



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
UNIVERSITY OF PELLOPONNESE

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

“Προηγμένα Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα και Δίκτυα”

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Ανάπτυξη και αποτίμηση μηχανισμών SON –
Self Organizing Networks»

Μεταπτυχιακός: ΦΑΣΜΟΥΛΟΣ ΚΩΣΤΑΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: ΚΑΛΟΕΥΛΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

ΤΡΙΠΟΛΗ – 2010

[Περιεχόμενα]

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Εισαγωγή στην έννοια του SON

- 1.1 Εισαγωγή στην «Αυτό-Οργάνωση» σε δίκτυα επικοινωνιών
- 1.2 Ορισμός και Οφέλη
- 1.3 Αυτό-οργάνωση σε Δίκτυα Επικοινωνιών
- 1.4 Η καινοτομία του SON
- 1.5 Το SON σήμερα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Δομή , οι βασικές οντότητες , η λειτουργία του SON και τα οφέλη

- 2.1 Η λογική Self-x
- 2.2 Λειτουργικότητες Self-x
 - 2.2.1 Αυτό-Διαμόρφωση (Self-Configuration)
 - 2.2.2 Αυτό-σχεδιασμός (Self-Planning)
 - 2.2.3 Αυτό-Βελτιστοποίηση (Self-Optimization)
 - 2.2.4 Αυτό-Διαχείρισης (Self-Managing)
 - 2.2.5 Αυτό-Ίαση (Self-Healing)
- 2.3 Η λειτουργία ενός SON δικτύου.
 - 2.3.1 Βήμα μετρήσεων
 - 2.3.2 Βήμα αυτό-βελτιστοποίησης «self-optimization»
 - 2.3.3 Βήμα Αυτό-Παραμετροποίησης «Self-Configuration»
 - 2.3.4 Το βήμα της αυτό-ίασης
- 2.4 Τα οφέλη από την λειτουργία του SON

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Παραδείγματα σχεδιασμού Self Organized Λειτουργιών

- 3.1 Κανόνας σχεδίασης τοπικών συμπεριφορών (#1)
- 3.2 Μη πλήρης συντονισμός (Κανόνας #2)
- 3.3 Συσχετισμός των πρώτων 2 κανόνων
- 3.4 Ελαχιστοποίηση της πληροφορίας κατάστασης που διατηρείται για μεγάλο διάστημα (Κανόνας #3)
- 3.5 Σχεδίαση πρωτοκόλλων που προσαρμόζονται στις αλλαγές (Κανόνας #4)
- 3.6 Πως να σχεδιάσουμε μια self-organized λειτουργία (Συνδυάζοντας τους παραπάνω κανόνες)
- 3.7 Οι Αρχιτεκτονικές του SON
 - 3.7.1 Συγκεντρωμένη (Centralized)
 - 3.7.2 Διανεμημένο (Distributed)
 - 3.7.3 Υβριδική (Hybrid)

- 3.8 Σχεδιαστικές προκλήσεις
 - 3.8.1 Επινόηση τεχνικών για μετρήσεις και παρακολούθηση που θα χρησιμοποιηθούν σαν βάση για την αυτό-οργάνωση
 - 3.8.2 Σχεδιασμός μεθόδων εκτίμησης της κατάστασης του δικτύου
 - 3.8.3 Μεθοδολογίες που χειρίζονται προβλήματα που έχουν να κάνουν με καθυστερημένη, λανθασμένη ή ελλείπει πληροφορία ανατροφοδότησης (feedback)
 - 3.8.4 Αποτελεσματικότητα των μεθόδων Αυτό-Οργάνωσης
 - 3.8.5 Αξιοπιστία των μεθόδων Αυτό-Οργάνωσης
 - 3.8.6 Διαμόρφωση της αρχιτεκτονικής του Δικτύου
- 3.9 Προτεραιότητες από την πλευρά των χειριστών
- 3.10 Κριτήρια Βελτιστοποίησης
 - 3.10.1 Μείωση κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος
 - 3.10.2 Παρεμβολές
 - 3.10.3 Επιτυχής παραμετροποίηση του RACH
 - 3.10.4 Μεγιστοποίηση κάλυψης και χωρητικότητας
 - 3.10.5 Βελτιστοποίηση κινητικότητας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Τυποποίηση , Ερευνητικές δραστηριότητες και βιομηχανικές τάσεις σχετικές με το SON.

- 4.1 Self-x δραστηριότητες στο project Gandalf
- 4.2 Self-x δραστηριότητες στο FP7 του project SOCRATES
- 4.3 Το IEEE 802.16
- 4.4 Το NGMN (Next Generation Mobile Networks)
- 4.5 Το 3GPP
- 4.6 Η προσέγγιση του E3 (End-to-End Efficiency)
 - 4.6.1 Η Λειτουργική αρχιτεκτονική
- 4.7 Η πρόταση της NEC για το SON
 - 4.7.1 Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική
 - 4.7.2 Η αυτό-διαμόρφωση
 - 4.7.3 Η αυτό-βελτιστοποίηση
 - 4.7.4 Αυτόματη διάγνωση βλαβών και αυτό-ίαση
 - 4.7.5 Αύξηση της ποιότητας που αντιλαμβάνεται ο χρήστης
 - 4.7.6 Εξοικονόμηση ενέργειας
 - 4.7.7 SON για οικιακό eNodeB

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Οφέλη του SON στα LTE

- 5.1 Το πλαίσιο εργασίας του SON στο LTE
- 5.2 Αυτό-διαμόρφωση των σταθμών Βάσης
 - 5.2.1 Οφέλη
 - 5.2.2 Περιγραφή

- 5.2.3 Δράσεις της Αυτό-διαμόρφωσης
- 5.2.4 Η κατάσταση της Αυτό-διαμόρφωσης στο 3GPP
- 5.3 Αυτόματη σχέση γειτόνων (ANR)
 - 5.3.1 Οφέλη
 - 5.3.2 Περιγραφή
 - 5.3.3 «Ανακάλυψη» Σχέσεων γειτονίας
 - 5.3.4 ANR δράσεις
- 5.4 Σχεδιασμός περιοχής αναζήτησης
 - 5.4.1 Οφέλη
- 5.5 Σχεδιασμός PCI (Physical Shell Identifier)
 - 5.5.1 Οφέλη
 - 5.5.2 Αυτόματη απόδοση PCI
- 5.6 Εξισορρόπηση φορτίου κίνησης
 - 5.6.1 Οφέλη
 - 5.6.2 Περιγραφή
 - 5.6.3 Πως καθορίζεται μία κατάσταση «μη-εξισορρόπησης» φορτίου
 - 5.6.4 Εξισορρόπηση σε κατάσταση ηρεμίας
 - 5.6.5 Εξισορρόπηση σε κατάσταση λειτουργίας
- 5.7 Βελτίωση κινητικότητας και βελτιστοποίησης διαπομπής (HO)
 - 5.7.1 Οφέλη
 - 5.7.2 Περιγραφή
 - 5.7.3 Καθυστερημένη έναρξη HO
 - 5.7.4 Πρόωρη έναρξη HO
 - 5.7.5 HO σε λάθος κυψέλη
 - 5.7.6 Λειτουργική ροή του Αλγόριθμου
 - 5.7.6.1 Αλληλεπίδρασης του Αλγόριθμου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Συμπεράσματα

- 6.1 Πλεονεκτήματα από την χρήση του SON
 - 6.1.1 Αύξηση του κέρδους για τους παρόχους
 - 6.1.2 Αύξηση της απόδοσης του δικτύου
 - 6.1.3 Αυτόματη προσαρμογή των ορίων των παραμέτρων του δικτύου βάση διαρκούς μηχανισμού μετρήσεων δεικτών απόδοσης
 - 6.1.4 Παράλληλη λειτουργία των LTE με δίκτυα 2 και 3^{ης} γενιάς
 - 6.1.5 Διαχείριση της πολυπλοκότητας
- 6.2 Σχεδιαστικές προκλήσεις
 - 6.2.1 Ανάγκη επιπλέον προτυποποίησης των διεπαφών
 - 6.2.2 Αλληλεπίδραση των αλγορίθμων αυτό-οργάνωσης
 - 6.2.3 Ανάγκη κοινών προτύπων

6.3 Συμπεράσματα

- Παράρτημα Α.

- Συντμήσεις

- Παράρτημα Β.

- Αναφορές

[Λίστα Σχημάτων]

Σχήμα 1. Απεικόνιση των κύριων αρχών ενός συστήματος αυτό-οργάνωσης [2]	11
Σχήμα 2. Απεικόνιση της επίδρασης των λειτουργιών του SON στο CAPEX/OPEX κατά μήκος του κύκλου ζωής ενός δικτύου.[5]	14
Σχήμα 3. Χρήση διεπαφών X2 και s1	15
Σχήμα 4. Βασικός κύκλος λειτουργίας του SON[15]	18
Σχήμα 5. Οι λειτουργίες του SON [15]	19
Σχήμα 6. Τα στοιχεία της Αυτό-Οργάνωσης στον αέριο κύκλο λειτουργίας [18]	22
Σχήμα 7. Επίδραση της Αυτό-Βελτιστοποίησης. – Οι επενδύσεις μπορούν να μειωθούν λόγω της αυτό-βελτιστοποίησης [18]	26
Σχήμα 8. Επίδραση της Αυτό-Ίασης – Μια γρήγορη επανάκτηση του επιθυμητού επιπέδου της παρεχόμενης υπηρεσίας μπορεί να επιτευχθεί με την βοήθεια της αυτό-ΐασης [18]	27
Σχήμα 9. Συσταδοποίηση (clustering) ενός δικτύου με χρήση του αλγόριθμου Basagni. Οι κύκλοι αντιπροσωπεύουν συνηθισμένους κόμβους (nodes) , τα τετράγωνα την κεφαλή μιας συστάδας (clusterhead). Κόμβοι με το ίδιο χρώμα ανήκουν στην ίδια συστάδα (cluster) [2]	29
Σχήμα 10. Σύγκριση ενός αυτό-οργανωμένου με ένα συμβατικό δίκτυο [2]	32
Σχήμα 11. Ταξινόμηση των πρωτοκόλλων ανάλογα με το επίπεδο εφαρμογής (τοπικό –γενικό) και του επιπέδου συγχρονισμού μεταξύ των κόμβων [2]	32
Σχήμα 12. Μια διαδικασία σχεδιασμού για μία λειτουργία ενός αυτό-οργανωμένου δικτύου [2]	36
Σχήμα 13. Παράδειγμα συγκεντρωμένης αρχιτεκτονικής του SON σε LTE [19]	38
Σχήμα 14. Παράδειγμα διανεμημένης αρχιτεκτονικής του SON σε LTE [19]	39
Σχήμα 15. Παράδειγμα υβριδικής αρχιτεκτονικής SON σε LTE δίκτυο [19]	40
Σχήμα 16. Το SON επιτρέπει στη δυνατότητα να ενεργοποιηθεί ένα eNB (σταθμός βάσης που βρίσκεται μέσα στο σπίτι) για να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας από τους σταθμούς βάσης υψηλότερων επιπέδων Κυψέλη 1 και 2 (έτσι ένας χρήστης femtocell όσο βρίσκεται μακριά από το σπίτι του και καθώς κινείται από την κυψέλη 1 προς την 2 και στην συνέχεια προς το σπίτι του το MME ενεργοποιεί το σπιτικό eNB, το οποίο αναλαμβάνει την εξυπηρέτηση του χρήστη, εξοικονομώντας ενέργεια από τις διπλανές κυψέλες για άλλους femtocell χρήστες). Ομοίως το SON, θα απενεργοποιήσει το σπιτικό eNB όταν ο χρήστης μετακινηθεί έξω από το σπίτι του μέσα στην ζώνη κάλυψης της κυψέλης 4. [19]	45

Σχήμα 17. Στην διαμόρφωση OFDM, η βασική μονάδα για τον χρονοπρογραμματισμό (scheduling) και την κατανομή των πόρων, είναι μία βαθμίδα οι οποία διαχειρίζεται έναν αριθμό από υποφέρουσες τις οποίες μπορεί να χρησιμοποιήσει ένας χρήστης στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας (Επάνω σχήμα). Η ενδο-κυβελική παρεμβολή προξενείτε από συγκρούσεις μεταξύ των μονάδων πόρων (ίδια κανάλια), οι οποίες χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα από διάφορες κυψέλες (Κάτω σχήμα).[17].....	46
Σχήμα 18. Η δομή του πρωτοκόλλου IEEE 802.16m [22].....	51
Σχήμα 19. Κατηγορίες και υπό-ομάδες του SON [63]	53
Σχήμα 20. Διακλαδώσεις μέσα στην eNB των λειτουργιών αυτό-διαμόρφωσης/αυτό-βελτιστοποίησης [15].....	54
Σχήμα 21. Η λειτουργική αρχιτεκτονική του δικτύου στα πλαίσια του έργου E3. [15].....	56
Σχήμα 28. Υβριδική Αρχιτεκτονική διαχείρισης δικτύου στα LTE [64].....	59
Σχήμα 29. Η πρόταση της NEC για αξιόπιστη και επεκτάσιμη αρχιτεκτονική διαχείρισης στα LTE [64]	60
Σχήμα 30. Η υποστηριζόμενη από την NEC αυτό-βελτιστοποίηση στα LTE δίκτυα.[64]	61
Σχήμα 31. Η λύση της NEC για βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη για την υπηρεσία [64].....	63
Σχήμα 32. Το πλαίσιο εργασίας του SON [19].....	65
Σχήμα 33. Αυτό-διαμόρφωση του eNodeB στα LTE [65].	67
Σχήμα 34. Η αυτό-διαμόρφωση του eNB σε βήματα [19]	69
Σχήμα 35. Το ANR στα LTE [65].....	71
Σχήμα 36. ANR σε βήματα [19]	73
Σχήμα 37. Απόδοση PCI σε μια νέα κυψέλη [19].	79
Σχήμα 38. Καθυστερήση στην έναρξη διαπομπής [19].....	88
Σχήμα 39. Πρόωρη έναρξη διαπομπής (α) [19].....	89
Σχήμα 40. Πρόωρη έναρξη διαπομπής (β) [19].....	89

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Εισαγωγή στην έννοια του SON

1.1. Εισαγωγή στην «Αυτό-Οργάνωση» σε δίκτυα επικοινωνιών

Η ιδέα της αυτοματοποίησης των δικτύων επικοινωνιών με την εισαγωγή μηχανισμών αυτό-οργάνωσης ήταν πάντα μέσα στις προτεραιότητες των παρόχων. Ο λόγος της εισαγωγής των μηχανισμών αυτοματοποίησης είναι η μείωση στο αναμενόμενο λειτουργικό κόστος (OPEX), εκ του οποίου σύμφωνα με την [1] το 25% οφείλεται στις λειτουργίες του δικτύου (σχεδιασμό-διαμόρφωση-βελτιστοποίηση) και την συντήρησή του. Δεδομένου ότι διαρκώς αυξάνεται ο αριθμός των τεχνολογιών, των προμηθευτών και των σταθμών βάσης σε ένα δίκτυο καθώς αυτό ωριμάζει, έτσι διογκώνεται και η προσπάθεια του προγραμματισμού και της διαχείρισης αυτών των δικτύων. Η χειρωνακτική εργασία που απαιτείται σε πολλές ροές της δουλειάς όπως είναι π.χ. ο προγραμματισμός, η βελτιστοποίηση και ο χειρισμός παραμέτρων σε περίπτωση βλάβης μία κυψέλης, είναι πλέον χρονοβόρα καθώς οποιαδήποτε αλλαγή θα μπορούσε να επηρεάσει ένα σύνολο από κυψέλες. Αφ' ετέρου η τεχνολογία και η δυναμική της αγοράς ασκούν μια πίεση για γρηγορότερες χρονικά τροποποιήσεις και βελτιώσεις-βελτιστοποιήσεις των δικτύων για να μείνουν μπροστά από τον ανταγωνισμό. Οι νέες τεχνολογίες όπως το LTE (Long Term Evolution) αυξάνουν την πολυπλοκότητα των δικτύων ενώ η παράλληλη λειτουργία των δικτύων 2G/3G/HSPA με τα δίκτυα LTE είναι κάτι το οποίο θα ζητηθεί από τους χειριστές στα προσεχή έτη. Επιπλέον, οι πιθανές επεκτάσεις των femtocells¹ μαζικά θα αυξήσει σημαντικά τον αριθμό των σταθμών βάσης, απαιτώντας μια προσέγγιση αυτό-οργάνωσης για την εισαγωγή νέων κυψελών και την ενσωμάτωσή τους στο δίκτυο.

