέτο δεδομένων στον κόμβο B. Ποιος από τους εναπομείναντες κόμβους πρέπει να πέσει σε νάρκη κατά την διάρκεια της μετάδοσης;

Θυμηθείτε ότι οι συγκρούσεις γίνονται στον δέκτη. Είναι ξεκάθαρο ότι ο δέκτης D πρέπει να πέσει σε νάρκη αφού η μετάδοση του παρεμβάλλεται με την λήψη του B. Οι κόμβοι E και F δεν προκαλούν παρεμβολή, ώστε δεν χρειάζεται να πέσουν σε νάρκη. Πρέπει ο κόμβος C να πέσει σε νάρκη; Ο κόμβος C απέχει δύο άλματα από τον B, και η μετάδοση του δεν παρεμβαίνει στην λήψη του B, έτσι είναι ελεύθερος να μεταδώσει σε άλλους γειτονικούς του κόμβους όπως ο E. Όμως, ο C δεν μπορεί να πάρει απάντηση από τον E,

π.χ. πακέτο CTS ή πακέτο πληροφοριών διότι η μετάδοση του κόμβου E συγκρούεται με την μετάδοση του κόμβου A προς τον κόμβο C. Έτσι η μετάδοση του C απλά θα είναι απώλεια ενέργειας. Επιπλέον, αφού ο A στείλει στον B, πιθανόν να περιμένει ένα πακέτο ACK από τον B, και η μετάδοση του D πιθανόν να διακόψει την μετάδοση του ACK πακέτου. Περιληπτικά λοιπόν, όλοι οι άμεσοι γείτονες και του πομπού και του δέκτη θα πρέπει να πέσουν σε νάρκη (στην εικόνα 54 δηλώνονται με x) αφού ακούσουν το RTS ή CTS πακέτο, μέχρι να τερματιστεί η μετάδοση μεταξύ A και B.

Κάθε κόμβος διατηρεί το NAV για να καταγράφεται η δραστηριότητα στην γειτονία του. Όταν ο κόμβος λάβει ένα πακέτο που προορίζεται για άλλους κόμβους, ενημερώνει το NAV του από το πεδίο διάρκειας του πακέτου. Μια μη μηδενική τιμή του NAV υποδηλώνει ότι υπάρχει μια ενεργή μετάδοση στην γειτονία του. Η τιμή του πεδίο NAV μειώνεται κάθε φορά που το χρονόμετρο του NAV ενεργοποιείται. Έτσι ένας κόμβος πρέπει να πέσει σε νάρκη για να αποφύγει το «κρυφάκουσμα» όταν η τιμή του NAV του δεν είναι μηδενική. Μπορεί να αφυπνιστεί όταν το πεδίο του NAV γίνει μηδενικό.

Σημειώνουμε επίσης ότι σε μερικές περιπτώσεις πράγματι το «κρυφάκουσμα» είναι επιθυμητό. Μερικοί αλγόριθμοι βασίζονται στο «κρυφάκουσμα» για να συλλέξουν για τους γειτονικούς κόμβους πληροφορίες για την παρακολούθηση του δικτύου, τις αξιόπιστες ερωτήσεις δρομολόγησης ή κατανομής επεξεργασίας. Εάν είναι επιθυμητό, το S-MAC μπορεί να διαμορφωθεί ώστε να επιτρέψει να συμβεί κάποια καθορισμένη εφαρμογή «κρυφακούσματος». Πάρα όλα αυτά πιστεύουμε ότι οι αλγόριθμοι που δεν απαιτούν «κρυφάκουσμα» θα ταιριάξουν καλύτερα σε δίκτυα περιορισμένης ενέργειας. Για παράδειγμα, το S-MAC χρησιμοποιεί σαφείς πληροφορίες βεβαίωσης λήψης απ' ότι εννοούμενες.

4.7.2 Μετάδοση δεδομένων

Ο μηχανισμός αποφυγής συγκρούσεων στο SMAC είναι παρόμοιος με αυτόν του 802.11DCF. Ο ανταγωνισμός γίνεται μόνο κατά το διάστημα ακρόασης του δέκτη. Το SMAC χρησιμοποιεί και εικονική και φυσική ανίχνευση φέροντος. Τα πακέτα μοναδικής αποστολής (unicast) συνδυάζουν CSMA και μια ανταλλαγή RTS-CTS-DATA-ACK ανάμεσα στον αποστολέα και τον παραλήπτη, ενώ τα πακέτα μετάδοσης (broadcast) χρησιμοποιούν μόνο την διαδικασία CSMA.

Το SMAC βάζει ένα πεδίο διάρκειας σε κάθε πακέτο, το οποίο υποδηλώνει τον χρόνο που χρειάζεται στην τωρινή μετάδοση. Εάν ένας γειτονικός κόμβος λάβει κάποιο πακέτο από τον αποστολέα ή τον παραλήπτη, ξέρει για πόση ώρα χρειάζεται να παραμείνει σιωπηλός. Σε αυτή την περίπτωση, το SMAC βάζει τον κόμβο σε κατάσταση ύπνου για αυτό το χρονικό διάστημα, αποφεύγοντας την σπατάλη ενέργειας για το «κρυφάκουσμα».

Ιδανικά, ο κόμβος μπαίνει σε ύπνο αφού λάβει ένα μικρό RTS ή CTS πακέτο που προορίζεται για άλλους κόμβους, και αποφεύγει να κρυφακούσει τα επακόλουθα δεδομένα και τα ACK πακέτα. Συγκρινόμενο με το PAMAS, το SMAC χρησιμοποιεί την ενδοκαναλική σηματοδότηση για την αποφυγή του «κρυφακούσματος».

4.7.3 Μετάδοση μηνυμάτων (Message Passing)

Στην μετάδοση δεδομένων θέλουμε να μεταδώσουμε ένα μεγάλο μήνυμα αποτελεσματικά και από άποψη ενέργειας και χρονικής καθυστέρησης. Ένα μήνυμα είναι η συλλογή αξιόλογων συσχετιζόμενων τεμαχίων πληροφοριών. Ο δέκτης συνήθως χρειάζεται να αποκτήσει όλα τα τεμάχια της πληροφορίας πριν εκτελέσει τις ενδοδικτυακές επεξεργασίες ή την συσσώρευση των πληροφοριών.

Τα μειονεκτήματα της μετάδοσης ενός μεγάλου μηνύματος σε ένα μεγάλο πακέτο είναι το υψηλό κόστος της αναμετάδοσης του μεγάλου πακέτου εάν μόνο μερικά bits έχουν αλλοιωθεί κατά την πρώτη μετάδοση. Παρ' όλα αυτά εάν κομματιάσουμε το μεγάλο πακέτο σε πολλά ανεξάρτητα μικρά πακέτα, θα έχουμε ως συνέπεια την μεγάλη πληροφορία ελέγχου και την μεγαλύτερη καθυστέρηση. Αυτό συμβαίνει επειδή τα RTS και CTS πακέτα χρησιμοποιούνται στον ανταγωνισμό για κάθε ανεξάρτητο πακέτο.

Η προσέγγιση μας είναι να κομματιάσουμε το μεγάλο μήνυμα σε μικρά κομμάτια και να τα μεταδώσουμε σε μια ριπή. Χρησιμοποιούνται έτσι μόνο ένα RTS και ένα CTS. Αυτά δεσμεύουν το μέσο για την μετάδοση όλων των κομματιών. Κάθε φορά που μεταδίδεται ένα κομμάτι πληροφορίας, ο πομπός περιμένει ένα ACK από τον δέκτη. Εάν αποτύχει να λάβει το ACK, θα παρατείνει τον δεσμευμένο χρόνο μετάδοσης για ένα ακόμη κομμάτι και θα μεταδώσει ξανά άμεσα το τωρινό κομμάτι.

Όπως και πριν, όλα τα πακέτα έχουν ένα πεδίο διάρκειας, το οποίο τώρα είναι ο χρόνος που χρειάζεται για την μετάδοση όλων των εναπομεινάντων κομματιών των πληροφοριών και των πακέτων ACK. Εάν ένας γειτονικός κόμβος ακούσει ένα RTS ή CTS πακέτο, θα πέσει σε νάρκη για το χρονικό διάστημα που χρειάζεται η μετάδοση όλων των κομματιών.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των wireless sensor networks είναι η επεξεργασία των δεδομένων μέσα στο δίκτυο, αφού η συσσώρευση των δεδομένων ή άλλες τεχνικές μπορούν να μειώσουν σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας, μειώνοντας κατά πολύ την ποσότητα των πληροφοριών που θα μεταδοθούν. Η ενδοδικτυακή διαδικασία απαιτεί την διαδικασία αποθήκευσης και αναμονής (store-and-wait) των μηνυμάτων των επιπέδων εφαρμογής και όχι μόνο ξεχωριστών πακέτων ή κομματιών του MAC επιπέδου. Ενώ τα παραδοσιακά MAC πρωτόκολλα δίνουν έμφαση στην δίκαια κατανομή και την επικοινωνία αναμειγμένα (interleave) από ταυτόχρονους αποστολείς, το SMAC χρησιμοποιεί την μετάδοση μηνυμάτων (message-passing), μια βελτιστοποίηση που επιτρέπει σε πολλαπλά μηνύματα από ένα μήνυμα να σταλούν σε μια ριπή. Μειώνει έτσι την χρονική καθυστέρηση του επιπέδου μηνύματος με την απενεργοποίηση της ανάμιξης (interleaving) του επιπέδου κομματιών πολλαπλών μηνυμάτων.

Στην μετάδοση δεδομένων, χρησιμοποιείται μόνο ένα RTS και ένα CTS για να διατηρήσουν το μέσο για το χρονικό διάστημα που χρειάζεται ώστε να στείλουν όλα τα κομμάτια. Το κάθε κομμάτι αναγνωρίζεται ξεχωριστά (και μεταδίδεται ξανά εάν είναι απαραίτητο). Εκτός από τα RTS και CTS, το κάθε κομμάτι ή ACK επίσης περιλαμβάνει την διάρκεια της εναπομένουσας μετάδοσης, επιτρέποντας έτσι στους κόμβους που ξυπνούνε στο μέσο της μετάδοσης να ξαναπέσουν σε νάρκη. Αυτό διαφέρει από τον τρόπο κατακερμάτισης του 802.11 όπου μόνο το κάθε κομμάτι υποδηλώνει την παρουσία ενός επιπλέον κομματιού κι όχι όλων.

Με μια λειτουργία χαμηλού duty cycle, οι κόμβοι πρέπει να καθυστερήσουν την μετάδοση του πακέτου μέχρι την επόμενη περίοδο «ακρόασης» του δέκτη, πράγμα το οποίο αυξάνει την χρονική καθυστέρηση. Επιπλέον, περιορίζοντας την ευκαιρία να ανταγωνιστούνε για το μέσο, η συνολική απόδοση μπορεί να μειωθεί στο ένα μήνυμα ανά πλαίσιο. Αυτές οι απώλειες μπορούν να συσσωρευτούν σε κάθε άλμα ενός δικτύου πολλαπλών αλμάτων. Ως μια βελτιστοποίηση για την μείωση αυτής της καθυστέρησης το S-MAC χρησιμοποιεί την «προσαρμόσιμη ακρόαση». Αντί οι κόμβοι να περιμένουν το διάστημα της επόμενης προγραμματισμένης «ακρόασης» μετά από μια ακολουθία RTS-CTS-DATA-ACK, οι γειτονικοί κόμβοι ξυπνούν αμέσως μετά την ολοκλήρωση της ανταλλαγής. Αυτό επιτρέπει τον άμεσο ανταγωνισμό για το κανάλι είτε από έναν άλλο κόμβο που έχει πληροφορίες να στείλει, είτε από το επόμενο άλμα σε ένα δίκτυο πολλαπλών αλμάτων. Με την προσαρμόσιμη «ακρόαση», η συνολική χρονική καθυστέρηση σε ένα δίκτυο πολλαπλών αλμάτων μπορεί να μειωθεί τουλάχιστον στο μισό.

4.8 Ανάλυση της χρονικής καθυστέρησης

Θα αναλύσουμε την χρονική καθυστέρηση των MAC πρωτοκόλλων και θα ποσοτικοποιήσουμε την καθυστέρηση που παρουσιάζεται από την περιοδική «νάρκη» στο SMAC. Για ένα πακέτο που κινείται σε ένα δίκτυο πολλαπλών αλμάτων, σε κάθε κόμβο αντιμετωπίζει τις παρακάτω καθυστερήσεις.

Η **Καθυστέρηση ανίχνευσης φέροντος** εισάγεται όταν ο πομπός εκτελεί την ανίχνευση φέροντος. Η τιμή της καθορίζεται από το μέγεθος του παράθουρου ανταγωνισμού.

Η **Καθυστέρηση Backoff** συμβαίνει όταν αποτύχει η ανίχνευση φέροντος, είτε επειδή ο κόμβος ανίχνευσε κάποια άλλη μετάδοση είτε επειδή συνέβηκε σύγκρουση. Είναι ουσιαστικά ο χρόνος που καθυστερεί μέχρι την επόμενη επαναεκπομπή.

Η **Καθυστέρηση μετάδοσης** καθορίζεται από το εύρος ζώνης του καναλιού, το μήκος του πακέτου και το σχέδιο της κωδικοποίησης που υιοθετείται.

Η **Καθυστέρηση διασποράς** καθορίζεται από την απόσταση μεταξύ των κόμβων του πομπού και του δέκτη. Στα δίκτυα αισθητήρων, οι αποστάσεις των κόμβων είναι συνήθως πολύ μικρές και έτσι η καθυστέρηση διασποράς μπορεί να αγνοηθεί.

Η **Καθυστέρηση της διαδικασίας** συμβαίνει επειδή ο δέκτης χρειάζεται να επεξεργαστεί το πακέτο προτού το προωθήσει στο επόμενο άλμα. Αυτή η καθυστέρηση κυρίως εξαρτάται από την υπολογιστική δύναμη του κόμβου και την ικανότητα των αλγορίθμων επεξεργασίας πληροφοριών μέσα στο δίκτυο.

Η **Καθυστέρηση ουράς** εξαρτάται από το φορτίο της κίνησης. Σε περιπτώσεις υψηλής κίνησης, η καθυστέρηση ουρών γίνεται ένας σημαντικός παράγοντας.

Οι παραπάνω καθυστερήσεις ενυπάρχουν σε ένα δίκτυο πολλαπλών αλμάτων που χρησιμοποιεί MAC πρωτόκολλα ανταγωνισμού. Αυτοί οι παράγοντες είναι ίδιοι για τα πρωτόκολλα S-MAC, T-MAC και το 802.11. Όμως μια επιπλέον καθυστέρηση στο S-MAC και το T-MAC επιφέρεται στο σύστημα εξαιτίας της περιοδικής νάρκης του κάθε κόμβου. Όταν ο πομπός έχει ένα πακέτο για μετάδοση, πρέπει να περιμένει μέχρι ο δέκτης να ξυπνήσει. Αυτό ονομάζεται **καθυστέρηση νάρκης** αφού συμβαίνει εξαιτίας της νάρκης του δέκτη.

Αναλύσαμε την χρονική καθυστέρηση των διαφορετικών MAC για την πολύ απλή περίπτωση όπου το φορτίο κίνησης είναι πολύ ελαφρύ, παραδείγματος χάριν μόνο ένα πακέτο κινείται μέσα στο δίκτυο, οπότε δεν υπάρχει καθυστέρηση ουρών και

καθυστέρηση backoff. Επιπλέον υποθέτουμε ότι η καθυστέρηση της μετάδοσης και η καθυστέρηση επεξεργασίας μπορούν να αγνοηθούν. Σε αυτήν την περίπτωση, υπάρχει μόνο καθυστέρηση ανίχνευσης φέροντος, καθυστέρηση μετάδοσης και καθυστέρηση νάρκης που λαμβάνονται υπ' όψιν.

Υποθέτουμε ότι υπάρχουν N άλματα από την πηγή ως την δεξαμενή. Η καθυστέρηση ανίχνευσης φέροντος είναι τυχαία σε κάθε άλμα, και συμβολίζουμε την τιμή της στο άλμα n ως $t_{cs,n}$. Η μέση της τιμή καθορίζεται από το παράθυρο ανταγωνισμού και συμβολίζεται ως t_{cs} . Η καθυστέρηση μετάδοσης είναι σταθερή εάν το μέγεθος του πακέτου είναι σταθερό, και συμβολίζεται t_{tx} .

Πρώτα εξετάζουμε το MAC πρωτόκολλο χωρίς νάρκη. Όταν ένας κόμβος λαμβάνει ένα πακέτο, αμέσως αρχίζει την ανίχνευση φέροντος και προσπαθεί να το προωθήσει στο επόμενο άλμα. Η μέση καθυστέρηση στο άλμα n είναι $t_{cs,n} + t_{tx}$.

Η συνολική χρονική καθυστέρηση για N αριθμό αλμάτων είναι :

$$D(N) = \sum_{n=1}^N (t_{cs,n} + t_{tx})$$

(1)

Έτσι η μέση χρονική καθυστέρηση των N αλμάτων για ένα MAC πρωτόκολλο χωρίς νάρκη είναι :

$$E[D(N)] = N(t_{cs,n} + t_{tx})$$

(2)

Η εξίσωση (2) δείχνει ότι στο MAC πρωτόκολλο χωρίς νάρκη, η χρονική καθυστέρηση πολλαπλών αλμάτων αυξάνει γραμμικά με τον αριθμό των αλμάτων. Η κλίση της γραμμής είναι ο μέσος χρόνος της ανίχνευσης φέροντος με τον χρόνο μετάδοσης πακέτων.

Θα αναλύσουμε παρακάτω το S-MAC, το οποίο εισάγει την καθυστέρηση νάρκης σε κάθε άλμα, που συμβολίζομαι $t_{s,n}$, για το n άλμα. Για απλότητα, προϋποθέτουμε ότι όλοι οι κόμβοι στο μονοπάτι ακολουθούν το ίδιο πρόγραμμα νάρκης. Ξέρουμε ότι το πλαίσιο είναι μια ολόκληρη περίοδος ακρόασης και νάρκης και το μήκος του συμβολίζεται με T_f .

Θυμόμαστε βέβαια ότι το διάστημα ακρόασης είναι σταθερό, και το μήκος του πλαισίου μπορεί να αλλάξει ρυθμίζοντας το διάστημα νάρκης. Για να έχουμε ως αποτέλεσμα ένα πολύ χαμηλό ενεργό κύκλο (duty cycle), π.χ. $\leq 10\%$, υποθέτουμε ότι το T_f έχει μια μεγάλη τιμή, η οποία είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από το t_{tx} . Η καθυστέρηση στο n άλμα είναι :

$$D_n = t_{s,n} + t_{cs,n} + t_{tx}$$

(3)

Στο S-MAC χωρίς προσαρμοστική ακρόαση, ο ανταγωνισμός (ανίχνευση φέροντος) αρχίζει μόνο στην αρχή του κάθε πλαισίου, π.χ. την στιγμή που ο κάθε κόμβος αρχίζει την ακρόαση. Αφού ένας κόμβος λάβει το πακέτο σε κάποιο πλαίσιο, πρέπει να περιμένει μέχρι ο κόμβος του επόμενου άλματος να ξυπνήσει, το οποίο συμβαίνει στην αρχή του επόμενου πλαισίου. Αυτό δηλώνει ότι :

$$T_f = t_{cs,n-1} + t_{tx} + t_{s,n}$$

(4)

Έτσι η καθυστέρηση νάρκης σε κάθε άλμα n είναι :

$$t_{s,n} = T_f - (t_{cs,n-1} + t_{tx})$$

(5)

Αντικαθιστώντας τον τύπο (5) στην εξίσωση (3), η (3) γίνεται :

$$D_n = T_f + t_{cs,n} - t_{cs,n-1}$$

(6)

Υπάρχει μια εξαίρεση για το πρώτο άλμα, επειδή το πακέτο μπορεί να συσταθεί στον κόμβο-πηγή σε κάποια χρονική στιγμή μέσα στο πλαίσιο. Έτσι η καθυστέρηση νάρκης στον πρώτο κόμβο, $t_{s,1}$, είναι μια τυχαία μεταβλητή, της οποίας η τιμή βρίσκεται ανάμεσα στο $(0, T_f)$, με μέση τιμή $T_f/2$. Συνδυάζοντας την με την εξίσωση (6), έχουμε την συνολική καθυστέρηση ενός πακέτου για N άλματα ως :

$$\begin{aligned} D(N) &= D_1 + \sum_{n=2}^N D_n \\ &= t_{s,1} + t_{sc,1} + t_{tx} + \sum_{n=2}^N (T_f + t_{cs,n} - t_{cs,n-1}) \\ &= t_{s,1} + (N-1)T_f + t_{cs,N} + t_{tx} \end{aligned}$$

(7)

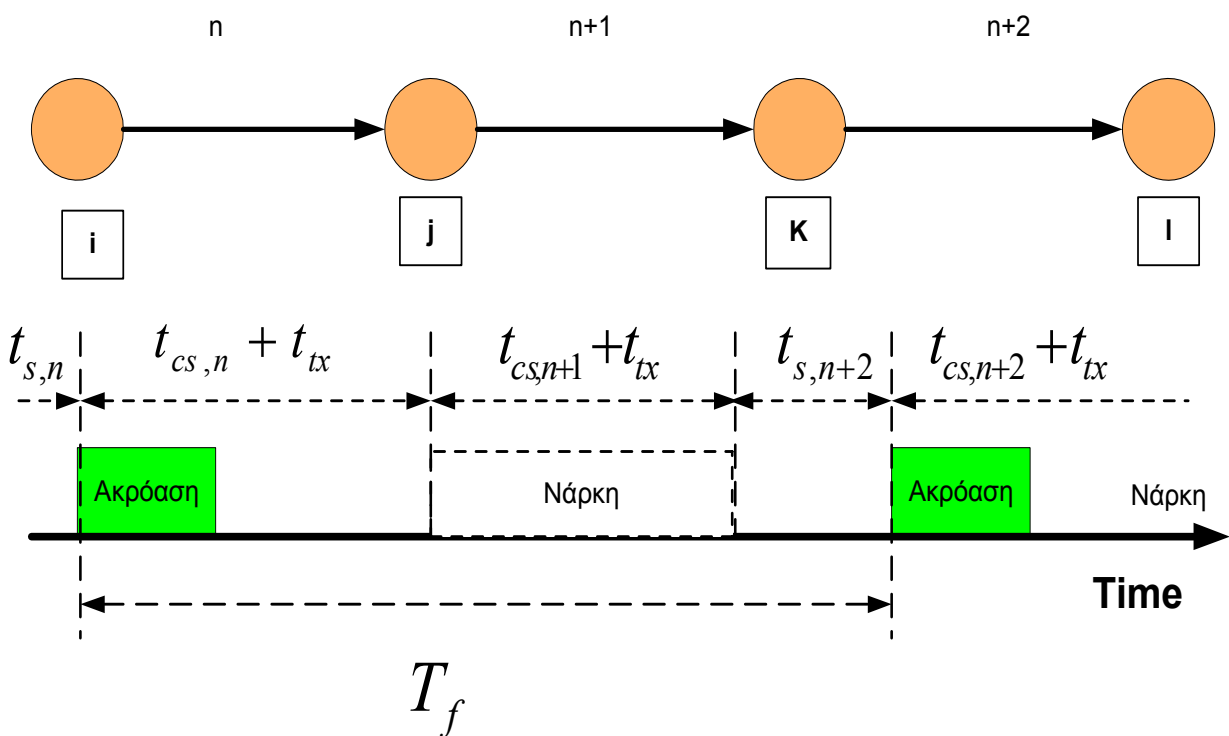
Έτσι η μέση χρονική καθυστέρηση του S-MAC χωρίς προσαρμοστική ακρόαση για N αριθμό αλμάτων είναι :

$$\begin{aligned} E[D(N)] &= E[t_{s,1} + (N-1)T_f + t_{cs,N} + t_{tx}] \\ &= T_f/2 + (N-1)T_f + t_{cs} + t_{tx} \end{aligned}$$

$$= NT_f - T_f/2 + t_{cs} + t_{tx}$$

(8)

Η εξίσωση (8) δείχνει ότι η χρονική καθυστέρηση πολλαπλών αλμάτων στο S-MAC επίσης αυξάνει γραμμικά ανάλογα των αριθμό των αλμάτων όταν ο κάθε κόμβος ακολουθεί αυστηρά τα προγράμματα νάρκης του. Η κλίση της γραμμής είναι το μήκος του πλαισίου T_f . Συγκρινόμενο με την εξίσωση (2), το T_f είναι κανονικά πολύ μεγαλύτερο απ’ ότι το $(t_{cs} + t_{tx})$ εξαιτίας των πολύ μικρών ενεργών κύκλων. Γι’ αυτό η περιοδική νάρκη εισάγει μια επιπρόσθετη καθυστέρηση σε κάθε άλμα.