Όλοι οι παραπάνω παράγοντες δείχνουν ότι πρέπει να αλλάξουμε τον τρόπο με τον οποίο διαχειριζόμαστε τα δίκτυα. Η απαραίτητη χειρωνακτική εργασία πρέπει να μειωθεί σημαντικά έτσι ώστε το ίδιο το δίκτυο να είναι ικανό από μόνο του να αυτό-διαμορφώνεται και να αυτό-βελτιστοποιείται συνεχώς ως αντίδραση στις αλλαγές της σύνθεσης του (π.χ. βλάβη μίας κυψέλης) και της τηλεπικοινωνιακής κίνησης. Οι χειριστές του δικτύου, θα καθορίσουν τις ροές της δουλειάς και τις πολιτικές μέσω των οποίων θα

¹ **femtocells** -Το femtocell είναι ένας μικρός κυψελοειδής σταθμός βάσης σχεδιασμένος για τη χρήση σε κατοικημένες περιοχές ή μικρές επιχειρήσεις. Συνδέεται με το δίκτυο του φορέα παροχής υπηρεσιών μέσω ευρυζωνικής σύνδεσης (όπως π.χ. DSL) και τυπικά υποστηρίζει 2 έως 5 κινητά τηλέφωνα.

ελέγξουν το δίκτυο αλλά, η σκληρή εργασία, θα πρέπει να γίνεται από το ίδιο το δίκτυο αυτόματα.

Η αυτό-οργάνωση δεν είναι κάτι νέο αλλά κάτι διάχυτο σε πολλούς τομείς της ζωής μας. Στη φύση, για παράδειγμα, τα ψάρια «οργανώνονται» σε καλά δομημένα κοπάδια, τα μυρμήγκια βρίσκουν τον συντομότερο μονοπάτι για την πηγή τροφής τους και οι πυγολαμπίδες αποφεύγουν το φως με άψογο συγχρονισμό. Άλλα παραδείγματα αυτό-οργανωτικής συμπεριφοράς μπορούν να παρατηρηθούν στην οικονομική επιστήμη, στη ψυχολογία και στη γνωσιακή επιστήμη.

Σε όλα τα παραπάνω παραδείγματα, οι συμμετέχουσες οντότητες δημιουργούν μια οργανωτική δομή, η οποία δεν απαιτεί καμία κεντρική διαχείριση. Αντίθετα, οι οντότητες αλληλεπιδρούν απευθείας μεταξύ τους και αντιδρούν συνεχώς στις αλλαγές που συμβαίνουν στο στενό τοπικό περιβάλλον τους. Τυπικά, τέτοια αυτό-οργανωτικά συστήματα είναι ιδιαίτερα ευέλικτα, προσαρμοστικά, αρκετά στιβαρά όσον αφορά τα σφάλματα και κλιμακώνονται εύκολα.

Αν και πολλές διαδικασίες γύρω μας χρησιμοποιούν την έννοια της αυτό-διοργάνωσης, τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα δεν έχουν εξετάσει αυτή την προοπτική σε μεγάλο βάθος. Αντίθετα, αρκετές λειτουργίες οργανώνονται με κεντρικό τρόπο μέχρι και σήμερα και απαιτούν σημαντικό ποσοστό χειροκίνητης διαμόρφωσης (configuration), τόσο για την ανάπτυξη όσο και για τη λειτουργία τους. Για παράδειγμα, τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών απαιτούν ενδελεχή και πλήρη σχεδιασμό συχνοτήτων (frequency planning) και χρησιμοποιούν κεντρικοποιημένες βάσεις δεδομένων για διαχείριση της κινητικότητας (mobility management). Ωστόσο, εξαιτίας της εμφάνισης δικτύων τα οποία βασίζονται στο IP πρωτόκολλο (IP-based), είναι δυνατόν να διακρίνουμε την τάση να οδηγηθούμε σε λειτουργίες αυτό-οργανωμένου ελέγχου. Το IP για παράδειγμα χρησιμοποιεί για παράδειγμα έναν αποκεντρωμένο τρόπο ελέγχου συμφόρησης και αυτό-διαμόρφωση διευθύνσεων (address auto-configuration).

Η τάση αυτή φαίνεται ότι θα επιταχυνθεί από την ανάπτυξη υπολογιστικών συστημάτων, όπου ασύρματες τεχνολογίες διασύνδεουν έναν συνεχώς αυξανόμενο αριθμό συσκευών, όπως φορητοί αναπαραγωγείς μουσικής και βίντεο κ.α. Αυτό οδηγεί σε ιδιαίτερη αύξηση της πολυπλοκότητας των δικτύων επικοινωνιών, γεγονός που μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο για την περαιτέρω ανάπτυξη τους. Η

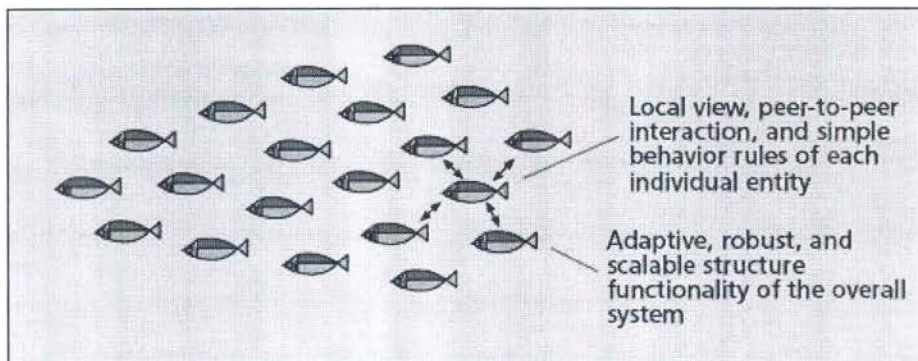
επιστημονική κοινότητα θεωρεί ότι ένα υψηλότερο ποσοστό αυτό-οργάνωσης θα βοηθήσει ώστε να ξεπεραστούν τέτοιου τύπου δυσκολίες. Πιο συγκεκριμένα μάλιστα θα μειώσει τις προσπάθειες administration τόσο των χρηστών όσο και των ίδιων των παρόχων.

Στην επόμενη παράγραφο, θα δώσουμε έναν ορισμό της έννοιας της αυτό-οργάνωσης, συμπληρώνοντας βέβαια κάποιες από τις βασικές αρχές που την διέπουν καθώς και τα πιο σημαντικά οφέλη που αυτή παρέχει.

1.2. Ορισμός και Οφέλη

Ο ορισμός της αυτό-οργάνωσης εμφανίζεται σε πολλούς επιστημονικούς τομείς, ωστόσο δεν υπάρχει ακόμα ένας κοινά αποδεκτός ορισμός στη βιβλιογραφία. Οι ερευνητές εξετάζουν κάποια ήδη υπάρχοντα φαινόμενα αυτό-οργάνωσης, αλλά κινούνται βάσει διαφορετικής οπτικής γωνίας. Το γεγονός αυτό καθιστά την έννοια της αυτό-οργάνωσης ένα εξαιρετικά διεπιστημονικό και ετερογενές πεδίο. Εμείς από την πλευρά μας θα προσπαθήσουμε να δώσουμε ένα ορισμό αυτής της έννοιας από τη μια αρκετά γενικό ώστε να μπορέσει να καλύψει διαφορετικά επιστημονικά πεδία αλλά ταυτόχρονα και αρκετά συγκεκριμένο ώστε να είναι χρήσιμος για τον τομέα των δικτύων επικοινωνιών.

Θεωρούμε ότι ένα σύστημα αποτελείται από διαφορετικές οντότητες. Θα ονομάζουμε το σύστημα αυτό οργανωμένο εάν έχει συγκεκριμένη δομή και λειτουργικότητα [25]. Με την έννοια «δομή» αναφερόμαστε στο γεγονός ότι οι οντότητες πρέπει να είναι διευθετημένες και να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με συγκεκριμένο τρόπο. Με τον όρο λειτουργικότητα εννοούμε ότι το σύστημα εξυπηρετεί έναν συγκεκριμένο σκοπό. Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου τύπου συστήματος θα μπορούσε κανείς να πει ότι είναι ένα μικρό κοπάδι ψαριών τα οποία προσπαθούν να σχηματίσουν μια συλλογική δομή ενάντια σε μια πιθανή επίθεση από κάποιον εχθρό (όπως φαίνεται και στο σχήμα 1).



Σχήμα 1. Απεικόνιση των κύριων αρχών ενός συστήματος αυτό-οργάνωσης [2]

Ένα σύστημα είναι αυτό-οργανωμένο εάν η οργάνωση του δεν ελέγχεται από κάποια εξωτερική ή κεντρική οντότητα. Με άλλα λόγια, οι ξεχωριστές οντότητες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με ομότιμο τρόπο (peer-to-peer). Η αλληλεπίδραση μεταξύ των οντοτήτων είναι συνήθως τοπική. Για παράδειγμα, σε ένα κοπάδι ψαριών κάθε ψάρι στηρίζει τη συμπεριφορά του βάσει της παρατήρησης της κίνησης και της ταχύτητας που έχουν οι αμέσως κοντινότεροι γείτονες του και όχι βάσει της συμπεριφοράς ενός κεντρικού ψαριού ή ακόμα και βάσει ολόκληρου του κοπαδιού.

Παρ' όλα αυτά όμως, αυτό-οργάνωση δεν είναι μόνο ο καταναμημένος και τοπικός έλεγχος. Πέρα από αυτά έχει να κάνει και τόσο με το συσχετισμό της συμπεριφοράς ξεχωριστών οντοτήτων (σε μικροσκοπικό επίπεδο), όσο και με την δομή και λειτουργικότητα του συνολικού δικτύου (σε μακροσκοπικό επίπεδο). Στα αυτό-οργανωμένα συστήματα ακόμα και η εφαρμογή μιας πολύ απλής συμπεριφοράς σε μικροσκοπικό επίπεδο οδηγεί σε αρκετά πολύπλοκη οργάνωση για το συνολικό σύστημα. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φαινόμενο αναδυόμενη συμπεριφοράς (emergent behavior). Το γιατί και το πως συμβαίνει το φαινόμενο αυτό ακόμα δεν είναι πλήρως μελετημένο.

Ένα ακόμα σημαντικό χαρακτηριστικό των αυτό-οργανωμένων συστημάτων είναι η προσαρμοστικότητα τους σε αλλαγές που συμβαίνουν στο ίδιο το σύστημα ή ακόμα και στο περιβάλλον. Για την ακρίβεια οι οντότητες του συστήματος προσαρμόζονται συνεχώς στις αλλαγές με έναν συντονισμένο τρόπο, έτσι ώστε ολόκληρο το σύστημα να επανα-οργανώνεται αντιδρώντας σε αλλαγές είτε από το εξωτερικό περιβάλλον, είτε από το εσωτερικό. Πραγματοποιώντας κάτι τέτοιο, προσπαθεί να αποφύγει συγκεκριμένες οντότητες και ταυτόχρονα να συγκλίνει σε επιθυμητές δομές που παρέχουν περισσότερα οφέλη. Συνδυάζοντας αυτή την εγγενή προσαρμοστικότητα, με την καταναμημένη φύση των αυτό-οργανωμένων συστημάτων οδηγούμαστε σε ένα από τα πιο βασικά πλεονεκτήματα : την προσαρμογή απέναντι σε σφάλματα. Αυτό συμβαίνει καθώς δεν υπάρχει περίπτωση να

δημιουργηθεί κάποιο σφάλμα, το οποίο το ίδιο το σύστημα να μην μπορεί να διορθώσει χωρίς την ανάγκη εξωτερικής παρέμβασης. Έτσι, ένα σωστά αυτό-οργανωμένο σύστημα θα υποβαθμίζει σταδιακά τις επιδόσεις του και δεν θα καταρρέει ξαφνικά, όπως συμβαίνει μέχρι σήμερα. Ακόμα ένα σημαντικό πλεονέκτημα που έχουν τα περισσότερα αυτό-οργανωμένα συστήματα είναι το υψηλό ποσοστό κλιμάκωσης (scalability) που διαθέτουν, δηλαδή τη δυνατότητα τους να λειτουργούν ακόμα και όταν ο αριθμός των οντοτήτων τους είναι μεγάλος. Συνεχίζοντας το παράδειγμα με το κοπάδι των ψαριών θα μπορούσε κανείς να πει ότι ένας καλά αυτό-οργανωμένος σχηματισμός ψαριών θα μπορούσε να λειτουργήσει ακόμα και με χιλιάδες ψάρια.

Περίληπτικά, όπως απεικονίζεται και στο σχήμα 1, η αυτό-οργάνωση μπορεί να οριστεί ως η ανάδειξη δομών και λειτουργιών με ικανότητα προσαρμογής μέσω της βοήθειας τοπικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ ξεχωριστών οντοτήτων.

1.3. Αυτό-οργάνωση σε Δίκτυα Επικοινωνιών

Όπως ήταν αναμενόμενο η αντίληψη της αυτό-οργάνωσης δεν μπορούσε να αφήσει ανεπηρέαστο τον τομέα των δικτύων επικοινωνιών και υπολογιστών. Οι κύριοι στόχοι που θέλουμε να επιτύχουμε με την εφαρμογή αυτής της ιδέας είναι να μειώσουμε την ανάγκη για τη χειροκίνητη διαμόρφωση των δικτυακών στοιχείων, να αναπτυχθούν πρωτόκολλα που διευκολύνουν τη λειτουργία των δικτύων και επιτρέπουν νέους τύπους δικτύων επικοινωνιών, όπως τελείως αποκεντρωμένα ad hoc και δίκτυα αισθητήρων.[3-4]

Ένα τυπικό παράδειγμα της ανάδειξης αυτό-οργανωμένων λειτουργιών είναι στο πεδίο της IP καταχώρησης διευθύνσεων. Παραδοσιακά, ο διαχειριστής κάνει configure μια IP διεύθυνση κάθε υπολογιστή χειροκίνητα, από ένα συγκεκριμένο πεδίο διευθύνσεων που του έχει δοθεί από κάποιου ανωτέρου επιπέδου αρχή. Αυτή η παραδοσιακή προσέγγιση δεν έχει κανένα στοιχείο αυτό-οργάνωσης, αλλά αντίθετα απαιτεί σημαντική ανθρώπινη παρέμβαση και δημιουργεί μια αυστηρή δομή διευθύνσεων. Ένα πρώτο βήμα για αύξηση της αυτό-οργάνωσης σε ένα δίκτυο έγινε με την εισαγωγή του πρωτοκόλλου DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol). Κάνοντας χρήση αυτού του πρωτοκόλλου, οι υπολογιστές μπορούν να αποκτήσουν αυτοματοποιημένα μια IP διεύθυνση από κάποιον εξυπηρετητή που εγκαταστάθηκε από τον διαχειριστή στο αντίστοιχο domain. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει στους υπολογιστές να προσαρμόζονται στο περιβάλλον (π.χ. να αποκτήσουν νέα IP διεύθυνση εάν μεταφερθούν στη δικαιοδοσία άλλου δικτύου). Παρ' όλο που το DHCP απαλλάσσει τους χρήστες του από την ανάγκη να κάνουν configure τις IP ρυθμίσεις τους,

απαιτεί και το ίδιο εξωτερική παρέμβαση, αφού απαιτεί διαχειριστές δικτύου οι οποίοι να εγκαθιστούν τους αποκλειστικούς DHCP servers. Το πρόβλημα αυτό επιλύθηκε με την προτυποποίηση της αυτό-διαμόρφωσης IPv6.

Άλλο ένα παράδειγμα αυτό-οργάνωσης είναι το TCP πρωτόκολλο, το οποίο υλοποιεί έναν αποκεντρωμένο μηχανισμό για να χειριστεί τη συμφόρηση στο Internet. Με απλά λόγια, το TCP χρησιμοποιεί ένα loop ελέγχου για το ρυθμό αποστολής: μειώνει το ρυθμό σε περίπτωση απώλειας πακέτων, ενώ τον αυξάνει αν τα πακέτα φτάσουν ορθά. Με τον τρόπο αυτό, δεν υπάρχει συγκεκριμένη διαχείριση των δικτυακών πόρων, αλλά αυτοί μοιράζονται σε όλους τους συμμετέχοντες με λογικά δίκαιο τρόπο. Αυτό το παράδειγμα προσαρμοστικότητας στην κίνηση αποδεικνύει ότι ο αποκεντρωμένος τρόπος ελέγχου μπορεί να είναι αποδοτικός και κλιμακούμενος (scalable).

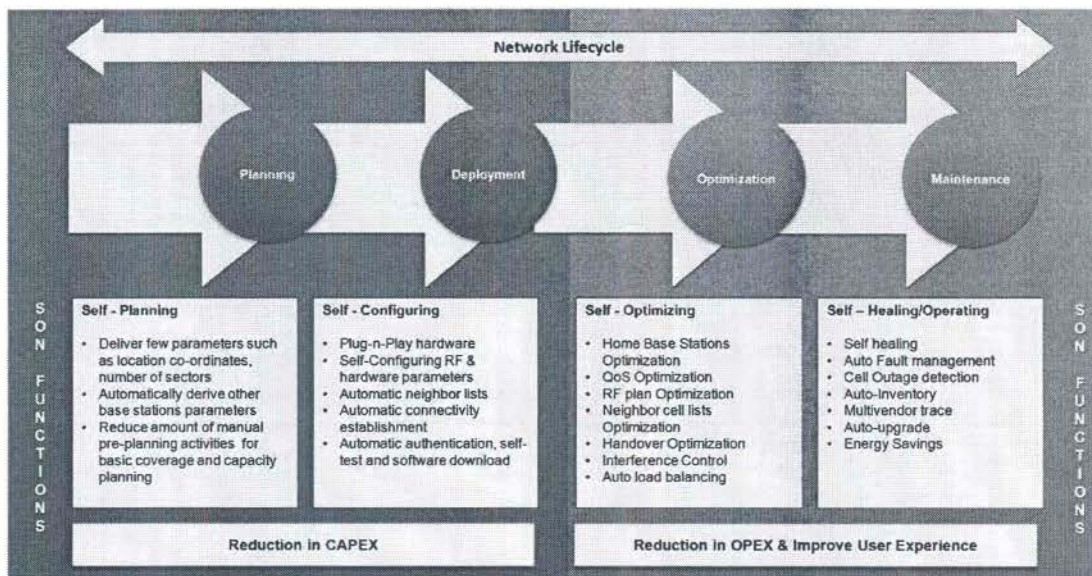
Για να δώσουμε ένα ακόμα παράδειγμα, αξίζει να πούμε ότι η ιδέα της αυτό-οργάνωσης έχει νόημα και στον τομέα της προσαρμοστικότητας απέναντι στο σφάλμα (failure resilience) αλλά και σε αυτόν της επαναφοράς δικτύου (network restoration). Σε αυτό το πεδίο ο κύριος σκοπός είναι να σχεδιαστούν δίκτυα με δυνατότητες «αυτό-ίασης» (self-healing) ή «αυτοσταθεροποίησης», τα οποία να αντιδρούν σε σφάλματα ζεύξεων και κόμβων. Για το σκοπό αυτό απαιτούνται πρωτόκολλα που θα εντοπίζουν άμεσα τέτοια γεγονότα και θα επαναδρομολογούν την κίνηση που είναι πιθανό να επηρεαστεί με αυτό-οργανωμένο τρόπο.

1.4 Η καινοτομία του SON

Το SON εισαγάγει την έννοια της αυτοματοποίησης στην λειτουργία και την συντήρηση του τηλεπικοινωνιακού δικτύου, με στόχο να ελαχιστοποιήσει το κόστος λειτουργίας περιορίζοντας στο ελάχιστο δυνατόν την χειροκίνητη διαμόρφωση του εξοπλισμού τόσο κατά την φάση της ανάπτυξης, όσο και με την δυναμική βελτιστοποίηση της απόδοσης του ραδιοδικτύου κατά την διάρκεια της επιχειρησιακής λειτουργίας του.

Το SON απλοποιεί την λειτουργία του δικτύου και διευκολύνει την διαχείριση, στον αυξανόμενο αριθμό σταθμών βάσης (διαμόρφωση τους και διαχείριση) με την ελάχιστη δυνατή ανθρώπινη παρέμβαση.

Το παρακάτω σχήμα 2 απεικονίζει την χρήση του SON κατά μήκος ολόκληρης της ανάπτυξης ενός δικτύου, από την φάση του σχεδιασμού, στην ανάπτυξη, την βελτιστοποίηση και την συντήρηση. Η χρήσεις του SON μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τέσσερις κατηγορίες τις οποίες θα αναλύσουμε διεξοδικά στο 2^ο Κεφάλαιο.



Σχήμα 2. Απεικόνιση της επίδρασης των λειτουργιών του SON στο CAPEX/OPEX κατά μήκος του κύκλου ζωής ενός δικτύου.[5]

Αυτές είναι (όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα 2):

- Ο αυτό-Σχεδιασμός
- Η αυτό-Διαμόρφωση
- Η αυτό-Βελτιστοποίηση
- Η αυτό-Ίαση

Αυτές οι λειτουργίες της, οποίες υποστηρίζει το SON, είναι αλγόριθμοι, ικανοί να αυτό-διαμορφώσουν, αυτό-βελτιστοποιήσουν και αυτό-Ίάνουν αυτόματα και δυναμικά, συναρτήσει μετρήσεων που σχετίζονται με το δίκτυο και την κίνηση που περνά μέσα από αυτό, σε όλο τον κύκλο ζωής του.

Εδώ θα εισάγουμε δύο πολύ σημαντικούς όρους που αφορούν τόσο την ανάπτυξη, όσο και την λειτουργία ενός δικτύου.

Αυτοί είναι:

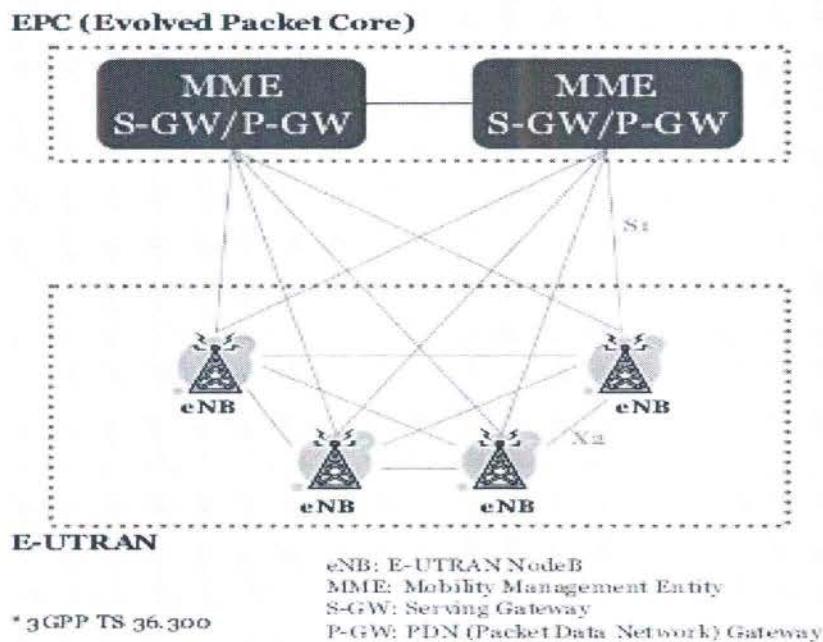
- Οι κεφαλαιακές δαπάνες ανάπτυξης (CAPEX)
- Οι δαπάνες λειτουργίας (OPEX)

κάθε λειτουργική οντότητα του SON επηρεάζει τους παραπάνω δύο όρους όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2. μειώνοντας από την μία το κόστος ανάπτυξης και λειτουργίας (κάνοντας το δίκτυο βιώσιμο και επικερδές) και από την άλλη βελτιώνει την ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας.

1.5 Το SON σήμερα

Η έννοια της αυτό-οργάνωσης SON έχει εισαχθεί από την προδιαγραφή 3GPP στην έκδοση 8 λόγω της εξομάλυνσης της αρχιτεκτονικής του δικτύου E-Utran και της προκύπτουσας αύξησης του αριθμού των κόμβων στο δίκτυο. Τα κύρια θέματα του SON όπως η αυτό-εγκατάσταση ενός νέου eNodeB και η αυτόματη διαχείριση της σχέσης με γειτονικό κόμβο [Automatic Neighbors Relation (ANR) management] [7] έχουν προσδιορίσει και περιγραφεί. Επιπλέον, η έκδοση 8 τυποποιεί τις σημαντικές διεπαφές για το SON:

- Την διεπαφή X2 (μεταξύ eNodeBs)
- Την s1 διεπαφή μεταξύ eNodeBs και EPC [10]



Σχήμα 3. Χρήση διεπαφών X2 και s1

Το ισχυρό κίνητρο, της αύξησης της λειτουργικής αποδοτικότητας που προκαλείται από τις λειτουργίες του SON, ήταν ένα από τα σημεία κλειδιά που ασχολήθηκε μια κλειστή ομάδα χειριστών Next Generation Mobile Networks (NGMN) [8], η οποία συμπληρώνει την εργασία για τα μελλοντικά κινητά ευρυζωνικά δίκτυα μέσα στους οργανισμούς τυποποίησης.

Υπάρχουν πολλά ερευνητικά έργα τα οποία προσπαθούν να αντιμετωπίσουν τα ζητήματα της αυτό-οργάνωσης. Π.χ το πρόγραμμα Socrates [9] επικεντρώνεται στην ανάπτυξη των μεθόδων αυτό-οργάνωσης για τα ασύρματα δίκτυα πρόσβασης, μέσα στην ασύρματη

διεπαφή του LTE. Το πρόγραμμα Gandalf [10] καθόρισε τις λύσεις για αυτό - διάγνωση, αυτό-δοκιμή και αυτό-συντονισμού σε ένα πολυσυστημικό στο περιβάλλον.

Οι κατασκευαστές είναι επίσης ενεργοί στον τομέα του SON. Πρόσφατα Motorola [11] ανάγγειλε μια προηγμένη λύση SON που είναι ένα μέρος της LTE πλατφόρμα της. Άλλοι προμηθευτές όπως nsn [12] , Ericsson [13] και Huawei [14] εργάζονται επίσης εντατικά επάνω στις λύσεις SON τους.

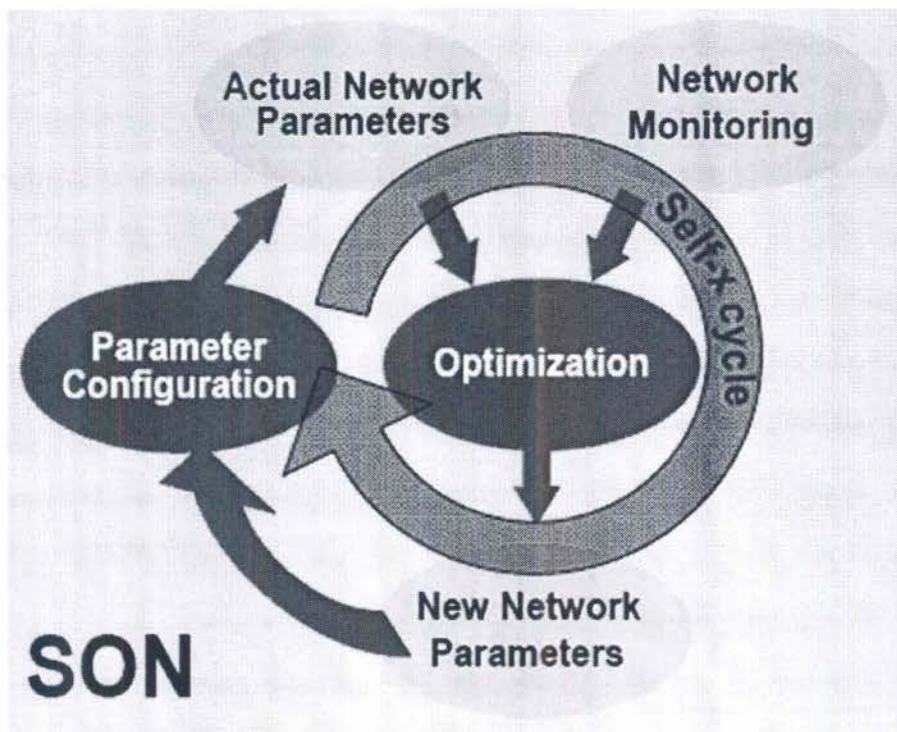
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Δομή και βασικές οντότητες του SON

2.1 Η Λογική Self-x

Η πολυπλοκότητα και η ετερογένεια των δικτύων ράδιο-πρόσβασης (Radio Access Networks - RAN) αναμένεται να αυξηθούν δραματικά με αποτέλεσμα μαζί τους να αυξηθούν και οι λειτουργικές εργασίες που απαιτούνται (π.χ. ο σχεδιασμός του δικτύου, η ανάπτυξη του, λειτουργίες OAM, βελτιστοποίηση δικτύου κ.α.). Η λογική της αγοράς των κινητών επικοινωνιών, όπως αυτή έχει εκφραστεί μέχρι και σήμερα, φαίνεται να εμφανίζει κάποια προβλήματα καθώς οι πάροχοι επικεντρώθηκαν αρχικά μόνο σε θέματα που αφορούσαν τις επιδόσεις του συστήματος και στη συνέχεια κάποιοι άρχισαν να ασχολούνται με τη λειτουργία και τη διαχείριση του δικτύου. Ωστόσο το βασικό κριτήριο για τα συστήματα επικοινωνιών επόμενης γενιάς είναι η μείωση τόσο της πολυπλοκότητας όσο και του κόστους. Όπως είναι λοιπόν προφανές απαιτείται αλλαγή στη νοοτροπία που επικρατεί μέχρι σήμερα, η οποία αλλαγή μάλιστα θα επικεντρώνεται ταυτόχρονα και στις εξαιρετικές επιδόσεις των δικτύων αλλά και στην λειτουργική απόδοση. Για μια τέτοιου τύπου αλλαγή η προσέγγιση της αυτό-οργάνωσης (self-organizing) φαντάζει ως υποδειγματική και ταυτόχρονα ως μια πολλά υποσχόμενη λύση.