Εικόνα 55 Η ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΗ ΑΚΡΟΑΣΗ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΜΕΙΩΣΕΙ ΤΗΝ ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΤΗΣ ΝΑΡΚΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΤΟΥΛΑΧΙΣΤΟΝ ΣΤΟ ΜΙΣΟ.

Τώρα θα εξετάσουμε το S-MAC με προσαρμοσμένη ακρόαση. Η εικόνα 55 απεικονίζει ένα μέρος από ένα δίκτυο πολλαπλών αλμάτων, όπου τα τρία άλματα δηλώνονται από n έως $(n+2)$. Θεωρούμε ξανά ότι όλοι οι κόμβοι ακολουθούν τα ίδια προγράμματα νάρκης.

Ας υποθέσουμε ότι ο κόμβος i περιμένει να ξυπνήσει ο κόμβος j στον κανονικό προγραμματισμένο χρόνο ακρόασης, και αρχίζει την ανίχνευση φέροντος για την αποστολή δεδομένων από εκείνη τη χρονική στιγμή. Η χρονική καθυστέρηση στον κόμβο n εκφράζεται όπως στην εξίσωση (3).

Κατά την διάρκεια της ανταλλαγής RTS/CTS ανάμεσα στους κόμβους i και j , ο κόμβος του επόμενου άλματος k επίσης ακούει, και μάλιστα «κρυφακούει» το πακέτο CTS του κόμβου j . Έτσι ο κόμβος k ξέρει πότε θα τελειώσει η μετάδοση από τον i στον j . Ο μηχανισμός της προσαρμοσμένης ακρόασης θα ξυπνήσει τον κόμβο k αμέσως μετά το τέλος της παραπάνω μετάδοσης. Επίσης αφήνει τον κόμβο j να αρχίσει να κάνει ανίχνευση της φέρουσας εκείνη τη στιγμή για να μεταδώσει στον κόμβο k . Έτσι η καθυστέρηση στον κόμβο $(n+1)$ είναι :

$$D_n = t_{cs,n+1} + t_{tx}$$

(9)

Συγκρινόμενη αυτή η καθυστέρηση με την καθυστέρηση στον προηγούμενο κόμβο, σε αυτή εδώ δεν υπάρχει καθυστέρηση νάρκης. Εάν το μήκος του πλαισίου T_f είναι μεγαλύτερο από $(t_{cs,n} + t_{cs,n+1} + 2t_{tx})$, το πακέτο θα ταξιδέψει δύο άλματα μέσα σε ένα πλαίσιο. Υποθέτουμε ότι αυτή η προϋπόθεση εφαρμόζεται στην παρακάτω ανάλυση, αφού έχουμε παραδεχτεί ότι το T_f είναι πολύ μεγαλύτερο από το t_{tx} .

Από την άλλη μεριά, ο κόμβος l βρίσκεται δύο άλματα μακριά από τον κόμβο j και δεν θα μπορεί να «κρυφακούσει» το CTS πακέτο του j όπως κάνει ο k . Σε αυτή την περίπτωση, ο l δεν μπορεί να ξυπνήσει όταν τελειώσει η μετάδοση από τον i στον j . Όταν ο j αρχίζει να μεταδίδει στον κόμβο k κατά την διάρκεια του κανονικού του χρόνου νάρκης, ο κόμβος l δεν είναι ενήμερος γι' αυτό αφού βρίσκεται σε κατάσταση νάρκης. Γι' αυτό, ο κόμβος l δεν θα μπορεί να ξυπνήσει όταν τελειώσει η μετάδοση από τον κόμβο j στον κόμβο k . Ο κόμβος k θα πρέπει να περιμένει μέχρι το κανονικό διάστημα ακρόασης του l για να μπορέσει να αρχίσει την μετάδοση του. Η καθυστέρηση στον κόμβο $(n+2)$ εκφράζεται επίσης με την εξίσωση (3).

Γι' αυτό η καθυστέρηση νάρκης συμβαίνει σε κάθε δεύτερο κόμβο στο S-MAC με προσαρμοσμένη ακρόαση. Η χρονική καθυστέρηση για N άλματα είναι :

$$D(N) = t_{s,1} + t_{cs,1} + t_{tx} + t_{cs,2} + t_{tx} + t_{s,3} + \dots + t_{cs,N-1} + t_{tx} + t_{cs,N} + t_{tx}$$

(10)

Παρατηρείστε στην εικόνα 40 ότι :

$$T_f = t_{cs,n} + t_{tx} + t_{cs,n+1} + t_{tx} + t_{s,n+2}$$

(11)

Η εξίσωση (10) μπορεί να απλοποιηθεί ως :

$$D(N) = t_{s,1} + (N/2 - 1)T_f + t_{cs,N-1} + t_{cs,N} + 2t_{tx}$$

(12)

Ως εκ τούτου, η μέση χρονική καθυστέρηση για N άλματα στο S-MAC με προσαρμόσιμη ακρόαση είναι :

$$\begin{aligned} E[D(N)] &= T_f/2 + (N/2 - 1)T_f + 2t_{cs} + 2t_{tx} \\ &= NT_f/2 + 2t_{cs} + 2t_{tx} - T_f/2 \end{aligned}$$

(13)

Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η μέση χρονική καθυστέρηση στο S-MAC με προσαρμοστική ακρόαση εξακολουθεί να αυξάνεται γραμμικά με τον αριθμό των αλμάτων. Τώρα η κλίση της γραμμής είναι $T_f/2$. Συγκρινόμενη η χρονική καθυστέρηση με αυτή που δεν έχει προσαρμοστική ακρόαση στην εξίσωση (8), έχει μειωθεί στο μισό.

Η εξίσωση (13) λαμβάνεται με την προϋπόθεση ότι μόνο οι γείτονες του ενός άλματος μπορούν να ακούσουν ο ένας τον άλλον. Όμως στον πραγματικό κόσμο αυτό δεν είναι αληθινό γενικά. Η θεωρία και οι μετρήσεις για την ασύρματη μετάδοση έχουν δείξει ότι η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος P_r μειώνεται ανάλογα την απόσταση d ως :

$$P_r \propto P_t d^\beta$$

(14)

Όπου P_t είναι η μεταδιδόμενη ισχύς, και β είναι μια περιβαλλοντική εξαρτώμενη σταθερά με τιμές που κυμαίνονται κανονικά ανάμεσα στο 2 και στο 5. Είναι ξεκάθαρο ότι η εμβέλεια της μετάδοσης δεν σταματά ξαφνικά σε κάποια ορισμένη απόσταση.

Αν κοιτάξουμε την εικόνα 55, εάν ο κόμβος k μπορεί με αξιοπιστία να λάβει από τον κόμβο j με ένα επιτυχημένο ρυθμό λήψης πάνω από 95%, τότε ο κόμβος l εξακολουθεί να έχει ορισμένες πολύ καλές πιθανότητες να λάβει μερικά CTS πακέτα του j (ειδικότερα εάν τα πακέτα CTS είναι πολύ μικρά). Εάν οι γειτονικοί κόμβοι των δύο αλμάτων έχουν 20-30% πιθανότητα να λάβουν ο ένας από τον άλλον, η συνολική χρονική καθυστέρηση μπορεί να μειωθεί ακόμη περισσότερο, αφού οι μερικοί κόμβοι που βρίσκονται δύο άλματα μακρύτερα θα μπορούν να συμμετέχουν στην προσαρμοστική ακρόαση.

Κεφάλαιο 5 Timeout-MAC (T-MAC)

Το πρωτόκολλο T-MAC (Timeout MAC) είναι ένα πρωτόκολλο προσαρμόσιμης ενέργειας ειδικά για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, το οποίο μειώνει την «ανενεργή» ακρόαση, ενώ λαμβάνει υπ' όψιν του τα μοτίβα επικοινωνίας των ασύρματων αισθητήρων και τους περιορισμούς του υλικού.

Το βασικό κριτήριο για το σχεδιασμό του MAC πρωτοκόλλου είναι η κατανάλωση ενέργειας. Απώλειες ενέργειας έχουμε εξαιτίας της «ανενεργής» ακρόασης , των συγκρούσεων , των επιπλέον πληροφοριών του πρωτοκόλλου και του «κρυφακούσματος».

Η γενική ιδέα του T-MAC είναι να μειώσουμε την «ανενεργή» ακρόαση μεταδίδοντας όλα τα μηνύματα σε ριπές μεταβλητού μεγέθους, και να βρίσκεται σε νάρκη ανάμεσα στις ριπές. Για να διατηρήσουμε ένα βέλτιστο ενεργό χρόνο με μεταβλητή κίνηση ορίζουμε δυναμικά το μήκος των ριπών. Απενεργοποιούμε τον ενεργό χρόνο με ένα πολύ απλό τρόπο : απενεργοποιούμε όταν δεν ακούμε τίποτα.

Κάθε κόμβος περιοδικά ξυπνάει για να επικοινωνήσει με τους γειτονικούς του κόμβους και μετά ξανακοιμάται μέχρι το επόμενο πλαίσιο. Εν τω μεταξύ έχουν μπει στην ουρά νέα μηνύματα. Οι κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας μηνύματα με το παρακάτω διάγραμμα όπως Request-to-Send (RTS), Clear-to-Send (CTS), Πληροφορίες (Data), Acknowledgement (ACK), γεγονός που παρέχει και αποφυγή των συγκρούσεων και αξιόπιστη μετάδοση. Αυτό το διάγραμμα είναι αρκετά διαδεδομένο και χρησιμοποιείται ευρέως, όπως για παράδειγμα στο πρότυπο 802.11.

Ένας κόμβος θα εξακολουθεί να ακούει και περιοδικά να μεταδίδει για όσο διάστημα βρίσκεται στην ενεργή περίοδο. Μια ενεργή περίοδο τελειώνει όταν δεν συμβαίνει κάποιο γεγονός ενεργοποίησης για το χρονικό διάστημα TA.

Μια ενεργή περίοδος μπορεί να είναι :

Η ενεργοποίηση ενός περιοδικού χρονοδιακόπτη πλαισίου.