Ας ξεκινήσουμε όμως καθορίζοντας την έννοια ενός Αυτό-Οργανωμένου Δικτύου (Self-Organizing Network - SON). Ως SON λοιπόν θα μπορούσε κανείς να αναφέρει οποιοδήποτε δίκτυο επικοινωνιών το οποίο υποστηρίζει self-x λειτουργικότητες . Οι self-x λειτουργικότητες αυτές θα μπορούσαν να είναι αυτό-διαμόρφωση (self-configuration), αυτό-βελτιστοποίηση (self-optimization) όπως και άλλες (αναφέρονται σε κεφάλαιο που ακολουθεί). Η self-x λογική αυτή επιτρέπει την αυτοματοποίηση των λειτουργικών εργασιών και όπως είναι προφανές ελαχιστοποιεί κατά πολύ την ανάγκη για ανθρώπινη παρέμβαση.

Σε γενικές γραμμές η βασική ιδέα πίσω από τις self-x λειτουργικότητες στηρίζεται στη λογική ενός βρόχου (self-x cycle), ο οποίος συγκεντρώνει δεδομένα που εισάγονται σε αυτόν, τα επεξεργάζεται και με τη βοήθειά τους καταλήγει σε βελτιστοποιημένη παραμετροποίηση. Ο self-x κύκλος φαίνεται και στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4. Βασικός κύκλος λειτουργίας του SON[15]

Αξίζει, επιπλέον, να σημειωθεί ότι η self-x λογική είναι σε θέση, τόσο να βοηθήσει στη βελτίωση της χρηστικότητας των μελλοντικών λύσεων για ασύρματη πρόσβαση (“plug & play”), όσο και να επιταχύνει τους ρυθμούς για την εισαγωγή και την ανάπτυξη νέων ασύρματων υπηρεσιών. Όμως τα οφέλη που μπορεί να μας αποφέρει μια τέτοιου είδους λύσης (self-x) δεν περιορίζονται στα προαναφερθέντα. Πιο συγκεκριμένα, είναι σημαντικό να αναφέρει κανείς ότι η self-x λογική μας δίνει τη δυνατότητα να αυξήσουμε περαιτέρω την φασματική απόδοση, αφού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να εκχωρήσει χωρητικότητα όπου κάτι τέτοιο θα ήταν αναγκαίο. Αντίθετα κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατό να συμβεί στα σημερινά δίκτυα, των οποίων ο σχεδιασμός έχει γίνει με τρόπο τέτοιο ώστε να μπορούν να διαχειριστούν την μέγιστη αναμενόμενη απαίτηση σε οποιοδήποτε σημείο της περιοχής κάλυψης. Ένα άλλο σημαντικό κομμάτι που η self-x προσέγγιση θα μπορούσε να βελτιώσει είναι η ποιότητα υπηρεσίας (QoS) που αντιλαμβάνεται ο χρήστης. Η βελτίωση αυτή δεν οφείλεται μόνο στην αύξηση της φασματικής απόδοσης που αναφέραμε πιο πάνω αλλά και στη βελτιστοποίηση της παρεμβολής και της κάλυψης για κρίσιμες συνθήκες λήψης.

Όπως είναι φανερό και από την περιγραφή που προηγήθηκε τα κύρια οφέλη που αναμένουμε έχουν σε πρώτη φάση να κάνουν με τη μείωση του κόστους λειτουργίας (OPEX) και στη συνέχεια με τη βελτίωση των επιδόσεων του δικτύου.

2.2 Λειτουργικότητες Self-x

Το SON μαζί με τις διαφορετικού τύπου μορφές αυτό-οργάνωσης που μπορεί αυτό να περιλαμβάνει, αναφέρεται συχνά ως self-x. Οι μορφές αυτές εν συντομία απεικονίζονται στο Σχήμα 5 που ακολουθεί.



Σχήμα 5. Οι λειτουργίες του SON [15]

2.2.1 Αυτό-Διαμόρφωση (Self-Configuration):

Η αυτό-διαμόρφωση ορίζεται ως η διεργασία κατά την οποία οι καινούριοι κόμβοι που εισάγονται στο σύστημα διαρθρώνονται από αυτόματες διαδικασίες εγκατάστασης ώστε οι κόμβοι να μπορούν να πληρούν τις προϋποθέσεις λειτουργίας του συστήματος. Η διεργασία αυτή λαμβάνει χώρα σε κατάσταση προ-λειτουργίας, δηλαδή σε κατάσταση κατά την οποία η RF διεπαφή δεν είναι ακόμη εμπορικά ενεργή [16]. Μετά από την πρώτη αυτή αρχική διαμόρφωση, ο κόμβος θα πρέπει να έχει ικανοποιητική συνδεσιμότητα προς το δίκτυο, ώστε να έχει τη δυνατότητα να αντλήσει πιθανές επιπρόσθετες παραμέτρους διαμόρφωσης ή ακόμη και ενημερώσεις λογισμικού από το δίκτυο, για να κατορθώσει να είναι πλήρως λειτουργικός.

2.2.2 Αυτό-σχεδιασμός (Self-Planning)

Η διεργασία του αυτό-σχεδιασμού θα μπορούσε να θεωρηθεί και μια υποκατηγορία των self-configuration μηχανισμών. Πιο συγκεκριμένα

περιλαμβάνει τις διαδικασίες εκείνες κατά τις οποίες αναθέτονται σε ένα νέο κόμβο δικτύου οι παράμετροι ράδιο-σχεδιασμού (radio planning). Τέτοιες παράμετροι θα μπορούσαν να είναι οι Συσχετισμοί Γειτονικών Κυψελών (Neighbor Cell Relations), οι μέγιστες τιμές Tx ισχύος του εξοπλισμού του χρήστη, παράμετροι HO (handover- διαπομπών) κ.α.

2.2.3 Αυτό-Βελτιστοποίηση (Self-Optimization)

Η αυτό-βελτιστοποίηση θα μπορούσε να οριστεί ως η διαδικασία όπου οι μετρήσεις από τον εξοπλισμό του χρήστη αλλά και από το σταθμό βάσης, όπως επίσης και οι μετρήσεις επίδοσης χρησιμοποιούνται για τον αυτό-συντονισμό (auto-tune) του δικτύου. Οι ενέργειες συντονισμού αυτές περιλαμβάνουν αλλαγές παραμέτρων, κατωφλίων, συσχέτισης γειτόνων κ.α. Το βασικά κέρδη από τη χρήση του self-optimization μηχανισμού συνοψίζονται ως εξής:

- ελαχιστοποίηση λειτουργικής προσπάθειας
- αύξηση ποιότητας και επιδόσεων
- μείωση προσπάθειας σχεδιασμού και σφαλμάτων.

Η διεργασία της αυτό-βελτιστοποίησης εκτελείται σε κατάσταση λειτουργίας του δικτύου, δηλ. σε κατάσταση κατά την οποία η RF διεπαφή είναι εμπορικά διαθέσιμη.

2.2.4 Αυτό-Διαχείρισης (Self-Managing)

Η διεργασία αυτό-διαχείρισης είναι η αυτοματοποίηση των εργασιών λειτουργίας και συντήρησης (**Operation & Maintenance - OAM**), ή αλλιώς η μεταφορά των παραπάνω εργασιών από ανθρώπινους διαχειριστές στο σύστημα το ίδιο. Με τον τρόπο αυτό, ο ανθρώπινος παράγοντας επεμβαίνει μόνο για να παράσχει δεδομένα υψηλού επιπέδου (συνήθως τις ακολουθούμενες πολιτικές) για να καθοδηγηθεί η διεργασία OAM. Το δίκτυο και τα στοιχεία του, μπορούν αυτόματα να αναλάβουν δράση βάσει των διαθέσιμων πληροφοριών και γνώσεων σχετικά με το τι συμβαίνει στο περιβάλλον του δικτύου, καθώς το OAM κομμάτι του δικτύου διέπεται-ελέγχεται από διάφορες πολιτικές και αντικειμενικούς στόχους (εμπορική πολιτική).

2.2.5 Αυτό-Ίαση (Self-Healing)

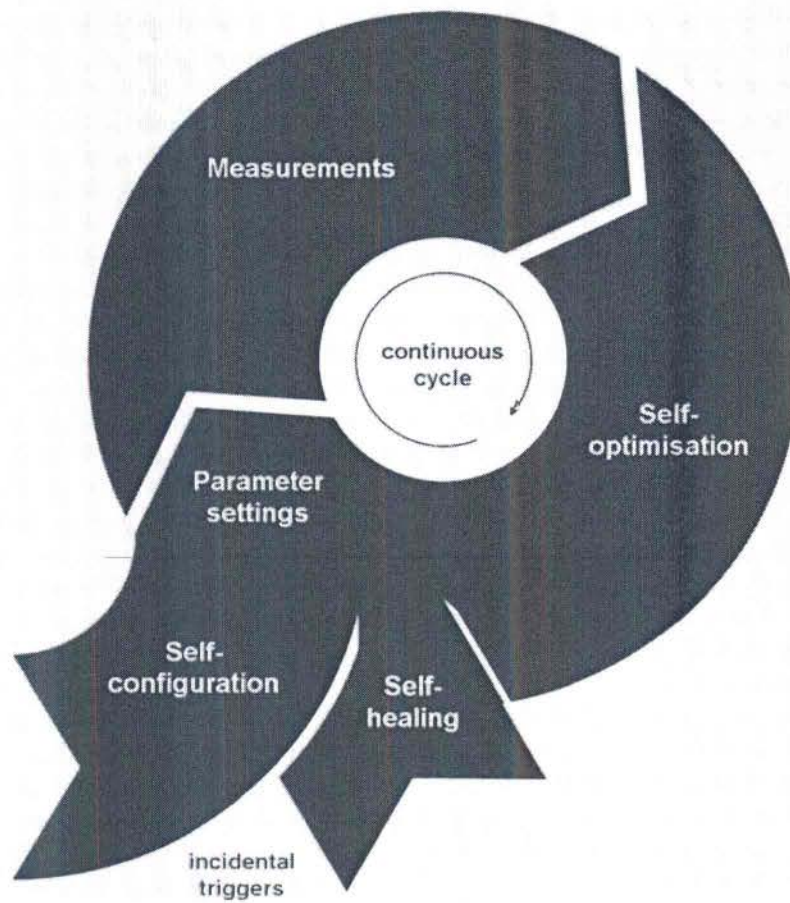
Η αυτό-ίαση είναι μια SON λειτουργία που ανιχνεύει προβλήματα και είτε τα λύνει είτε τα μετριάξει (από μόνη της), έτσι ώστε να αποφύγει την εμφάνιση επιπτώσεων στο χρήστη αλλά και για να μειώσει σημαντικά το κόστος συντήρησης. Για κάθε σφάλμα που ανιχνεύεται, παράγονται κατάλληλα σήματα συναγερμού από την οντότητα του δικτύου που φέρει τη βλάβη. Όπως είναι εμφανές, ο σκανδαλιστής (trigger) της αυτό-ίαςσης είναι τα μηνύματα συναγερμού. Η λειτουργία του self healing παρακολουθεί τους συναγερμούς και όταν εντοπίζει κάποιον, ο οποίος οφείλεται σε σφάλμα που μπορεί να επιλυθεί αυτόματα, συγκεντρώνει περισσότερες σχετικές πληροφορίες(π.χ. μετρήσεις, αποτελέσματα δοκιμών κ.α.), πραγματοποιεί ανάλυση σε βάθος και στη συνέχεια ανάλογα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής, υποκινεί τις κατάλληλες ενέργειες ανάκαμψης ώστε να λυθεί αυτόματα το σφάλμα.

2.3 Η λειτουργία ενός SON δικτύου

Σύμφωνα με τις προτάσεις του 3GPP και του NGMN τα μελλοντικά δίκτυα θα απαιτούν ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση τόσο στο σχεδιασμό του δικτύου όσο και στις διεργασίες βελτιστοποίησης.

Νέοι σταθμοί βάσης αυτό-ρυθμίζονται σε μία «plug-and-play» διεργασία, ενώ είδη υπάρχοντες σταθμοί βάσης αυτό-βελτιστοποιούν τους αλγόριθμους λειτουργία τους και τις παραμέτρους τους ως αντίδραση στις αλλαγές του δικτύου, της κίνησης και των περιβαλλοντικών συνθηκών. Οι προσαρμογές διενεργούνται έτσι ώστε να έχουμε την όσο το δυνατόν πιο αποδοτική διαθεσιμότητα και ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας.

Σε περίπτωση βλάβης μίας κυψέλης, διαδικασίες αυτό-ίαςσης ενεργοποιούνται για να επιλύσουν το κενό κάλυψης-χωρητικότητας με την επέκταση (όπου είναι εφικτό) της κάλυψης γειτονικών κυψελών. Η εφαρμοζόμενη λειτουργική διεργασία σε ένα αυτό-οργανωμένο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης καθώς και τα στοιχεία της αυτό-οργάνωσης παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα 6.



Σχήμα 6. Τα στοιχεία της Αυτό-Οργάνωσης στον αέριο κύκλο λειτουργίας [18]

Αν θεωρήσουμε π.χ. ένα πλήρως παραμετροποιημένο και λειτουργικό δίκτυο ασύρματης πρόσβασης, για το οποίο θα ξεκινήσουμε αυθαίρετα την ανάλυση μας από το βήμα των «μετρήσεων».

2.3.1 Βήμα Μετρήσεων

Σε αυτό το βήμα έχουμε μία συνεχόμενη δραστηριότητα όπου πλήθος μετρήσεων συλλέγονται από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων και μετρητών και σημείων ελέγχου.

Τα δεδομένα αυτών των μετρήσεων, όπως π.χ. τα χαρακτηριστικά του ασύρματου καναλιού, η κίνηση και χαρακτηριστικά της κινητικότητας των χρηστών, επεξεργάζονται για να μας παρέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες, οι οποίες με την σειρά τους θα τροφοδοτήσουν τα διάφορα στάδια αυτό-οργάνωσης. Η απαιτούμενη διαμόρφωση, ακρίβεια και

περιοδικότητα των προσδιδόμενων πληροφοριών από το βήμα των «Μετρήσεων» εξαρτάτε από ειδικό μηχανισμό ο οποίος θα πρέπει με την σειρά του να αυτό-βελτιστοποιείται.

2.3.2 Βήμα αυτό-βελτιστοποίησης «self-optimization»

Σε αυτό το βήμα «έξυπνες» μέθοδοι εφαρμόζονται στην επεξεργασία των δεδομένων που λαμβάνονται από τις «μετρήσεις» για να μας δώσουν ένα βελτιστοποιημένο σετ παραμέτρων του ασύρματου δικτύου (διαχείριση των πόρων) συμπεριλαμβανομένων:

- Παραμέτρους για την κεραία (tilt, azimuth)
- Ρυθμίσεις για την ισχύ (συμπεριλαμβανομένων των καναλιών πιλότου – ελέγχου και κίνησης)
- Λίστα γειτόνων (την ταυτότητα των κυψελών και τα σχετικά βάρη)
- Μια σειρά από παραμέτρους διαχείρισης των ασύρματων πόρων (έλεγχος αποδοχής/συμφόρησης/παράδοσης και σχεδιασμός πακέτων)

Σε περίπτωση που οι μέθοδοι αυτό-βελτιστοποίησης εμφανίζονται να είναι ανίκανες για να επιτύχουν τους στόχους απόδοσης, η επέκταση χωρητικότητας είναι αναπόφευκτη και συνοδεύεται από προτάσεις για ανθρώπινη παρέμβαση, π.χ. από την άποψη της προτεινόμενης τοποθεσίας για μια νέα κυψέλη.

2.3.3 Βήμα Αυτό-Διαμόρφωσης «Self-Configuration»

Το βήμα αυτό, απεικονίζεται σαν ένας εξωτερικός βρόγχος που συνδέεται με τον κύκλο της αυτό-βελτιστοποίησης του δικτύου και ο οποίος ενεργοποιείται από τυχαία γεγονότα.

Σαν παράδειγμα θα μπορούσαμε να αναφέρουμε την προσθήκη μια νέας θέσης παρουσίας του δικτύου και της παρουσίας μια νέας υπηρεσίας ή μιας νέας δυνατότητας του δικτύου. Αυτές οι αναβαθμίσεις συνήθως χρειάζονται ένα αρχικό (επανα)προγραμματισμό μίας σειράς παραμέτρων του ράδιο-δικτύου ή του αλγόριθμου διαχείρισης των πόρων π.χ. την ισχύ του πιλοτικού καναλιού. Όλη αυτή η παραμετροποίηση θα πρέπει να έχει γίνει πριν την λειτουργία και πριν την βελτιστοποίηση ως μέρος της συνεχόμενης διεργασίας αυτό-βελτιστοποίησης.

2.3.4 Το βήμα της αυτό-ίασης

Η διαδικασία της αυτό-ίασης ενεργοποιείται από τυχαία γεγονότα π.χ την βλάβη μίας κυψέλης και έχει όπως αντικειμενικό στόχο να επιλύσει το πρόβλημα της απώλειας κάλυψης/χωρητικότητας που εμφανίζεται μετά από τέτοια τυχαία γεγονότα προσπαθώντας να την επεκτείνει όσο το δυνατόν περισσότερο για να συνεχίσει η απρόσκοπτη παροχή «υπηρεσίας» από τον πάροχο.

Για να το επιτύχει αυτό, ρυθμίζει κατάλληλα τις παραμέτρους και τους αλγόριθμους των γειτονικών κυψελών. Όταν η βλάβη στην κυψέλη αποκατασταθεί, όλες παράμετροι αποκαθιστούνται στις αρχικές του τιμές.

Ο βαθμός ανάπτυξης ενός Αυτό-Οργανωμένου δικτύου καθορίζει και το ποιές εργασίες παραμένουν στους διαχειριστές του δικτύου. Σε μία ιδανική περίπτωση, ο χειριστής μόνο εισάγει στις μεθόδους αυτό-οργάνωσης έναν αριθμό από πολιτικές, π.χ. τον επιθυμητό βαθμό ισορροπίας μεταξύ ίασης και αλληλεπικαλυπτόμενης κάλυψης, χωρητικότητας, ποιότητας και κόστους. Με την σειρά τους οι μέθοδοι της αυτό-οργάνωσης τροφοδοτούν τον χειριστή με

1. έγκαιρες ειδοποιήσεις για διεύρυνση της χωρητικότητας (δημιουργία νέων κυψελών, προτάσεις για νέες τοποθεσίες ή για άλλα θέματα που αφορούν το υλικό π.χ. νέες κάρτες, ισχυρότερους ενισχυτές ή μηχανική ρύθμιση της κλίσης (tilt) των κεραιών (εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι η κλίση του λοβού των κεραιών ρυθμίζεται και ηλεκτρικά)
2. Άμεσους συναγερμούς (alarms) σε περίπτωση βλάβης ενός στοιχείου του δικτύου.

2.4 Τα οφέλη από την λειτουργία του SON

Το κλειδί που δίνει το πλεονέκτημα για την χρήση της τεχνολογίας SON στα ασύρματα δίκτυα πρόσβασης είναι η μείωση των CAPEX/OPEX και η βελτίωση της απόδοσης του δικτύου. Οι αρχικές μειώσεις στο OPEX θα προέλθουν από την μείωση τις ανθρώπινης παρέμβασης στον έλεγχο, τον σχεδιασμό και την βελτιστοποίηση. Για παράδειγμα, έως τώρα για να διαπιστώσουμε την κατάσταση του δικτύου από πλευράς απόδοσης ήμασταν αναγκασμένοι να κάνουμε συχνούς χειροκίνητους ελέγχους.

Αυτή η επίπονη διαδικασία μπορεί να αντικατασταθεί από μετρήσεις τις οποίες πραγματοποιούνται είτε από τους σταθμούς βάσης (eNodeB), είτε από το τερματικό του χρήστη (UE).

Η πραγματοποίηση των μετρήσεων από το τερματικό εξοπλισμό του χρήστη έχει ένα επιπλέον πλεονέκτημα, του ότι οι μετρήσεις πραγματοποιούνται από επιπρόσθετες τοποθεσίες όπως για παράδειγμα μέσα στα κτίρια.

Η χειρονακτική εργασία που χρειάζεται στον σχεδιασμό, την διαμόρφωση, την παρακολούθηση και την βελτιστοποίηση ενός δικτύου είναι πάρα πολύ μεγάλη και εξαρτάται από το μέγεθος του δικτύου και την αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών τύπων και τεχνολογιών των δικτύων. Η εφαρμογή των λειτουργιών του SON μειώνει σημαντικά αυτή την χειρονακτική εργασία.

Η έλευση νέων τεχνολογιών όπως το femto-cells και η ευρεία ανάπτυξη τους ώστε να απομακρυνθεί σημαντική ποσότητα τηλεπικοινωνιακής κίνησης από το ακριβό επίπεδο δικτύου των μακρό-κυψελών έχει ως αποτέλεσμα έναν μεγάλο αριθμό από στοιχεία δικτύου τα οποία με την σειρά τους απαιτούν την επίλυση θεμάτων ενοποίησης με το επίπεδο των μακρό-κυψελών (με την έννοια της αυτό-οργάνωσης ενός σύνθετου δικτύου).

Όσο ν' αφορά την επίβλεψη του δικτύου (monitoring), εάν ένα δίκτυο ή μία κυψέλη δεν έχει την επιθυμητή απόδοση, θα χρειαστεί αρκετή χειρονακτική εργασία από τον διαχειριστή του δικτύου για την επίλυση του προβλήματος. Για να έχουμε μία καλύτερη εικόνα του πόσο σημαντική είναι η αυτό-οργάνωση στα δίκτυα (SON) αρκεί να αναφέρουμε ότι το 25% [1] του OPEX σχετίζεται με τα κόστη για την λειτουργία και την συντήρηση ενός δικτύου (με το υπόλοιπο 75% να αφορά κόστη σε μάρκετινγκ, πωλήσεις, διασυνδέσεις κ.α.). Για παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε ότι για έναν πάροχο όπως η Vodaphone UK αυτό το κόστος (λειτουργίας και συντήρησης) ανέρχεται στα €1250 εκατομμύρια [6].

Πέρα από το σημαντικό πλεονέκτημα της μείωσης του OPEX, η εφαρμογή της αυτό-οργάνωσης βελτιώνει την απόδοση του δικτύου και την εμπειρία που αποκομίζει ο χρήστης σχετικά με την παρεχόμενη ποιότητα της υπηρεσίας με καλύτερη και γρηγορότερη προσαρμογή του δικτύου σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και απαιτήσεις. Όπως θα φανεί σε παρακάτω σχήμα η χρήση τεχνολογίας SON (παρά του ότι τα στοιχεία του δικτύου ενός δικτύου SON είναι πιο ακριβά) επιφέρει μείωση του CAPEX.

Για παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε ότι με την βελτιστοποίηση των παραμέτρων των ράδιο-πόρων σε συνάρτηση με την πραγματική κίνηση, την κινητικότητα και τις συνθήκες διάδοσης, η χωρητικότητα του δικτύου μεγιστοποιείται και ένας βέλτιστος αριθμός συνδέσεων

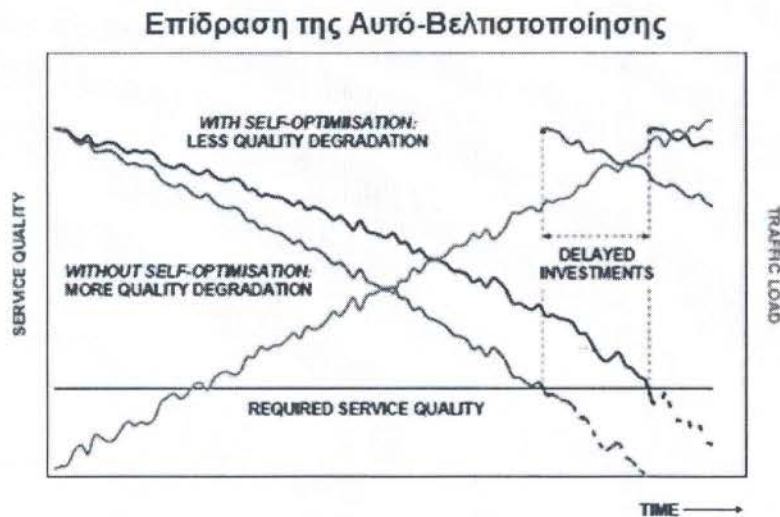
(κλήσεων) μπορεί να εξυπηρετηθεί σε ένα επιθυμητό επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας.

Όσον αφορά την παρεχόμενη κάλυψη, είναι παραδοσιακά δύσκολο για τους παρόχους να παρέχουν επαρκή κάλυψη για τις εφαρμογές που χρειάζονται υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, σε εσωτερικές θέσεις όπως το σπίτι και τα γραφεία. Επιπλέον, η χρήση της λειτουργίας της αυτό-διαμόρφωσης, επιτρέπει στους παρόχους να εγκαταστήσουν νέες (femto/micro /macro) κυψέλες και τεχνολογικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα, γρήγορα επιταχύνοντας έτσι τις αναβαθμίσεις και τις επεκτάσεις, ενώ ταυτόχρονα εξασφαλίζουν την αξιοπιστία των δικτύων.

Το σχήμα 7 παρουσιάζει την αύξηση της απόδοσης που οφείλεται στην αυτό-βελτιστοποίηση:

Δεδομένου ότι το φορτίο κίνησης αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου, ένα δίκτυο που εφαρμόζει τεχνικές αυτό-βελτιστοποίησης κατορθώνει να παραδώσει την καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών, σε σύγκριση με ένα δίκτυο που δεν χρησιμοποιεί την αυτό-βελτιστοποίηση.

Δεδομένου ενός ελάχιστου ορίου στην ποιότητα υπηρεσιών που απολαμβάνει ο χρήστης, η χρήση της αυτό-βελτιστοποίησης επιτρέπει σε μία καθυστερημένη επέκταση ενός δικτύου (που υστερεί σε πόρους σε κάποια σημεία) να εμφανίζει επιπρόσθετη χωρητικότητα δικτύου (π.χ. σε πρόσθετες περιοχές), το οποίο με την σειρά του επιφέρει αποτελεσματική μείωση CAPEX.

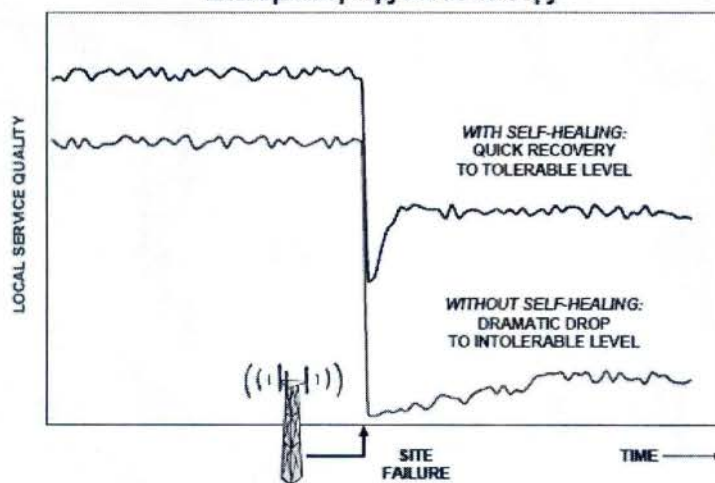


Σχήμα 7. Επίδραση της Αυτό-Βελτιστοποίησης. – Οι επενδύσεις μπορούν να μειωθούν λόγω της αυτό-βελτιστοποίησης [18]

Στο σχήμα 8 παρουσιάζεται το κέρδος απόδοσης του δικτύου με την χρήση Αυτό-Ίασης: Σε περίπτωση π.χ. αποτυχίας μιας κυψέλης, οι περιβάλλουσες κυψέλες προσδιορίζουν γρήγορα αυτήν την αποτυχία και ρυθμίζουν τις ράδιο παραμέτρους τους προκειμένου να περιορίσουν την

τοπική υποβάθμιση της απόδοσης που αντιλαμβάνεται ο χρήστης. Συγχρόνως, μια ενημέρωση παράγεται αυτόματα για να ζητήσει τις χειρωνακτικές εργασίες για την αποκατάσταση της βλάβης στην κυψέλη.