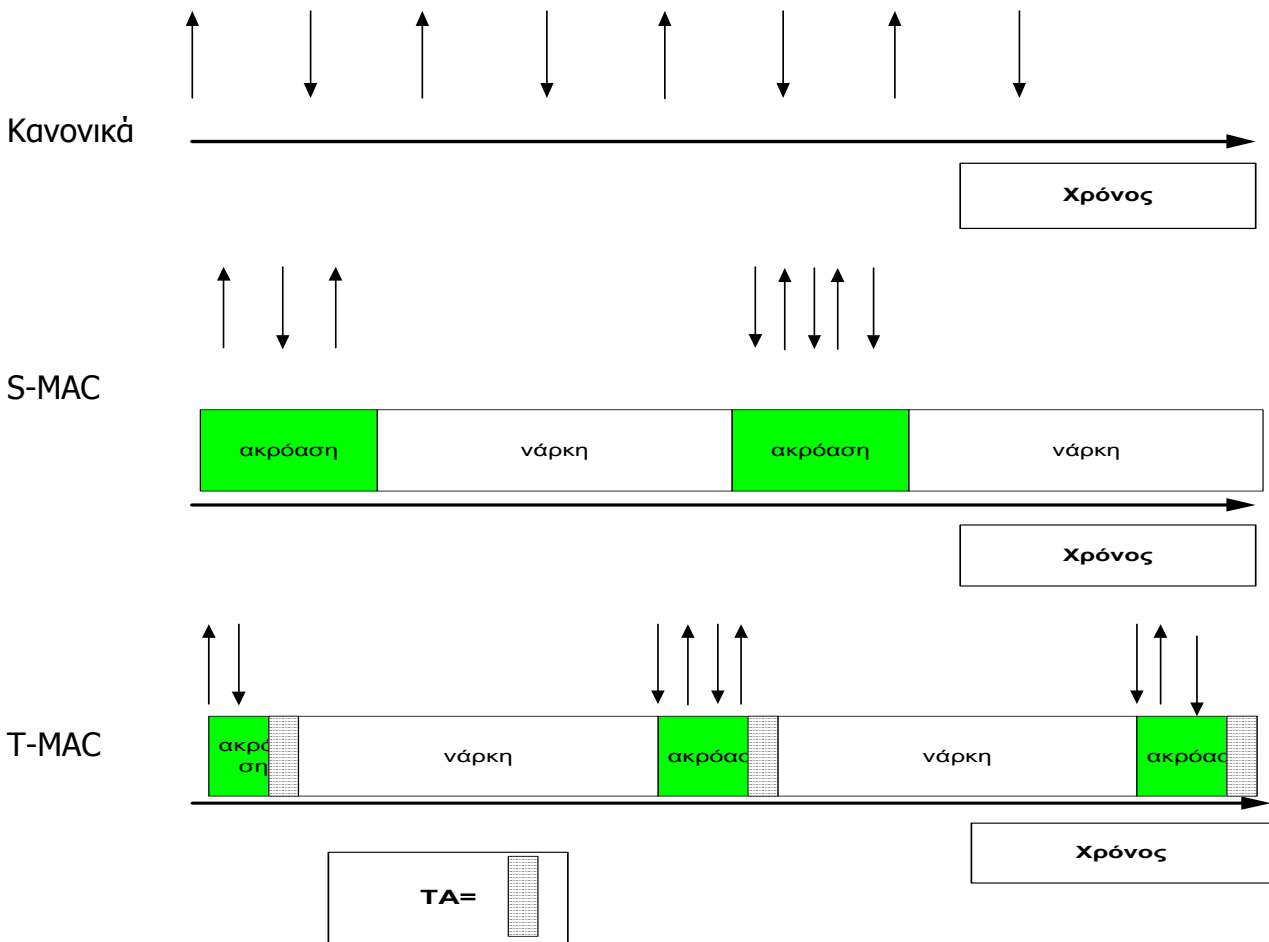
Η λήψη οποιασδήποτε πληροφορίας από το ασύρματο κανάλι.

Η αντίληψη μιας επικοινωνίας στο ασύρματο κανάλι π.χ. κατά την διάρκεια μιας σύγκρουσης, μέσω της ένδειξης ισχύος του ληφθέντος σήματος από το ασύρματο κανάλι.

Η γνώση , μέσω του κρυφακούσματος του RTS και CTS πακέτων, που υποδηλώνουν ότι η ανταλλαγή πληροφοριών των γειτονικών κόμβων έχει λήξει.

Ο κόμβος θα πέσει σε νάρκη εάν δεν βρίσκεται στην ενεργή περίοδο. Επομένως, το ΤΑ καθορίζει το ελάχιστο ποσό της «ανενεργής» ακρόασης ανά πλαίσιο.

Το παραπάνω περιγραφόμενο χρονικό διάγραμμα μετακινεί όλες τις επικοινωνίες σε μια ριπή στην αρχή του πλαισίου. Αφού τα μηνύματα μεταξύ των ενεργών περιόδων πρέπει να αποθηκεύονται, η αποθηκευτική ικανότητα καθορίζει το άνω όριο του μέγιστου χρόνου του πλαισίου.



Εικόνα 56 Το ΒΑΣΙΚΟ ΣΧΗΜΑ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ S-MAC, T-MAC ΜΕ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΜΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥΣ.

5.1 Ομαδοποίηση και συγχρονισμός

Η εικονική ομαδοποίηση έχει δώσει την έμπνευση για τον συγχρονισμό των πλαισίων. Όταν ο κόμβος αρχίσει να λειτουργεί, αρχίζει να περιμένει και να ακούει. Εάν δεν ακούσει τίποτα για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, διαλέγει ένα πλαίσιο προγράμματος και μεταδίδει

ένα πακέτο SYNC, το οποίο περιέχει το χρόνο μέχρι την μετάδοση του επόμενου πακέτου. Εάν ο κόμβος, κατά την διάρκεια της ενεργοποίησης, ακούσει ένα πακέτο SYNC από κάποιο άλλο κόμβο, ακολουθεί το πρόγραμμα αυτού του SYNC πακέτου και μεταδίδει ανάλογα το δικό του πρόγραμμα.

Οι κόμβοι μια στο τόσο μεταδίδουν ξανά το SYNC πακέτο τους. Σποραδικά οι κόμβοι πρέπει να ακούνε για ένα ολόκληρο πακέτο, έτσι ώστε να ανιχνεύσουν την ύπαρξη διαφορετικών προγραμμάτων. Αυτό επιτρέπει σε καινούργιους και κινητούς κόμβους να υιοθετηθούν σε μια υπάρχουσα ομάδα.

Εάν ένας κόμβος έχει κάποιο πρόγραμμα και ακούει από ένα άλλο κόμβο ένα SYNC, τότε πρέπει να υιοθετήσει και τα δύο προγράμματα. Πρέπει επίσης να μεταδώσει ένα SYNC με το δικό του πρόγραμμα στον άλλο κόμβο, για να ειδοποιήσει τον άλλο κόμβο για την ύπαρξη ενός άλλου προγράμματος. Η υιοθέτηση και των δύο προγραμμάτων σημαίνει ότι ο κόμβος θα έχει ένα γεγονός ενεργοποίησης στην αρχή και των δύο πλαισίων.

Οι κόμβοι αρχίζουν την μετάδοση των δεδομένων μόνο στην αρχή του ενεργού τους χρόνου. Εκείνη τη στιγμή, και οι δυο γειτονικοί κόμβοι με το ίδιο πρόγραμμα, και οι γειτονικοί κόμβοι που έχουν υιοθετήσει το πρόγραμμα ως επιπλέον, είναι ενεργοί (ξύπνιοι). Εάν κάποιος κόμβος αρχίσει να μεταδίδει στην αρχή του πλαισίου κάποιου γειτονικού κόμβου, μπορεί να μεταδίδει σε κάποιο γείτονα που θα βρίσκεται σε νάρκη. Αυτό το διάγραμμα καθιστά δυνατό οι μεταδώσεις να χρειάζεται να εκπεμφθούν μόνο μια φορά.

Το περιγραφόμενο διάγραμμα συγχρονισμού, ονομάζεται *εικονική ομαδοποίηση*, και ωθεί τους κόμβους να σχηματίσουν ομάδες με το ίδιο πρόγραμμα, χωρίς να επιβάλλει αυτό το πρόγραμμα σε όλους τους κόμβους του δικτύου. Επιτρέπει την αποδοτική μετάδοση και κάνει εμφανή την ανάγκη να διατηρηθούν οι πληροφορίες σε μεμονωμένους γειτονικούς κόμβους.

Η τεχνική της εικονικής ομαδοποίησης υλοποιείται εύκολα. Η διατήρηση πολλαπλών προγραμμάτων με ενεργό χρόνο σταθερού μήκους είναι πιο πολύπλοκη, αφού οι ενεργοί χρόνοι overlap.

5.2 Λειτουργία RTS και αποφυγή κρυφακούσματος

Τα πρόσθετα χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου T-MAC για να παρέχει την βέλτιστη απόδοση είναι τα παρακάτω :

5.3 Σταθερό διάστημα ανταγωνισμού

Στα πρωτόκολλα που βασίζονται στον ανταγωνισμό, όπως το 802.11, οι κόμβοι περιμένουν μια τυχαία στιγμή μές σε ένα διάστημα ανταγωνισμού αφού εντοπίσουν κάποια σύγκρουση. Μόνο όταν το μέσο μετάδοσης (εδώ ο αέρας) είναι ελεύθερος , μόνο σε αυτή την διάρκεια η αναμετάδοση ξαναρχίζει. Συνήθως χρησιμοποιείται το παρακάτω διάγραμμα :

τα διαστήματα ανταγωνισμού αυξάνονται όταν η κίνηση είναι υψηλή. Το σχήμα αυτό μειώνει την πιθανότητα των συγκρούσεων όταν το φορτίο είναι υψηλό, ενώ μειώνει την χρονική καθυστέρηση όταν το φορτίο είναι χαμηλό.

Στο πρωτόκολλο T-MAC , ο κάθε κόμβος μεταδίδει τα μηνύματα που βρίσκονται στην ουρά του σε μια ριπή στην αρχή του πλαισίου. Κατά την διάρκεια αυτής της ριπής το μέσο φτάνει στον κορεσμό : τα μηνύματα μεταδίδονται στο μέγιστο ρυθμό. Κάθε κόμβος κάθε φορά που στέλνει ένα RTS βρίσκεται σε μια άγρια μάχη για την διεκδίκηση του μέσου. Ένα αυξανόμενο διάστημα ανταγωνισμού δεν είναι χρήσιμο αφού το φορτίο είναι συνήθως υψηλό και δεν αλλάζει. Γι' αυτό η μετάδοση του RTS στο T-MAC αρχίζει με την αναμονή και την ακρόαση ενός τυχαίου χρόνου μέσα σε ένα σταθερό διάστημα ανταγωνισμού. Αυτό το διάστημα είναι καλιμπραρισμένο για το μέγιστο φορτίο. Το διάστημα ανταγωνισμού χρησιμοποιείται πάντα, ακόμα και αν δεν έχει συμβεί ακόμη σύγκρουση.

5.4 Ξαναπροσπάθειες RTS

Όταν ένας κόμβος στέλνει ένα RTS αλλά δεν λαμβάνει πίσω ένα CTS, τότε τρία πράγματα έχουν συμβεί :

Ο παραλήπτης δεν έχει λάβει το RTS λόγω κάποιας σύγκρουσης, ή

Απαγορεύεται στον παραλήπτη να απαντήσει εξαιτίας ενός «κρυφακουσμένου» RTS ή CTS, ή

Ο παραλήπτης βρίσκεται σε νάρκη.

Όταν ο αποστολέας δεν λάβει καμιά απάντηση μέσα στο διάστημα TA, μπορεί να πέσει σε νάρκη. Παρ' όλα αυτά αυτό μπορεί στις περιπτώσεις 1 και 2 να είναι λάθος : γιατί μπορεί να έχουμε μια κατάσταση όπου ο αποστολέας πέφτει σε νάρκη, ενώ ο παραλήπτης είναι ακόμη σε αφύπνιση. Αφού η κατάσταση μπορεί να συμβεί ακόμη και στο πρώτο μήνυμα του πλαισίου, η συνολική απόδοση θα μειωθεί δραματικά.

Γι' αυτό ένας κόμβος θα ξαναπροσπαθήσει εάν δεν λάβει απάντηση , ξαναστέλνοντας το RTS . Εάν δεν υπάρχει απάντηση ακόμη και μετά από δυο προσπάθειες θα σταματήσει και θα πέσει σε νάρκη.

Καθορισμός του TA

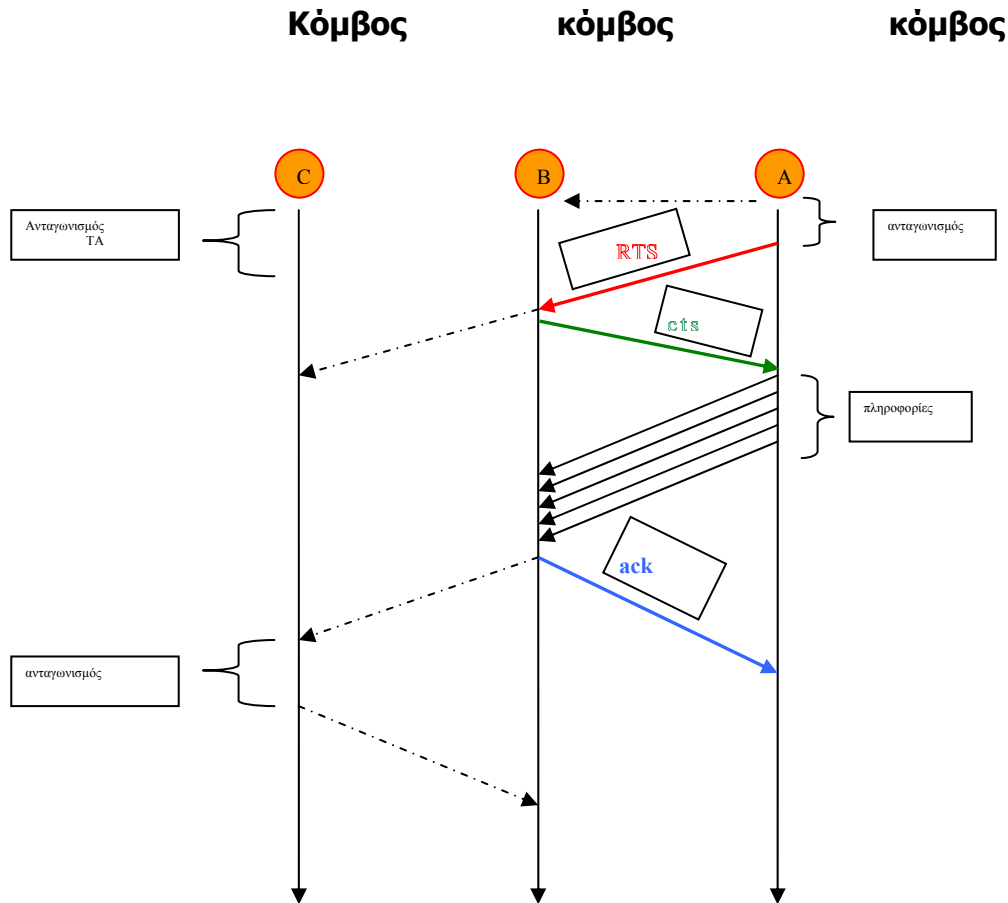
Ένας κόμβος δεν πρέπει να πέσει σε νάρκη ενώ οι γειτονικοί του κόμβοι εξακολουθούν να επικοινωνούν, μιας και μπορεί να είναι ο παραλήπτης ενός ακόλουθου μηνύματος. Η λήψη της αρχής ενός RTS ή CTS από ένα γειτονικό κόμβο είναι αρκετή για να σκανδαλήσει ένα ανανεωμένο διάστημα TA.

Αφού ένας κόμβος μπορεί να μην ακούσει το RTS που αρχίζει την επικοινωνία με ένα γειτονικό του κόμβο, επειδή δεν είναι στην εμβέλεια του, το διάστημα TA πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο για να μπορεί να λάβει έστω και την αρχή του πακέτου CTS (Εικόνα 3).

Αυτή η παρατήρηση μας δίνει το κάτω όριο του μήκους του διαστήματος TA.

$$TA > C + R + T$$

Όπου C είναι το μήκος του διαστήματος ανταγωνισμού, R είναι το μήκος ενός RTS πακέτου, και T είναι ο χρόνος turn-around (το μικρό διάστημα μεταξύ του τέλους του πακέτου RTS και της αρχής του πακέτου CTS). Σε πειράματα έχει βρεθεί ότι είναι ικανοποιητικό ένα $TA = 1.5 \times (C + R + T)$. Ένα μεγαλύτερο TA θα αύξανε την χρησιμοποιούμενη ενέργεια.



Εικόνα 57 ΜΙΑ ΒΑΣΙΚΗ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ. Ο ΚΟΜΒΟΣ C ΚΡΥΦΑΚΟΥΕΙ ΤΟ CTS ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΟΜΒΟ Β ΚΑΙ ΔΕΝ ΘΑ ΕΝΟΧΛΗΣΕΙ ΤΗΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ Α ΚΑΙ ΤΟΥ Β. ΤΟ ΤΑ ΘΑ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΕΙΝΑΙ ΑΡΚΕΤΑ ΜΕΓΑΛΟ ΓΙΑ ΝΑ ΜΠΟΡΕΣΕΙ Ο ΚΟΜΒΟΣ C ΝΑ ΑΚΟΥΣΕΙ ΤΟ CTS.

5.5 Αποφυγή «κρυφακούσματος»

Το πρωτόκολλο S-MAC εισήγαγε την ιδέα της νάρκης μετά του κρυφακούσματος ενός RTS ή CTS πακέτου που προορίζεται για κάποιον άλλο κόμβο. Αφού ένας κόμβος απαγορεύεται να στείλει εκείνη τη στιγμή, μπορεί να μην πάρει μέρος σε καμιά επικοινωνία και μπορεί επίσης να απενεργοποιήσει την ασύρματη ζεύξη του για να μην σπαταλά ενέργεια. Γενικά η αποφυγή «κρυφακούσματος» είναι μια καλή ιδέα, και είναι μια επιλογή στο πρωτόκολλο T-MAC. Παρ’ όλα αυτά, η αποφυγή «κρυφακούσματος» έχει και αρνητικές συνέπειες : οι επιπλέον πληροφορίες για τις συγκρούσεις γίνονται περισσότερες επειδή ένας κόμβος μπορεί να χάσει κάποια πακέτα RTS ή CTS όταν βρίσκεται σε νάρκη και να ενοχλήσει κάποια

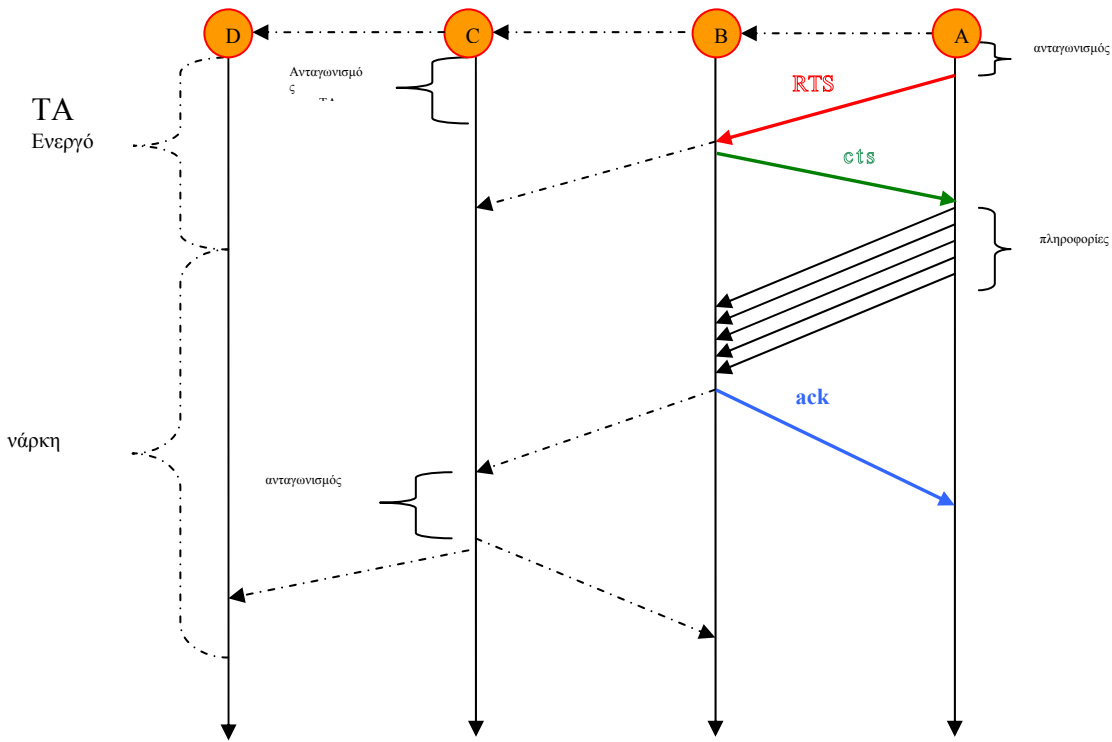
επικοινωνία όταν ξυπνήσει. Επομένως, η συνολική απόδοση μειώνεται, για τα μικρά πακέτα έως και 25 %. Έτσι ενώ η αποφυγή «κρυφακούσματος» εξοικονομεί ενέργεια, δεν πρέπει να χρησιμοποιείται όταν απαιτείται η μέγιστη απόδοση.

5.6 Ασύμμετρη επικοινωνία

Όμως δημιουργείται κάποιο πρόβλημα στο T-MAC όταν η κίνηση στο δίκτυο είναι κυρίως δικατευθυντική, όπως σε μια διάταξη κόμβοι – προς – πηγάδι. Το πρόβλημα απλοποιείται στην παρακάτω εικόνα, όπου ο καθένας από τους κόμβους A έως D δημιουργούνε ένα κελί με τους γείτονες του. Τα μηνύματα κυκλοφορούν από τα δεξιά προς τα αριστερά, έτσι ο κόμβος A στέλνει μόνο στον B, ο B μόνο στον C, και ο C μόνο στον D. Το πρόβλημα βρίσκεται στον κόμβο C, κάθε φορά που θέλει να στείλει ένα μήνυμα στον D, πρέπει να ανταγωνιστεί για το μέσο και μπορεί να χάσει τον ανταγωνισμό είτε τον κόμβο B (με την λήψη ενός RTS πακέτου) ή τον κόμβο A (έμμεσα, με το να «κρυφακούσει» ένα CTS πακέτο από τον κόμβο B).

Εάν ο κόμβος C χάσει τον ανταγωνισμό εξαιτίας ενός RTS πακέτου από τον κόμβο B, θα απαντήσει με ένα CTS πακέτο, το οποίο θα μπορεί επίσης να το ακούσει ο κόμβος D. Σε αυτή την περίπτωση, ο κόμβος D θα ξυπνήσει όταν η επικοινωνία ανάμεσα στους κόμβους C και B τελειώσει. Παρ' όλα αυτά εάν ο κόμβος C χάσει τον ανταγωνισμό επειδή θα κρυφακούσει ένα CTS πακέτο από τον κόμβο B στον A (βλέπε εικόνα 58), ο C θα πρέπει να παραμείνει σιωπηλός. Αφού ο κόμβος D δεν γνωρίζει για την επικοινωνία μεταξύ των A και B, η ενεργή περίοδος του D θα τελειώσει και ο κόμβος D θα πέσει σε νάρκη. Μόνο στην αρχή του επόμενου πλαισίου ο κόμβος C θα έχει μια καινούργια ευκαιρία για να στείλει στον κόμβο D.