Επίδραση της Αυτό-Ίασης



Σχήμα 8. Επίδραση της Αυτό-Ίασης – Μια γρήγορη επανάκτηση του επιθυμητού επίπεδου της παρεχόμενης υπηρεσίας μπορεί να επιτευχθεί με την βοήθεια της αυτό ίασης [18]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο:

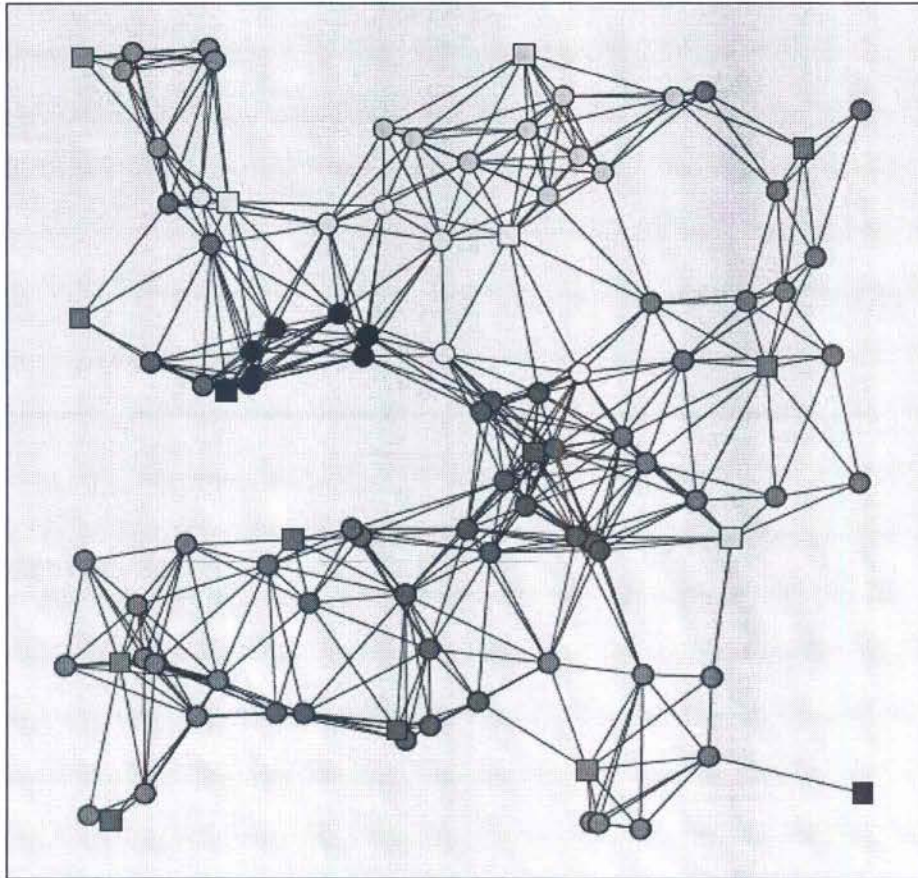
Παραδείγματα Σχεδιασμού αυτό-οργανούμενων λειτουργιών

3.1 Κανόνας σχεδίασης τοπικών κανόνων συμπεριφοράς οι οποίοι επηρεάζουν καθολικές ιδιότητες (Global Properties) (#1)

Ας θεωρήσουμε ότι θέλουμε να σχεδιάσουμε μια δικτυακή λειτουργία, η οποία θα εγκαθιστά μια καθολική (global) ιδιότητα, όπως μοναδικές διευθύνσεις ή συνδεσιμότητα. Η κεντριοποιημένη λύση είναι να αναθέσει κανείς σε μια οντότητα του δικτύου την ευθύνη για να εγκαταστήσει αυτή ιδιότητα. Το πρότυπο της αυτό-οργάνωσης ωστόσο κατανέμει την ευθύνη αυτή σε πολλές διαφορετικές οντότητες: δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη οντότητα, η οποία να είναι υπεύθυνη για την συνολική οργάνωση του δικτύου, αλλά πολλές ξεχωριστές οντότητες που συνεισφέρουν σε μια συλλογική συμπεριφορά. Ακολουθώντας αυτόν τον κανόνα, πρέπει να σχεδιάσουμε τοπικούς κανόνες συμπεριφορών, οι οποίοι όταν εφαρμοστούν από όλες τις οντότητες, οδηγούν αυτόματα στην επιθυμητή καθολική ιδιότητα (ή τουλάχιστον να την προσεγγίζουν).

Μια περιοχή στην οποία ένα σύνολο τοπικών συμπεριφορών οδηγεί στην ανάδειξη καθολικών ιδιοτήτων είναι η διαδικασία της συσταδοποίησης (clustering). Ο στόχος είναι να διαμοιράσουμε το δίκτυο σε συστάδες (clusters) από κόμβους. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 9, μια επιθυμητή καθολική ιδιότητα μπορεί να περιγραφεί ως εξής: κάθε κόμβος ανήκει σε μία συστάδα (cluster), κάθε συστάδα (cluster) έχει έναν επικεφαλής κόμβο (cluster head) και κάθε κόμβος βρίσκεται το πολύ h βήματα μακριά από τον επικεφαλής (cluster head) κόμβο του ($h=1$).

Ο επικεφαλής κόμβος είναι υπεύθυνος για συγκεκριμένες εργασίες. Το πρόβλημα είναι να οριστούν συστάδες, οι οποίες να έχουν καθαρά τοπική επικοινωνία και χωρίς κεντρικό έλεγχο. Με τη χρήση του αλγορίθμου του Basagni [23] οι τοπικές συμπεριφορές ορίζονται ως εξής. Ένας κόμβος αποφασίζει αν θα συμμετάσχει σε μία συστάδα (στην περίπτωση που υπάρχει ήδη ένας γειτονικός επικεφαλής κόμβος), αλλιώς αποφασίζει να γίνει ο ίδιος επικεφαλής κόμβος (clusterhead). Αφού λάβει την απόφαση, ο κόμβος ενημερώνει όλους τους γείτονες του για το ρόλο του.



Σχήμα 9. Συσταδοποίηση (clustering) ενός δικτύου με χρήση του αλγόριθμου Basagni. Οι κύκλοι αντιπροσωπεύουν συνηθισμένους κόμβους (nodes) , τα τετράγωνα την κεφαλή μιας συστάδας (clusterhead). Κόμβοι με το ίδιο χρώμα ανήκουν στην ίδια συστάδα (cluster) [2]

Σε αρκετές περιπτώσεις δεν είναι δυνατόν να μειώσουμε την καθολική ιδιότητα σε μια και μόνο τοπική. Για τις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούμε τη λογική του «διαίρε και βασίλευε» : η πληροφορία συγκεντρώνεται τοπικά, συναθροίζεται και ανταλλάσσεται μεταξύ άλλων κόμβων. Η πληροφορία που είναι διαθέσιμη τοπικά μπορεί να συναθροιστεί με τρόπο τέτοιο που δεν απαιτείται ολοκληρωτική γνώση του δικτύου για να υπολογιστεί η λύση για το δίκτυο συνολικά. Μια τέτοια αρχή συνάθροισης εφαρμόζεται στα πρωτόκολλα δρομολόγησης διανύσματος απόστασης (distance vector routing) όπως είναι το RIP (Routing Information Protocol).

Αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι η τοπικότητα που αναφέρουμε σημαίνει ταυτόχρονα και ότι οι αλλαγές στο δίκτυο έχουν αρχικά μόνο τοπικές συνέπειες. Από τη μια πλευρά, αυτό βοηθά το δίκτυο να είναι σταθερό και εύρωστο στις αλλαγές και στα σφάλματα. Ωστόσο, οι τοπικές αποφάσεις μπορεί να οδηγήσουν σε κάποιες

ανακολουθίες , οι οποίες θα επηρεάσουν την κατάσταση του δικτύου. Αυτό το θέμα μας οδηγεί στο σχεδιασμό ενός δεύτερου κανόνα-προτύπου για τα αυτό-οργανωμένα δίκτυα: να μπορούν να ανεχτούν και να χειριστούν τα ενδεχόμενα ατελούς συντονισμού.

3.2 Μη πλήρης συντονισμός (Κανόνας #2)

Σε κάθε τύπο συστήματος επικοινωνιών οι κόμβοι μοιράζονται πόρους, όπως για παράδειγμα το εύρος ζώνης και οι διευθύνσεις. Για να εξασφαλιστεί η αποδοτική και η δίκαια πρόσβαση σε αυτούς τους πόρους, πρέπει οι κόμβοι να συντονίζονται με κάποιον τρόπο. Μια λύση είναι να αποφευχθούν οι συγκρούσεις και οι ασυνέπειες μεταξύ των κόμβων. Για παράδειγμα θα μπορούσαμε να εκχωρήσουμε ραδιοπόρους σε έναν συγκεκριμένο χρήστη για τη διάρκεια της κλήσης του. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη λογική του ρητού συντονισμού (explicit coordination), σύμφωνα με τον οποίο ανταλλάσσονται μηνύματα σηματοδοσίας με τρόπο τύπου «αίτηση-απάντηση» (request-response). Αυτός ο τρόπος συντονισμού χρησιμοποιείται στα κεντρικοποιημένα συστήματα, όπως για παράδειγμα στα κυβελωτά συστήματα επικοινωνιών (μηνύματα σηματοδοσίας, βάσεις δεδομένων διευθύνσεων, κ.α.).

Μια τέτοια λογική, της εκ των προτέρων αποφυγής των συγκρούσεων και χρήση ειδικής γι' αυτό το σκοπό σηματοδοσίας, μπορεί να οδηγήσει σε πολύ σημαντική αύξηση του φορτίου, του δικτύου, εάν το δίκτυο αυτό είναι δυναμικό και ασύγχρονο. Εδώ, η ιδέα είναι να μπορέσουμε να ανεχθούμε τις πιθανές συγκρούσεις, αν και εφόσον αυτές είναι δυνατό να διαχειριστούν με κάποιον πολύ στενά ορισμένο τρόπο (π.χ. οι συγκρούσεις να γίνονται αποδεκτές μόνο αν βρίσκονται σε τοπικό επίπεδο περιορισμένες χρονικά, ή είναι εύκολα ανιχνεύσιμες και επιλύσιμες κ.α.). Ένα πολύ γνωστό τέτοιο παράδειγμα μπορεί να δει κανείς σε τοπικά δίκτυα πολλαπλής πρόσβασης με επαίσθητη φέρουσα και ανίχνευση σύγκρουσης (CSMA/CD). Επεκτείνοντας αυτή την προσέγγιση, μπορεί αξιοποιηθεί και η λογική του αφανούς συντονισμού (implicit coordination). Με την έννοια του αφανούς συντονισμού αναφερόμαστε σε έναν συντονισμό στον οποίο οι πληροφορίες που απαιτούνται για τον συντονισμό των διαφόρων οντοτήτων δεν μεταφέρονται αποκλειστικά με τη βοήθεια των μηνυμάτων σηματοδοσίας, αλλά συνάγονται με τη βοήθεια του τοπικού περιβάλλοντος. Ένας κόμβος παρατηρεί τους άλλους κόμβους της γειτονιάς του: βασισμένος σε αυτές τις παρατηρήσεις, καταλήγει σε κάποια συμπεράσματα για την κατάσταση του δικτύου και αντιδρά με ανάλογο τρόπο. Γενικότερα, ο αφανής συντονισμός σημαίνει ότι οι κόμβοι ανιχνεύουν και αναλύουν τα μηνύματα επικοινωνίας που

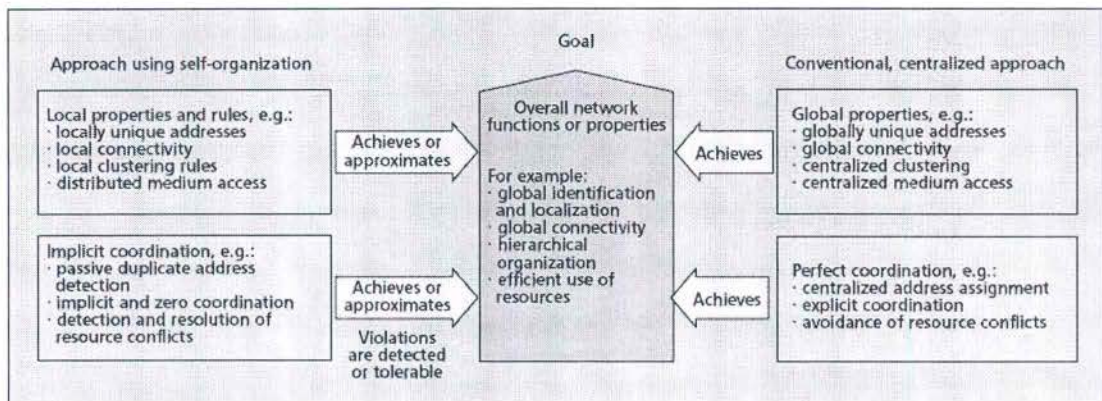
ανταλλάσσονται στην εγγύς γειτονιά του με ανάλογο τρόπο. Θα μπορούσαν για παράδειγμα να παρατηρούν χρονικές περιοδικότητες ή κάποια άλλα χαρακτηριστικά κίνησης των υπολοίπων κόμβων και στη συνέχεια να προσαρμόζει τη δική του κίνηση σε σχέση με τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων. Μια ακραία μορφή του αφανούς συντονισμού είναι και η λογική του μηδενικού συντονισμού, βάσει της οποίας αποφεύγεται τελείως ο συντονισμός μεταξύ των κόμβων. Για να διευκρινιστεί αυτή η λογική ας θεωρήσουμε το παρακάτω σενάριο πρόσβαση μέσου.

Αν κάθε κόμβος μεταδίδει χωρίς κανέναν συντονισμό με τους υπολοίπους, η επικοινωνία θα λειτουργεί άψογα μέχρι να γίνει προσπάθεια μετάδοσης μέσω του ίδιου καναλιού από δύο κόμβους ταυτόχρονα. Τότε πραγματοποιείται μια σύγκρουση πόρων, η οποία και απαιτεί τη χρήση κάποιου μηχανισμού για την επίλυση της. Ο μηχανισμός αυτός μπορεί να επιτευχθεί με την απλή εφαρμογή της λογικής της τυχαιοποίησης (randomization) και με τη βοήθεια χρονομετρητών. Κάθε κόμβος αναμένει για ένα συγκεκριμένο τυχαίο χρόνο ή μετάγεται σε ένα διαφορετικό, τυχαία επιλεγμένο κανάλι και στη συνέχεια πραγματοποιεί προσπάθεια επαναμετάδοσης. Η λογική aloha είναι απλή και αποδοτική για καταστάσεις με χαμηλό και μέσο φορτίο κίνησης. Στην πραγματικότητα, πολλά αυτο-οργανωμένα δίκτυα στη φύση χρησιμοποιούν αυτή την προσέγγιση της τυχαιοποίησης για να γίνει αρχικοποίηση των συστημάτων ή ακόμα για την επαναφορά από σφάλματα ή από αδιέξοδα.

Με λίγα λόγια, προτείνεται η χρήση του αφανούς συντονισμού, ο οποίος μαζί και με την αρωγή της ανίχνευσης σύγκρουσης αλλά και μεθόδων επίλυσης, μπορούν να επιτύχουν έναν αποδοτικό συντονισμό στα αυτό-οργανωμένα δίκτυα, τόσο σε επίπεδο πόρων όσο και χρόνου. Σε αντίθεση με τον πλήρη έλεγχο, οι μέθοδοι του τύπου που προτείνονται μπορούν να υλοποιηθούν εύκολα με τοπικό τρόπο.

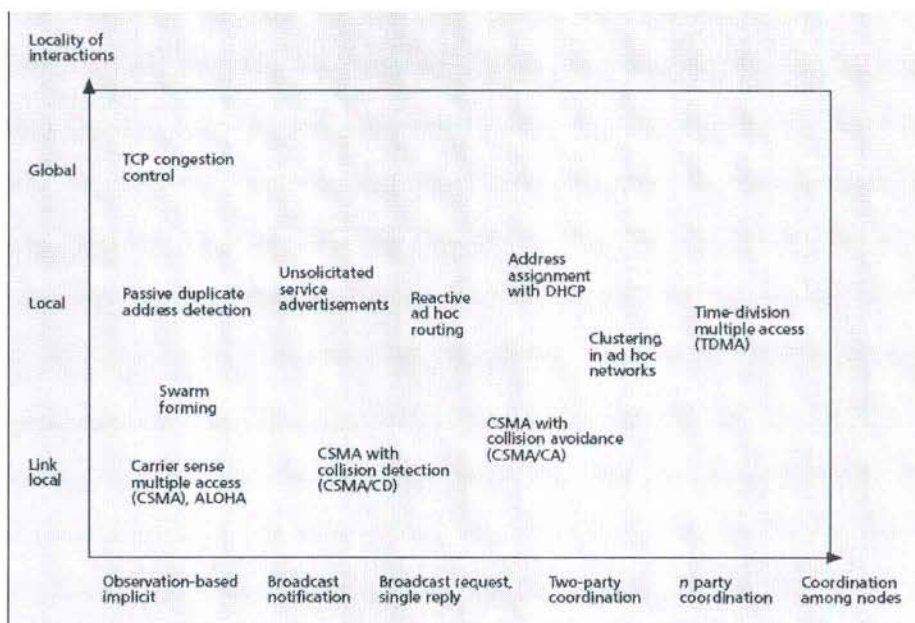
3.3 Συσχετισμός των πρώτων δύο κανόνων

Πριν προχωρήσουμε στην ανάλυση του τρίτου κανόνα, ας προσπαθήσουμε να συσχετίσουμε τους δύο πρώτους κανόνες (Σχήμα 10).



Σχήμα 10. Σύγκριση ενός αυτό-οργανομένου με ένα συμβατικό δίκτυο [2]

Όπως είναι προφανές, ο στόχος ενός δικτύου επικοινωνιών είναι να επιτευχθεί μια αποδοτική επικοινωνία ανάμεσα στις οντότητες του. Κάτι τέτοιο απαιτεί έναν αριθμό δικτυακών λειτουργιών και ιδιοτήτων, όπως η καθολική αναγνώριση (global identification) και ο καθολικός εντοπισμός (global localization) των οντοτήτων, η καθολική συνδεσιμότητα, μια ιεραρχική δομή δικτύου, μια αποδοτική χρήση των πόρων, κ.α.



Σχήμα 11. Ταξινόμηση των πρωτοκόλλων ανάλογα με το επίπεδο εφαρμογής (τοπικό –γενικό) και του επιπέδου συγχρονισμού μεταξύ των κόμβων [2]

Στα συμβατικά τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, αυτές οι λειτουργίες επιτυγχάνονται με τη χρήση καθολικών (global) κανόνων και με πλήρη συντονισμό. Παρ' όλα αυτά οι ίδιες δικτυακές λειτουργίες είναι δυνατόν

να επιτευχθούν ή έστω να προσεγγιστούν με κάποιο αυτό-οργανωτικό τρόπο, χρησιμοποιώντας τους δύο κανόνες που αναφέρθηκαν παραπάνω, δηλαδή τους τοπικούς κανόνες (local rules) και τον αφανή συντονισμό (implicit coordination). Στο σχήμα 11 έχουμε τοποθετήσει διαφορετικά πρωτόκολλα σε ένα δυσδιάστατο γράφημα, του οποίου οι άξονες απεικονίζουν το επίπεδο της τοπικότητας αλλά και το βαθμό του συντονισμού ανάμεσα στους κόμβους τους.

3.4. Ελαχιστοποίηση της πληροφορίας κατάστασης που διατηρείται για μεγάλο διάστημα (Κανόνας #3)

Ο τρίτος κανόνας σχεδιασμού σχετίζεται με την κατάσταση του δικτύου. Πολλές τεχνολογίες δικτύων απαιτούν από τους κόμβους και τις συσκευές τους να διατηρούν για μεγάλες χρονικές περιόδους πληροφορίες που έχουν να κάνουν με την κατάσταση του δικτύου. Για παράδειγμα, κάθε συσκευή σε ένα κυψελωτό δίκτυο πρέπει να αποθηκεύει τις διευθύνσεις των αποκλειστικών (dedicated) οντοτήτων του δικτύου. Η πληροφορία αυτή πρέπει να εισαχθεί χειροκίνητα είτε από το χρήστη, είτε από το διαχειριστή. Εκτός από αυτή την κατάσταση παραμετροποίησης (διαμόρφωσης), η οποία είναι διαφορετική για την κάθε συσκευή, υπάρχει πολλές φορές και η ανάγκη να κρατηθεί και η κατάσταση συγχρονισμού (ανανέωση δεδομένων), κάτι που σημαίνει ότι κάποιο ποσοστό πληροφορίας πρέπει να αποθηκεύεται συνεχώς σε κάποιους κόμβους ή σε κάποιες συσκευές. Τέτοια παραδείγματα αποτελούν οι πίνακες δρομολόγησης και τα δεδομένα ασφαλείας αντίστοιχα. Το να διατηρηθούν με τόση επιμονή αυτά τα στοιχεία είναι δύσκολο σε δυναμικά περιβάλλοντα δικτύων, κυρίως δε αν οι κόμβοι αποσυνδέονται συχνά. Πολύ συχνά κάποια κεντρικοποιημένα οντότητα πρέπει να δώσει την επιβεβαίωση ότι αυτή η κατάσταση είναι ενημερωμένη.

Για να επιτύχουμε ένα υψηλότερο επίπεδο αυτό-οργάνωσης, πρέπει να ελαχιστοποιήσουμε την ποσότητα της πληροφορίας που κρατείται για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Μια προσέγγιση είναι να γίνει εφαρμογή μηχανισμών ανακάλυψης (discovery mechanisms), τους οποίους μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι κόμβοι ώστε να αποκτήσουν την πληροφορία για μια συγκεκριμένη οντότητα ή συσκευή του δικτύου. Εδώ μπορεί να γίνει και ένας διαχωρισμός ανάμεσα στην reactive (on-demand²) και στην προληπτική (proactive) ανακάλυψη. Στην περίπτωση της on-demand «ανακάλυψης» ένας κόμβος αποστέλλει ένα μήνυμα τύπου query μέσω multicast ή broadcast. Εάν η οντότητα αυτή που αναζητείται λάβει αυτό το μήνυμα

² On-demand: Ενεργοποίηση μηχανισμού ανακάλυψης όποτε το ζητήσουμε.

απάντα πίσω με unicast τρόπο. Αντίστοιχα, στην περίπτωση της προληπτικής ανακάλυψης, οντότητες αποκλειστικά επιφορτισμένες με αυτή τη λειτουργία αποστέλλουν ανεπίκλητα διαφημίσεις (advertisements) με τις οποίες ανακοινώνουν την παρουσία τους. Εάν ο κόμβος λάβει ένα τέτοιο μήνυμα ενημερώνεται για την ύπαρξη, τη διεύθυνση και τον τύπο της υπηρεσίας που προσφέρεται. Παρόλο, που η κατάσταση αυτή διατηρείται σε μια τέτοιου τρόπου προσέγγιση, δεν κρατείται για μεγάλα χρονικά διαστήματα αφού ανανεώνεται συχνά. Έτσι το δίκτυο γίνεται πιο προσαρμόσιμο και εύρωστο στα σφάλματα και στις αλλαγές των οντοτήτων του. Επιπλέον, μειώνουμε τις εικασίες που κάνουμε για άλλους κόμβους του δικτύου, το οποίο με τη σειρά του απομακρύνει τις εξαρτήσεις ανάμεσα σε διαφορετικούς κόμβους.

Η ποσότητα της πληροφορίας κατάστασης που διατηρείται σχετίζεται άμεσα και με τους δύο παραπάνω κανόνες που περιγράφηκαν. Γενικότερα, θα μπορούσαμε να πούμε ότι όσο πιο τοπικές είναι οι αλληλεπιδράσεις και λιγότερος ο συντονισμός, τόσο λιγότερη είναι και η πληροφορία κατάστασης που πρέπει να διατηρηθεί.

3.5 Σχεδίαση πρωτοκόλλων που προσαρμόζονται στις αλλαγές (Κανόνας #4)

Από τους κανόνες σχεδιασμού που έχουμε αναφέρει λείπει, ωστόσο, μια σημαντική δυνατότητα: η ικανότητα των κόμβων να αντιδρούν σε αλλαγές του δικτύου ή του περιβάλλοντος. Η ανάγκη για αυτού του είδους την προσαρμοστικότητα προέρχεται, από αλλαγές στους περιορισμούς των πόρων, από αλλαγές στις απαιτήσεις των χρηστών, ή ακόμα και από σφάλματα κόμβων. Εφ' όσον δεν υπάρχουν κεντροποιημένες οντότητες που θα μπορούσαν να ειδοποιήσουν τους κόμβους για τις αλλαγές, κάθε κόμβος πρέπει να επιτηρεί το τοπικό του περιβάλλον και να αντιδρά με ανάλογο τρόπο. Μπορούμε να ταξινομήσουμε την προσαρμοστικότητα σε τρία επίπεδα:

- **Επίπεδο 1:** Το πρωτόκολλο είναι έτσι σχεδιασμένο ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί σε αλλαγές όπως τα σφάλματα και η κινητικότητα. Παράδειγμα τέτοιου πρωτοκόλλου αποτελεί και ο αλγόριθμος συσταδοποίησης (clustering) προσαρμοστικός στην κινητικότητα του Basagni [23] που περιγράφηκε πιο πάνω.
- **Επίπεδο 2:** Το πρωτόκολλο είναι σχεδιασμένο να προσαρμόζει τις δικές του παραμέτρους (τιμές χρονομετρητών, μέγεθος cluster) ως αντίδραση στις αλλαγές, έτσι ώστε να βελτιστοποιήσει την

απόδοση του συστήματος. Παράδειγμα τέτοιου πρωτοκόλλου είναι ο αλγόριθμος συσταδοποίησης του McDonald³ [24]

- **Επίπεδο 3:** Το πρωτόκολλο σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο που οι αλλαγές είναι τόσο σοβαρές που ο μηχανισμός που υπάρχει εκείνη τη στιγμή δεν είναι πια ο κατάλληλος. Για παράδειγμα, η δυναμικότητα ενός δικτύου μπορεί να είναι τόσο υψηλή που ο αλγόριθμος συσταδοποίησης δεν μπορεί πια να συγκλίνει. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να αλλάξει τη δρομολόγηση του από ιεραρχική βασισμένη σε συστάδες (Clusters), σε πλημμυρίδα (flooding). Για να γίνει ανίχνευση τέτοιων καταστάσεων πρέπει να υπάρχει παρατήρηση σε όλο το περιβάλλον και σημαντικές αλλαγές σε βασικές παραμέτρους να πυροδοτούν μια επαναφορά ή μια άλλη εναλλακτική λύση.

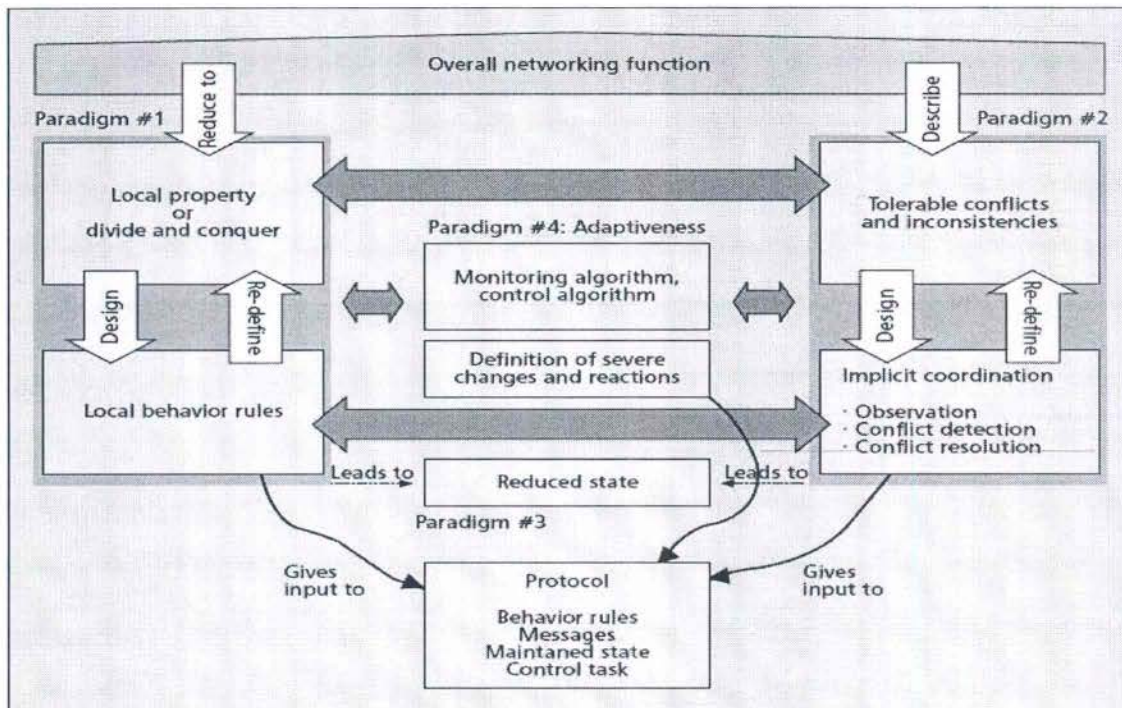
Τυπικά, αυτά τα επίπεδα της προσαρμοστικότητας συνδυάζονται με τη βοήθεια της χρήσης ελέγχου βρόγχου (loop). Ένα παράδειγμα που καλύπτει δύο επίπεδα προσαρμοστικότητας ταυτόχρονα είναι το TCP. Προσαρμόζει παράθυρα μετάδοσης και εξωχρονισμούς (timeouts) με βάση το χρόνο μιας πλήρους διαδρομής και με βάση την επιτυχία παράδοσης τους. Αντιδρά πιο δραστικά σε διαδοχικές απώλειες πακέτων και σταματά την μετάδοση τελείως για κάποια χρονική περίοδο. Η βάση που στηρίζεται αυτή η αντίδραση είναι το γεγονός ότι η απώλεια πακέτων ουσιαστικά σημαίνει συμφόρηση του δικτύου και η συνέχιση της αποστολής θα επιβαρύνει την κατάσταση. Μετά το πέρας του εξωχρονισμού, συνεχίζει την κανονική του λειτουργία.