Έτσι για κάθε πακέτο που ο κόμβος C θα θελήσει να στείλει στον κόμβο D, είτε θα πετυχαίνει είτε θα χάνει τον ανταγωνισμό (χάνοντας από τον κόμβο A). Και τα δύο αυτά γεγονότα έχουν την ίδια πιθανότητα. Η αποτυχία σημαίνει ότι το πλαίσιο τελειώνει και ο C δεν μπορεί να στείλει άλλα πακέτα. Μπορούμε να υπολογίσουμε, σε αυτή την απλοϊκή διάταξη, ότι ο κόμβος C έχει 50 % πιθανότητα να στείλει ένα μόνο μήνυμα στον κόμβο D, και 25 % πιθανότητα να στείλει δύο πακέτα (θα πρέπει να πετύχει να κερδίσει τον ανταγωνισμό δύο φορές), και ακολούθως για κάθε πλαίσιο.



Εικόνα 58 Το πρόβλημα της πρώιμης νάρκης. Ο κόμβος D πέφτει σε νάρκη πριν μπορέσει ο κόμβος C να στείλει ένα πακέτο CTS στον D.

Ονομάζεται αυτό το φαινόμενο **πρόβλημα της πρώιμης νάρκης**, αφού ο κόμβος πέφτει σε νάρκη όταν ένας γειτονικός κόμβος έχει μηνύματα γι’ αυτόν. Στην διάταξη επικοινωνίας κόμβοι – προς – πηγάδι, το πρόβλημα της πρώιμης νάρκης μείωσε την συνολική πιθανή απόδοση του T-MAC στο λιγότερο από το μισό της μέγιστης απόδοσης των παραδοσιακών πρωτοκόλλων ή του S-MAC. Το ίδιο πρόβλημα μπορεί να προκύψει στα όρια ενός πολύ ενεργού κομματιού του δικτύου. Αυτό το πρόβλημα προκύπτει στις διατάξεις της ασύμμετρης επικοινωνίας και έχουν επινοηθεί γι’ αυτό δύο λύσεις .

5.7 Μελλοντική αίτηση αποστολής

Η πρώτη λύση είναι ένα διάγραμμα που ονομάζουμε **μελλοντική αίτηση αποστολής**. Η βασική ιδέα είναι να αφήσουμε τον άλλο κόμβο να γνωρίζει ότι έχουμε ακόμη κάποιο μήνυμα γι’ αυτόν, αλλά δεν μας επιτρέπεται να χρησιμοποιήσουμε το μέσο. Δουλεύει ως ακολούθως : εάν ένας κόμβος «κρυφακούσει» ένα πακέτο CTS που προορίζεται για κάποιον άλλο κόμβο, μπορεί αμέσως να στείλει ένα πακέτο Future-Request-to-Send (FRTS), όπως

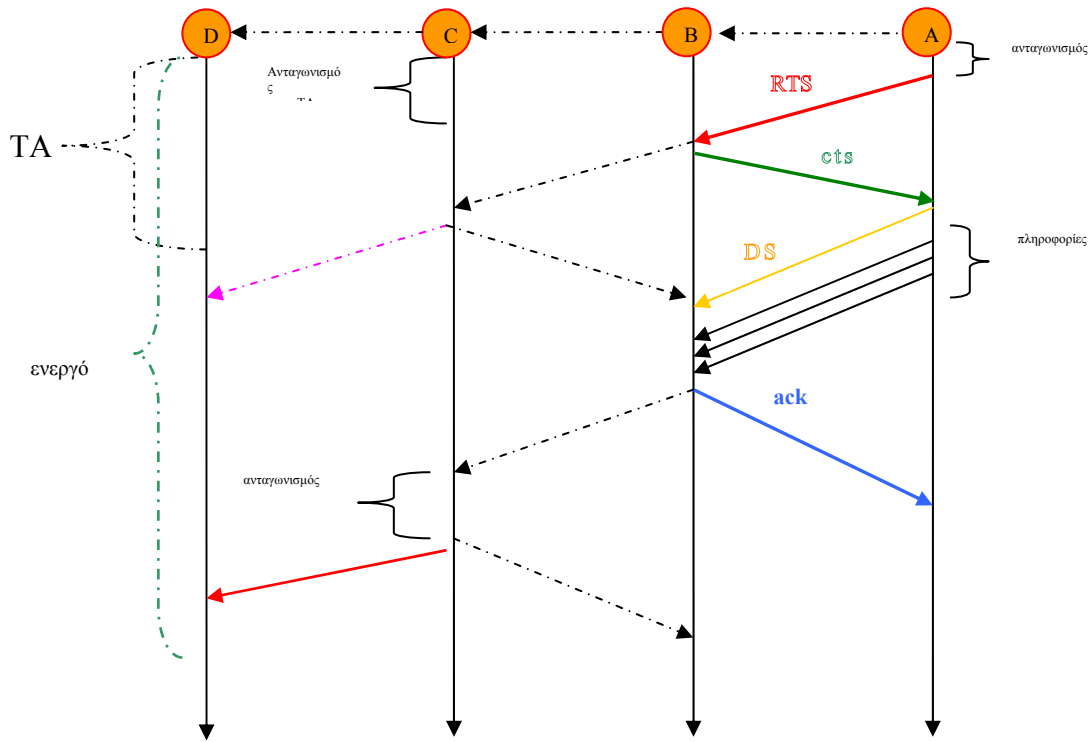
ο κόμβος C στην εικόνα 59. Το πακέτο FRTS περιέχει το μήκος των μπλοκαρισμένων πληροφοριών επικοινωνίας (αυτές οι πληροφορίες βρίσκονται και στο CTS πακέτο). Ένας κόμβος δεν πρέπει να στείλει ένα πακέτο FRTS εάν αντιληφθεί ότι θα υπάρξει επικοινωνία αμέσως μετά από το πακέτο CTS, ή εάν δεν του επιτρέπεται η αποστολή εξαιτίας ενός προηγούμενου RTS ή CTS.

Ένας κόμβος που λαμβάνει το πακέτο FRTS, ξέρει ότι θα είναι ο μελλοντικός στόχος ενός πακέτου RTS και θα πρέπει εκείνη την ώρα να είναι ενεργός. Ο κόμβος μπορεί να καθορίσει αυτή την χρονική στιγμή από την χρονική πληροφορία που υπάρχει στο πακέτο FRTS.

Καθώς το FRTS πακέτο θα μπορούσε να παρεμποδίσει τα πακέτα δεδομένων που ακολουθούν το πακέτο CTS, τα πακέτα δεδομένων θα πρέπει να καθυστερήσουν όσο είναι η διάρκεια του πακέτου FRTS. Για να αποτρέψουμε κάποιον άλλο κόμβο από το να κάνει χρήση του καναλιού αυτό το χρονικό διάστημα, ο κόμβος που έστειλε το αρχικό RTS (ο κόμβος A στην εικόνα 59), μεταδίδει ένα μικρό πακέτο αποστολής δεδομένων (Data Send (DS)). Μετά το πακέτο DS, πρέπει να αρχίσει αμέσως την αποστολή των κανονικών πακέτων δεδομένων.

Αφού το πακέτο FRTS έχουν το ίδιο μέγεθος με το πακέτο DS, θα συγκρουστεί με το πακέτο DS, αλλά όχι με τα επόμενα πακέτα δεδομένων. Το πακέτο DS θα χαθεί, αλλά αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα γιατί δεν περιέχει χρήσιμες πληροφορίες.

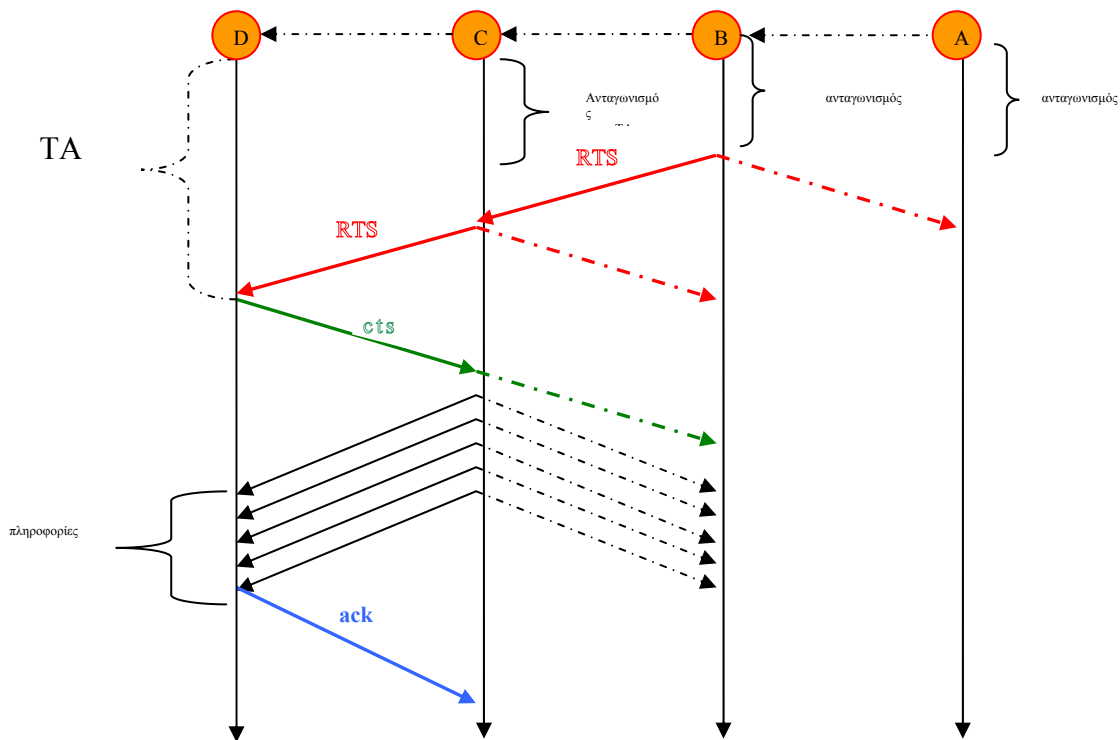
Για να λειτουργήσει η λύση του FRTS, το TA θα πρέπει να αυξηθεί όσο το μήκος ενός πακέτου ελέγχου (CTS), όπως φαίνεται στην εικόνα 59. Η υλοποίηση των χαρακτηριστικών του FRTS αυξάνει την μέγιστη απόδοση στα διαγράμματα δικατευθυντικής επικοινωνίας κατά 75 %. Παρ' όλα αυτά λόγω της κάπως υψηλότερης επιπλέον πληροφορίας λόγω των DS και των FRTS πακέτων, η κατανάλωση ενέργειας επίσης αυξάνει ελαφρά. Κάποιος μπορεί να θέλει να χρησιμοποιεί το FRTS μόνο όταν αναμένεται ένα αιτιολογημένο υψηλό φορτίο σε μια λίγο ως πολύ δικατευθυντικής επικοινωνίας διάταξη. Ενώ όταν το η κίνηση του φορτίου είναι χαμηλή και ο αριθμός των ανταλλασσόμενων μηνυμάτων και συνεπώς οι αυξανόμενες επιπλέον πληροφορίες είναι επίσης χαμηλές.



Εικόνα 59 Η ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΤΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ ΤΗΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΙΤΗΣΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΗΣ ΚΡΑΤΑ ΕΝΕΡΓΟ ΤΟΝ ΚΟΜΒΟ D.

5.8 Έχοντας προτεραιότητα στα γεμάτα buffers

Η δεύτερη λύση είναι το διάγραμμα που ονομάζεται προτεραιότητα πλήρους αποθηκευτικού χώρου (byffer). Όταν ο αποθηκευτικός χώρος (byffer) μετάδοσης / δρομολόγησης είναι σχεδόν πλήρης, τότε ο κόμβος προτιμά να στέλνει από το να λαμβάνει. Αυτό σημαίνει ότι ο κόμβος λαμβάνει ένα RTS πακέτο που απευθύνεται σε αυτόν, και αμέσως στέλνει το δικό του RTS πακέτο σε κάποιον άλλο κόμβο, αντί να απαντάει με ένα CTS όπως πρέπει να γίνει κανονικά. Αυτό απεικονίζεται στην εικόνα 60. Η τεχνική αυτή έχει δύο αποτελέσματα. Πρώτον, ο κόμβος έχει ακόμα μεγαλύτερη πιθανότητα να μεταδώσει το δικό του μήνυμα, αφού έχει κερδίσει αποτελεσματικά το μέσο όταν ακούσει ένα ανταγωνιστικό RTS. Στην εικόνα 60, ο κόμβος C μπορεί να μεταδώσει στον κόμβο D αφού χάσει τον ανταγωνισμό ο B. Επιπλέον η πιθανότητα να συμβεί το φαινόμενο της πρώιμης νάρκης είναι λιγότερη. Δεύτερον, το σχήμα προτεραιότητας του γεμάτου buffer εισάγει μια περιορισμένη μορφή ελέγχου ροής μέσα στο δίκτυο, το οποίο σε ένα διάγραμμα επικοινωνίας κόμβοι-προς-πηγάδι (sink) έχει πλεονεκτήματα. Στην εικόνα 60 ο κόμβος B αποτρέπεται από το να στείλει μέχρι ο κόμβος C να έχει αρκετό αποθηκευτικό χώρο.



Εικόνα 60 ΠΑΙΡΝΟΝΤΑΣ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑ ΑΦΟΥ ΛΑΒΟΥΜΕ ΤΟ RTS.

Πρέπει όμως να είμαστε προσεκτικοί με το σχήμα προτεραιότητας των γεμάτων buffer, διότι είναι επικίνδυνη μια κατάσταση υψηλού φορτίου κίνησης όπου η επικοινωνία δεν είναι δικατευθυντική. Όταν όλοι οι κόμβοι σε μια διάταξη ομοιοκατευθυντικής επικοινωνίας αρχίζουν να λαμβάνουν προτεραιότητες, τότε οι πιθανότητες συγκρούσεων αυξάνονται ραγδαία. Γι' αυτό το T-MAC χρησιμοποιεί ένα κατώφλι: ένας κόμβος μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτό το σχήμα όταν έχει χάσει τον ανταγωνισμό τουλάχιστον δύο φορές. Αυτό το κατώφλι εγγυάται την απόδοση σε ένα διάγραμμα ομοιοκατευθυντικής επικοινωνίας ενώ θα εξακολουθεί να αυξάνει την μέγιστη απόδοση σε ένα διάγραμμα δικατευθυντικό.

5.9 Αποτελέσματα συγκριτικής ανάλυσης

Στο [9] η θεωρητική ανάλυση μοντελοποιήθηκε μέσω του προγράμματος OMNeT++, με ένα δίκτυο αισθητήρων 100 κόμβων με τέτοια υλοποίηση ώστε ο κάθε κόμβος να περιστοιχίζεται από 8 γειτονικούς. Για το μοντέλο κόμβοι – δεξαμενή χρησιμοποιήθηκε μια κανονικοποιημένη μέθοδος δρομολόγησης του ελάχιστου μονοπατιού ` για κάθε μήνυμα

υπολογίζονται τα πιθανά επόμενα άλματα , τα επόμενα άλματα είναι κατάλληλα μόνο εάν σχηματίζουν το πιο κοντινό μονοπάτι στον τελικό προορισμό απ' ότι ο πομπός. Από αυτά τα επόμενα άλματα επιλέγεται ένα. Τα μηνύματα ρέουν προς την σωστή κατεύθυνση αλλά όχι από το ίδιο μονοπάτι κάθε φορά. Δεν ανταλλάσσονται μηνύματα ελέγχου , οι κόμβοι αυτόματα αποφασίζουν για το επόμενο άλμα. Τα μηνύματα πολλαπλών αλμάτων ταξιδεύουν τουλάχιστον δύο άλματα ανά πλαίσιο εξαιτίας της ενδοκαναλικής σηματοδότησης του T-MAC ' τα μηνύματα CTS και ACK κρατούν τους γειτονικούς κόμβους ενεργούς. Αναλύθηκαν πακέτα των 20 και των 100 Bytes.

	S-MAC	T-MAC
Μήκος πλαισίου	1s	610ms
Χρόνος ακρόασης	75ms – 915 ms	
TA		15ms
Μήκος μηνύματος Χωρίς MAC επικεφαλίδα	6 Bytes	6 Bytes
Extra		Αποφυγή «κρυφακούσματος»
Κατανάλωση ενέργειας : 20μΑ («νάρκη») , 4mA (λήψη) , 10mA (αποστολή)		

Εικόνα 61 ΟΙ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΠΟΥ ΤΕΘΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Το S-MAC πρωτόκολλο όπως φαίνεται στην ομογενή κίνηση λειτουργεί αρκετά καλά, αφού παρέχει τουλάχιστον το 90% της συνολικής απόδοσης με την λιγότερη κατανάλωση ενέργειας για κάθε συγκεκριμένο φορτίο ` όμως λίγο καλύτερη απόδοση έχει το T-MAC. Η απόδοση του S-MAC έχει διακυμάνσεις πιο έντονες εξαιτίας του φαινομένου της πρώιμης νάρκης.

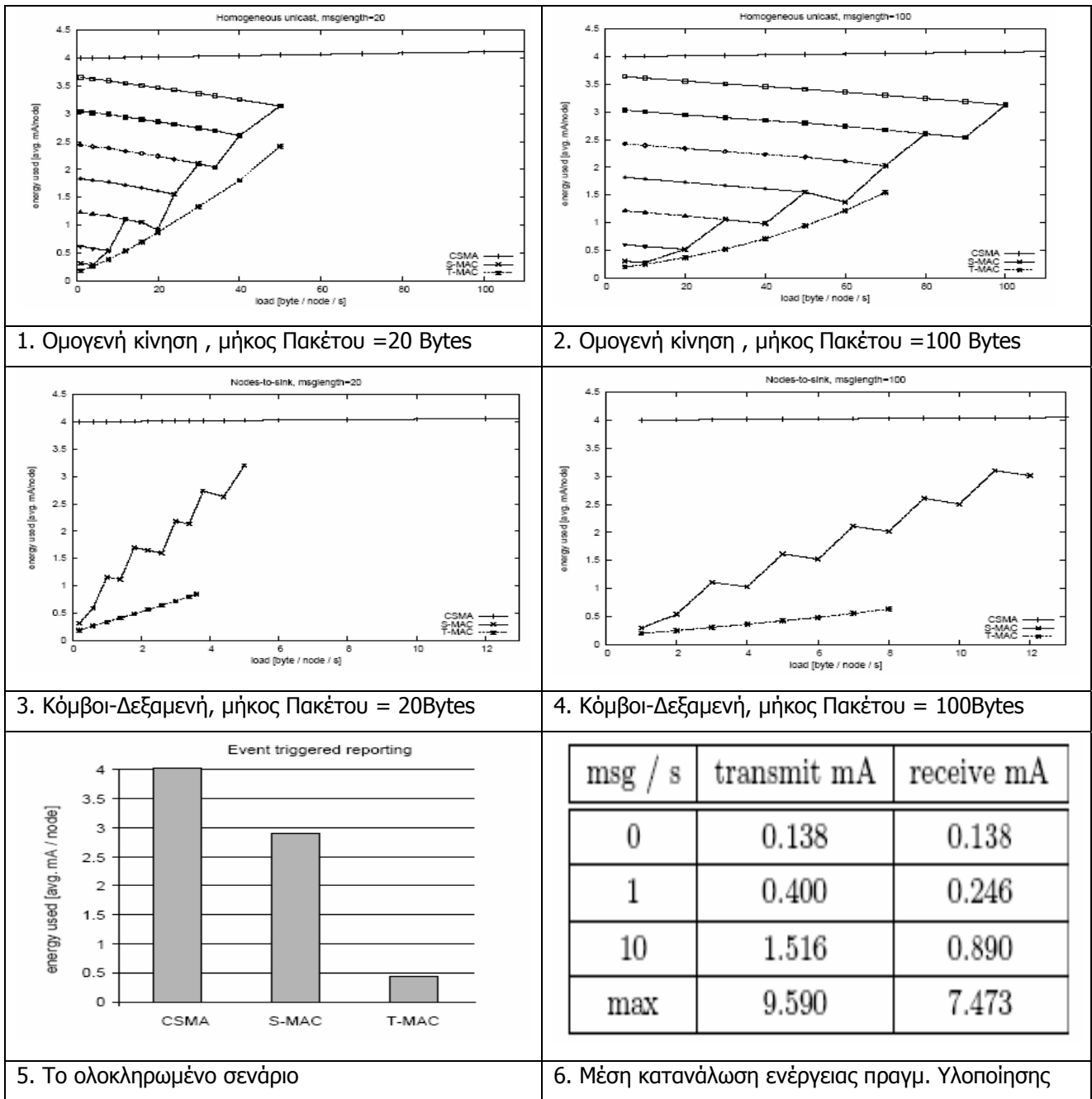
Στην κίνηση κόμβων – δεξαμενής το T-MAC καταναλώνει πολύ πιο λίγη ενέργεια από το S-MAC , και είναι φυσικό αφού υπάρχει περισσότερη κίνηση κοντά στους κόμβους της δεξαμενής, όμως η συνολική του απόδοση πέφτει στο 70% του S-MAC όσο το φορτίο αυξάνει (σε μια πραγματική υλοποίηση το φορτίο των κόμβων παραμένει μικρό στις εφαρμογές αισθητήρων οπότε δεν είναι ανησυχητικό).

Με τον μηχανισμό FRTS, το T-MAC αυξάνει την συνολική του απόδοση κατά 75% (μεταδίδει 0.08 μηνύματα αντί 0.14 ανά s) χρησιμοποιώντας την ίδια ενέργεια. Άμα

χρησιμοποιήσουμε την προτεραιότητα του γεμάτου προσωρινού καταχωρητή αυξάνει την απόδοση του κατά 30% (0.14 αντί 0.18 μηνύματα ανά s) χωρίς ενεργειακό κόστος.

Τέλος σε μια πιο ρεαλιστική προσομοίωση όπου υπάρχει τοπική ομογενή κίνηση εξαιτίας ενός γεγονότος (οι κόμβοι ανταλλάσσουν τοπικά μηνύματα των 10 Bytes κάθε 20 δευτερόλεπτα) και αναφέρουν στην δεξαμενή κάθε 100 δευτερόλεπτα . Όταν συμβεί κάποιο γεγονός οι γειτονικοί του γεγονότος κόμβοι αρχίζουν να στέλνουν τοπικά ομογενή μηνύματα των 30 Bytes με ρυθμό 4 μην./ s. , επίσης στέλνουν μηνύματα των 50 Bytes στην δεξαμενή με ρυθμό 1 μήνυμα / 1 s. Ο χρόνος ακρόασης του S-MAC ρυθμίστηκε στο 715 ms. Και παρ' όλα αυτά το S-MAC σπαταλά πολύ ενέργεια στην ανενεργή ακρόαση, ενώ το T-MAC μόνο με χρήση της αποφυγής του «κρυφακούσματος» μειώνει την καταναλισκόμενη ενέργεια στα 1/5 που καταναλώνει το S-MAC εδώ.

Σε πραγματική υλοποίηση με την χρήση του υλικού του προγράμματος EYES . χωρίς την χρήση FRTS και της προτεραιότητας του γεμάτου προσωρινού καταχωρητή, το σύστημα T-MAC ανταποκρίθηκε πολύ καλά αφού έμενε σε κατάσταση ενεργή για 15 ms κάθε 610 ms για περίπου δηλαδή το 2.5% του συνολικού χρόνου. Το μήκος των μηνυμάτων ήταν 20 Bytes και υπήρχε 96% εξοικονόμηση ενέργειας, ενώ τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 62.



Εικόνα 62 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

5.10 Επίλογος για τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Εισχωρήσαμε με αυτήν την πτυχιακή εργασία στον κόσμο των ασύρματων δικτύων αισθητήρων και γνωρίσαμε την πληθώρα εφαρμογών που έχει, την αρχιτεκτονική ενός αισθητήρα και τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί.

Εστίασαμε στο επίπεδο MAC και αναλύσαμε δύο πρωτόκολλα με τα οποία μπορούμε να εξοικονομήσουμε ενέργεια , που είναι ζωτικής σημασίας γεγονός για τα δίκτυα αισθητήρων και την μελλοντική τους εξέλιξη. Εμβαθύναμε στα χαρακτηριστικά και τις λεπτομέρειες του S-MAC και του T-MAC και στην παρούσα ανάλυση είδαμε πιο συμπεριφέρεται καλύτερα και γιατί.

Η μείωση κατανάλωσης ενέργειας που επιφέρει το T-MAC είναι ο βασικός παράγοντας που το κάνει αξιοπρόσεκτη επιλογή για την περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Ελπίζουμε ότι σύντομα θα δούμε περισσότερα αποτελέσματα και εφαρμογές σε αυτόν τον τομέα.

ΛΕΞΙΚΟ

ΟΡΟΛΟΓΙΑ

Connection orientated = Πρωτόκολλο για ανταλλαγή δεδομένων με αποκατάσταση λογικής σύνδεσης μεταξύ των τερματικών σημείων (δηλ. προσχεδιασμένος τρόπος και προηγούμενος συντονισμός) Τεχνική μετάδοσης δεδομένων με σύνδεση (π.χ. νοητό κύκλωμα).

Bandwidth = Η διαφορά ανάμεσα στις οριακές συχνότητες ενός φάσματος συνεχόμενων συχνοτήτων.

Uplink = Όταν ο Σταθμός Βάσης λαμβάνει σήμα από ένα κινητό τερματικό, άνω ζεύξη.

Downlink = Όταν το κινητό τερματικό λαμβάνει από το Σταθμό Βάσης σήματα, κάτω ζεύξη.

Generic Flow Control = Πεδίο του WATM κελιού, 4 bit, το οποίο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο ροής των κελιών στην τοπική διεπαφή χρήστη – δικτύου αλλά μπορεί να βοηθήσει στον έλεγχο ροής της κίνησης για διαφορετικές ποιότητες υπηρεσίας.

GSM = Global System for Mobile communication, το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητής Τηλεφωνίας.

PSTN = Public Switched Telephone Network, το δημόσιο ενσύρματο δίκτυο τηλεφωνίας.

QoS = Quality of Service, η ποιότητα υπηρεσίας σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα. Διαφορετικές εφαρμογές μπορεί να χρειάζονται μια διαφορετική ποιότητα υπηρεσίας. Για παράδειγμα, ένα περιστασιακό σφάλμα μετάδοσης μπορεί να μην έχει αξιοπρόσεκτο αποτέλεσμα σε μια εικόνα video αλλά θα μπορούσε να είναι καταστροφικό σε μια μετάδοση οικονομικών δεδομένων.

Ευρείας Ζώνης = (Broadband) Μια υπηρεσία ή ένα σύστημα που απαιτεί κανάλια μετάδοσης ικανά να υποστηρίξουν ρυθμούς μεγαλύτερους από το βασικό ρυθμό. Τυπικό παράδειγμα είναι το B-ISDN που χρησιμοποιεί το ATM και για την ικανοποίηση των αναγκών για υψηλής ανάλυσης βίντεο, χρειάζεται ένας μέγιστος ρυθμός καναλιού της τάξης των 150 Mbps, ενώ μπορεί να φτάσει και στα 600 Mbps.

General Packet Radio Service = Μια αναβάθμιση του GSM και των δικτύων IS-136 που χρησιμοποιεί μεταγωγή πακέτων και παρέχει αυξημένο εύρος ζώνης για επικοινωνίες δεδομένων. Θεωρείται η 2.5 γενιά (2.5 G) της κινητής τηλεφωνίας. Ενώ το πρότυπο GSM

καθορίζει μια χρονική θυρίδα σε κάθε χρήστη, για κανονική επικοινωνία φωνής, το GPRS αυξάνει την ταχύτητα της επικοινωνίας δεδομένων χορηγώντας πολλαπλές χρονικές θυρίδες σε κάθε μεμονωμένο χρήστη.

Wireless Application Protocol = Πρωτόκολλο Ασύρματων Εφαρμογών (software), το οποίο επιτρέπει στα κινητά τηλέφωνα και άλλες ασύρματες συσκευές να φυλλομετρήσουν απλοποιημένες ιστοσελίδες περιλαμβάνει υπηρεσίες όπως ενημέρωση για τον καιρό, το χρηματιστήριο, τις ειδήσεις και το i-mode. Στις Η.Π.Α. εφαρμόζεται από το 1999 ενώ στην Ευρώπη από το 2000.

ITU-T (= International Telecommunication Union) είναι η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών, η οποία είναι μια ειδική αντιπροσωπεία των Ηνωμένων Εθνών.

ETSI (= European Telecommunication standard Institute) Το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Προτυποποίησης των Τηλεπικοινωνιών.

ATM Forum = Διεθνής μη κερδοσκοπικός οργανισμός με σκοπό του την ανάπτυξη προτύπων για το ATM .

B-ISDN (= Broadband Intergrated Services Digital Network) είναι η δεύτερη γενιά του ISDN, η οποία υποστηρίζει πολύ υψηλούς ρυθμούς δεδομένων (εκατοντάδες Mbps) και είναι τεχνολογίας μεταγωγής πακέτου με την χρήση του ATM.

Στενής Ζώνης = (Narrowband) Μια υπηρεσία ή ένα σύστημα που απαιτεί ένα κανάλι μετάδοσης και δεν είναι ικανά να υποστηρίξουν ρυθμούς μεγαλύτερους από το βασικό ρυθμό. Τυπικό παράδειγμα είναι το ISDN που κάνει χρήση ενός καναλιού 64 Kbps.

X.25 = Πρότυπο Πρωτόκολλο για την διεπαφή ανάμεσα σε ένα τερματικό σύστημα και ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων, το οποίο εγκρίθηκε αρχικά το 1976 και έχει υποστεί πολλές αναθεωρήσεις από τότε. Αντικαταστάθηκε από το Frame Relay αρχικά και μετά από το ATM

QPSK = Τεχνική διαμόρφωσης μετατόπισης φάσης του σήματος σε πολλαπλάσια του π/2 για την μετατροπή των ψηφιακών σημάτων σε αναλογικά σήματα, δηλ. το κάθε στοιχείο σήματος αντιπροσωπεύει δύο bit αντί για ένα.

QAM = Ένας συνδυασμός μεταλλαγής μετατόπισης φάσης και διαμόρφωσης πλάτους που χρησιμοποιείται συνήθως στα modem υψηλών συχνοτήτων.

GMSK=Ένα είδος συνεχόμενης μεταλλαγής μετατόπισης φάσης, όπου το τελικό σήμα έχει Γκαουσιανή μορφή. Χρησιμοποιείται στο GSM.

OFDM= Μια τεχνική μεταλλαγής μετατόπισης συχνότητας για την μετάδοση μεγάλων ποσοτήτων ψηφιακής πληροφορίας μέσω ασύρματης ζεύξης. Η OFDM χωρίζει το σήμα σε πολλαπλά μικρά υπο-σήματα και τα μεταδίδει ταυτόχρονα σε διαφορετικές συχνότητες στον δέκτη. Μειώνει την συνακρόαση και χρησιμοποιείται από το 802.11, 802.16 και τα WLANs.

TDMA/TDD = Time Division Multiple Access / Time Division Duplexing Μέθοδος πολυπλεξίας διαφορετικών ψηφιακών σημάτων στο ίδιο κανάλι διαιρώντας τον χρόνο αμφίδρομα.

Διαπομπή = (Handoff ή Handover) Ορίζεται ως μια διαδικασία που λαμβάνει χώρο όταν ένα κινητό αλλάξει το τρέχων χρησιμοποιούμενο ασύρματο κανάλι της συχνότητας σε ένα άλλο ασύρματο κανάλι κατά την διάρκεια μιας υπάρχουσας και ενεργής ασύρματης σύνδεσης, με σκοπό να διατηρηθούν οι υπηρεσίες χωρίς διακοπή όταν οι κινητοί χρήστες κινούνται κατά μήκος ασυρμάτων περιοχών κάλυψης.

PRMA=Μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης με μορφή πακέτων.

CDMA =Μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος.

S-ALOHA= Τεχνική ελέγχου πρόσβασης για μέσα πολλαπλής πρόσβασης με σχισμές-θυρύδες.

Προσωρινός καταχωρητής (**buffer**)

CSN= Δυαδικός αναγνωριστικός αριθμός κελιού για να μπορούμε να επαληθεύσουμε αν όλα τα πακέτα έχουν μεταδωθεί σωστά.

CRC=Κώδικας ανίχνευσης σφαλμάτων. Είναι το υπόλοιπο της διαίρεσης της ψηφιακής πληροφορίας, που πρόκειται να ελεχθεί , με ένα προκαθορισμένο δυαδικό αριθμό.

GFC=Χρησιμοποιείται για να βοηθήσει τον πελάτη στον έλεγχο ροής της κίνησης για διαφορετικά QoS

Seamless = Ο όρος Handover «χωρίς ραφές» αναφέρεται σε εκείνες τις υπηρεσίες που εγγυώνται παράδοση των πακέτων χωρίς απώλειες από την μια και σε μια σειρά από την άλλη μεριά.

Ενδοκαναλική σηματοδότηση χρησιμοποιείται για την μεταφορά των σημάτων ελέγχου, χρησιμοποιώντας την ίδια ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιείται από τα σήματα δεδομένων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Επικοινωνίες Υπολογιστών & Δεδομένων , William Stallings, έκτη έκδοση, Εκδόσεις Τζόλα.
- [2] Classification of Handover Schemes within a Cellular Environment , Carolin I. Bauer, Dr. S. John Rees
- [3] Roaming and Handover Protocols , Gyarmati Michael
- [4] Handovers in Wireless ATM Networks : In-Band Signaling Protocols and Performance Analysis, Carla-Fabiana Chiasserini and Renato Lo Cigno, IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 1, No 1, January 2002
- [5] Wireless Communications in the 21st Century , Mansoor Shafi , Shigeaki Ogose , Takeshi Hattori
- [6] Local and Global Handovers Based on In-Band Signalling in Wireless ATM Networks, M. Ajmone Marsan, C. F. Chiasserini, A. Fumagalli, R. Lo Cigno, M. Munafo, Wireless Networks 7, 425-436, 2001, 2001 Kluwer Academic Publishers.
- [7] Performance Models of Handover Protocols and Buffering Policies in Mobile Wireless ATM Networks, M. Ajmone Marsan, C. F. Chiasserini, A. Fumagalli, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 50, No. 4, July 2001.
- [8] Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping For Wireless Sensor Networks, Wei Ye, Member, IEEE, John Heidemann, Member, IEEE, and Deborah Estrin, Fellow, IEEE, IEEE/ACM Transactions On Networking, Vol.12, No.3, June 2004
- [9] An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks, Tijs van Dam, Koen Langendoen, SenSys '03, November 5-7, 2003
- [10] Medium Access Control in Wireless Sensor Networks, Wei Ye, John Heidemann, USC/ISI Technical Report ISI-Tr-580, October 2003
- [11] UWB Wireless Sensor Networks: UWEN – A Practical Example, Ian Oppermann, Lucian Stoica, Alberto Rabbachin, Zack Shelby, and Jussi Haapola, University of Oulu Center for Wireless Communications, IEEE, Radio Communications, December 2004

- [12] Communication Paradigms for Sensor Networks, Dragos Niculescu, NEC Laboratories America, IEEE, Communications Magazine, March 2005.
- [13] Wireless sensor networks : a survey, I. F. Akyldiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci , Computer Networks 38 (2002) 393-422.
- [14] Wireless Sensor Networks 2004
- [15] Wireless Atm (WATM) an overview , Ayse Yasemin Seydim , Southern Methodist University, EE 8304 Spring 2000, Section 799.
-