3.6 Πως να σχεδιάσουμε μια self-organized λειτουργία (Συνδυάζοντας τους κανόνες που προαναφέρθηκαν)

Όσον αφορά την ανάπτυξη μιας λειτουργίας δικτύωσης, η οποία πρέπει να έχει ένα υψηλό βαθμό αυτό-οργάνωσης, θα ήταν ιδανικό αν μπορούσαμε να έχουμε στη διάθεση μας μια μεθοδολογία που θα περιγράφει την ανάπτυξη του, βήμα προς βήμα. Σαφέστατα, είναι πολύ δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να καθορίσουμε με λεπτομέρεια μια σχεδιαστική διαδικασία, η οποία να περιλαμβάνει όλου του ευρέως φάσματος τις αυτό-οργανωτικές λειτουργίες δικτύων. Στο σχήμα 12 παρουσιάζουμε την προτεινόμενη προσπάθεια για μια τέτοια διαδικασία. Για την ακρίβεια ενοποιούμε τους τέσσερις σχεδιαστικούς κανόνες που περιγράψαμε πιο πάνω και τις εφαρμόζουμε επαναληπτικά με σκοπό να δημιουργήσουμε ένα πρωτόκολλο που να υλοποιεί μια αυτό-οργανωτική

³ McDonald's – Ο αλγόριθμος αυτός προσαρμόζει το μέγεθος της συστάδας (cluster) σαν μια λειτουργία του επιπέδου παρατήρησης της κινητικότητας μέσα στο δίκτυο

λειτουργία. Οι επόμενες παράγραφοι εξηγούν αυτή τη διαδικασία και την παρουσιάζουν για την ανάπτυξη συσταδοποίησης (Clustering).



Σχήμα 12. Μια διαδικασία σχεδιασμού για μία λειτουργία ενός αυτό-οργανωμένου δικτύου [2]

Η διαδικασία σχεδιασμού του πρωτοκόλλου ξεκινά περιγράφοντας την λειτουργία δικτύου που επιθυμούμε να επιτύχουμε. Στην συνέχεια εφαρμόζουμε τον κανόνα #1 ή τον κανόνα #2. Σύμφωνα με τον κανόνα #1, εκφράζουμε τη συνολική λειτουργία όσον αφορά την τοπική της ιδιότητα ή μέσω της μεθόδου «διαίρε και βασίλευε». Με τη βοήθεια αυτής της έκφρασης, σχεδιάζουμε ένα κανόνα τοπικής συμπεριφοράς για κάθε κόμβο. Σύμφωνα με τον κανόνα #2, ορίζουμε ένα μέτρο συγκρούσεων και ανακολουθιών, οι οποίες μπορούν να γίνουν ανεκτές. Βάσει αυτού, σχεδιάζουμε μια μέθοδο αφανούς συντονισμού, ο οποίος πρέπει να περιλαμβάνει μεθόδους για την παρατήρηση του περιβάλλοντος, την ανίχνευση των συγκρούσεων και την επίλυση τους. Είναι πιθανό αυτοί οι δύο κανόνες να σχεδιαστούν ο ένας ανεξάρτητα του άλλου, αν και συνήθως απαιτείται ανταλλαγή δεδομένων και ένας αριθμός επαναλήψεων. Επίσης το θέμα για το ποιο βήμα της διαδικασίας θα προηγηθεί του άλλου εξαρτάται από το συγκεκριμένο πρόβλημα. Στο πρόβλημα του σχεδιασμού ενός σχήματος συστάδας, για παράδειγμα μπορούμε να ξεκινήσουμε με τον κανόνα #1: πρώτα βρίσκουμε μια τοπική ιδιότητα και τους κανόνες της συστάδας, όπως αυτοί δίνονται παραπάνω. Στη συνέχεια, εφαρμόζουμε τον κανόνα #2, καθορίζοντας τις ανεκτές συγκρούσεις που θα βελτιώσουν την δυναμική συμπεριφορά του

αλγόριθμου. Για παράδειγμα, μπορούμε να επιτρέψουμε χρονικές ανακολουθίες στα μέλη μιας συστάδας.

Τέλος, προσαρμόζουμε τις τοπικές ιδιότητες και κανόνες σύμφωνα με αυτές τις επιτρεπόμενες συγκρούσεις. Ένα παράδειγμα διαδικασίας στην οποία τα βήματα γίνονται με την ανάποδη σειρά είναι ο σχεδιασμός ενός ασύρματου μέσου πρόσβασης. Πρώτα καθορίζουμε τις ανεκτές συγκρούσεις (κανόνας #2) και στη συνέχεια περιγράφουμε τις τοπικές ιδιότητες και τους κανόνες για την ανίχνευση των συγκρούσεων και για την επίλυσή τους (κανόνας #1). Ο κανόνας #3, δηλαδή να ελαχιστοποιηθεί η πληροφορία κατάστασης που διατηρείται, δεν εφαρμόζεται άμεσα αλλά τυπικά αποτελεί τη συνέπεια από την εφαρμογή των δύο πρώτων κανόνων: η τοπικότητα μειώνει την καθολική συγχρονισμένη κατάσταση και ο μικρότερος συντονισμός μειώνει την πληροφορία κατάστασης που απαιτείται για έλεγχο. Στο σχήμα συστάδας που περιγράφηκε πιο πάνω, για παράδειγμα, οι κόμβοι θα μπορούσαν να διατηρούν πληροφορία κατάστασης μόνο για τους άμεσους γείτονές τους.

Για να κάνουμε δυνατή την προσαρμοστική συμπεριφορά (κανόνας #4), προτείνεται η ανάπτυξη αλγορίθμων παρακολούθησης και ελέγχου. Ο αλγόριθμος παρακολούθησης καθορίζει το πόσο συχνά θα γίνεται η παρατήρηση του περιβάλλοντος και ποιές παράμετροι θα χρησιμοποιηθούν ως είσοδος στον αλγόριθμο ελέγχου. Βάσει αυτής της εισόδου, ο αλγόριθμος ελέγχου προσαρμόζει συγκεκριμένες παραμέτρους πρωτοκόλλου. Σε αυτό το κομμάτι, λογικές από την κλασική θεωρία ελέγχου, όπως τα feedback loop και η υστέρηση θα μπορούσαν να εφαρμοστούν για να βελτιστοποιηθεί ο έλεγχος και να αποφευχθούν πολύ συχνές προσαρμογές. Σε ένα σενάριο δικτύου, η αλλαγή μιας παραμέτρου σε έναν κόμβο μπορεί να πυροδοτήσει με τη σειρά της προσαρμογές και σε άλλους κόμβους. Έτσι είναι ιδιαίτερος σημαντικό να εγγυηθεί κανείς ότι αυτή η προσωρινή συμπεριφορά του δικτύου θα είναι σταθερή και δεν είναι δυνατόν να συμβούν αδιέξοδα και άλλοι ακατάλληλοι τερματισμοί.

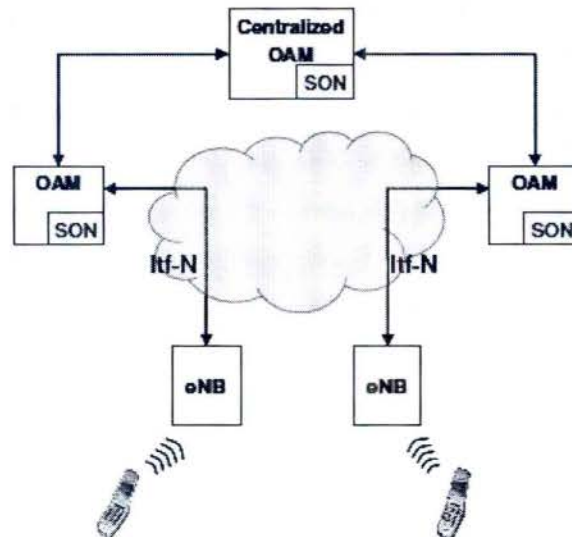
3.7 Οι Αρχιτεκτονικές του SON.

Η λειτουργίες (αλγόριθμοι) σε πραγματικό χρόνο μπορεί να υλοποιηθούν χρησιμοποιώντας αρχιτεκτονική centralized ή distributed ή ακόμα και υβριδική.

3.7.1 Συγκεντρωμένη (Centralized)

Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμός SON μπορεί να φιλοξενηθεί μέσα στο EMS/MNS ή Element Management System /Network

Management System ή σε ένα ξεχωριστό SON εξυπηρετητή ο οποίος ελέγχει τα eNBs (base stations).



Σχήμα 13. Παράδειγμα συγκεντρωμένης αρχιτεκτονικής του SON σε LTE [19]

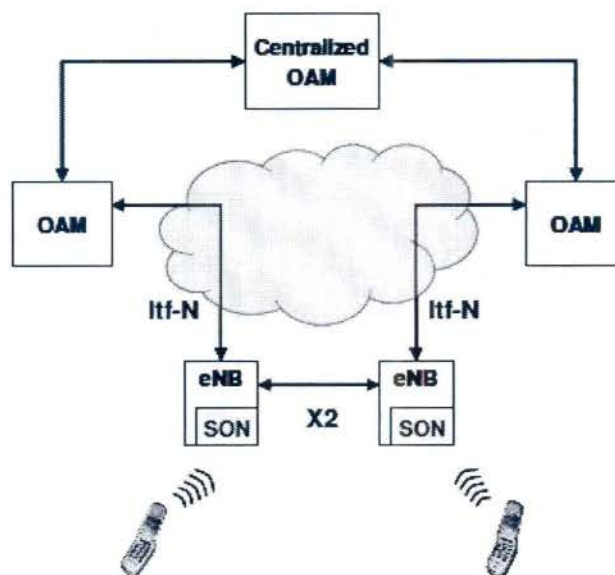
Μία προσέγγιση συγκεντρωμένης (Centralized) αρχιτεκτονικής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανάπτυξη λειτουργιών SON πραγματικού χρόνου, όπως Automatic Neighbour Relations και Automatic Physical Cell ID. Σε αυτή την προσέγγιση, το EMS/NMS είναι αυτό που παίρνει τις αποφάσεις στην λειτουργικότητα του SON σε πραγματικό χρόνο. Υπάρχουν όμως σημαντικά μειονεκτήματα σε αυτή την προσέγγιση:

1. εάν το NMS παρουσιάσει βλάβη τότε καμία επέκταση, αναπροσαρμογές των SON γειτόνων ή βελτιστοποίηση στο RF δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί. Καθώς το δίκτυο επεκτείνεται σε χιλιάδες eNBs αυτή η εργασία επιβαρύνει το NMS. Καθώς αυτός που παίρνει τις «αποφάσεις» είναι το NMS, τοπική σύγκλιση στα στοιχεία του δικτύου δεν είναι δυνατή και έτσι όλα τα δεδομένα θα πρέπει να προωθούνται στο NMS δημιουργώντας έτσι ριπές δεδομένων καθώς ο αλγόριθμος SON στα στοιχεία δικτύου συγκλίνει σε μια σταθερή κατάσταση.
2. Η λειτουργίες SON με βάση το NMS δημιουργούν προβλήματα ασυμβατότητας σε ένα δίκτυο του οποίου τα στοιχεία προέρχονται από διαφορετικούς κατασκευαστές (multi-vendor interoperability)

3. Εξαιτίας του όγκου των δεδομένων που φτάνουν στο NMS αλλά και της υπολογιστικής ισχύος που πρέπει να έχει αυτό για να τα επεξεργαστεί, το NMS δεν μπορεί να ακολουθήσει γρήγορα της αλλαγές στο SON δίκτυο, παρουσιάζοντας σημαντική υστέρηση στην υπερχρέωση του για αυτόματες αλλαγές στο SON.

3.7.2 Διανεμημένο (Distributed)

Σε αυτό τον σχεδιασμό του SON, ο αλγόριθμος μπορεί να φιλοξενηθεί μέσα σε ένα ή περισσότερα στοιχεία του δικτύου (eNBs).



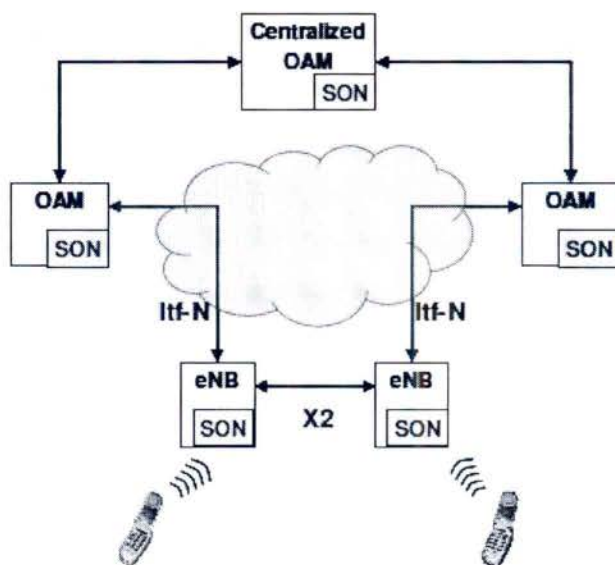
Σχήμα 14. Παράδειγμα διανεμημένης αρχιτεκτονικής του SON σε LTE [19]

Σε αυτή την προσέγγιση του SON, μας επιτρέπεται να χρησιμοποιούμε τις λειτουργίες του στα πιο απομακρυσμένα σημεία του δικτύου ακόμα και εάν ο αριθμός των eNBs αυξηθεί. Με αυτή την προσέγγιση τα eNBs είναι εφοδιασμένα με έξυπνες και ευφυή λειτουργικότητα SON σε μία αυτόνομη διεργασία λήψης αποφάσεων και μείωσης όσο ν' αφορά θέματα στην πολυπλοκότητα και του φορτίου του NMS. Επίσης, αυτή η αρχιτεκτονική (distributed), επιτρέπει «ανοιχτές» διεπαφές προς τα στοιχεία του δικτύου, με το να απομονώσει τις λειτουργίες πραγματικού χρόνου του SON μέσα σε ένα στοιχείο δικτύου. Αυτό με την σειρά του απλοποιεί την υλοποίηση ενός δικτύου SON (σε

μία μικρή γεωγραφική περιοχή) όπου τα στοιχεία του δικτύου θα προέρχονται από διαφορετικούς κατασκευαστές.

3.7.3 Υβριδική (Hybrid)

Σε αυτή την αρχιτεκτονική (όπως παρατηρούμε στο παρακάτω σχήμα 3.7.3) ο αλγόριθμος SON τοποθετείται εν μέρει στα στοιχεία δικτύου και εν μέρει στο NMS. Στην υβριδική αρχιτεκτονική, μέρος των αλγορίθμων βελτιστοποίησης (που απαιτούν μεγάλη υπολογιστική ισχύ) εκτελούνται στο NMS, ενώ άλλοι με μικρότερες απαιτήσεις εκτελούνται στα eNB.



Σχήμα 15. Παράδειγμα υβριδικής αρχιτεκτονικής SON σε LTE δίκτυο [19]

Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατόν να εκτελεί ο χειριστής του δικτύου πολύπλοκα σενάρια βελτιστοποίησης χωρίς να επιφορτίζει κάποιο σημείο του δικτύου. Η υποστήριξη της διεπαφής X2 δίνει την δυνατότητα σε συνεργασία υποδομής από διαφορετικούς κατασκευαστές. Από την άλλη πλευρά η υβριδική αρχιτεκτονική έχει ως μειονέκτημα το υψηλό κόστος των εργασιών ανάπτυξης της αρχιτεκτονικής και στην επέκτασης των διεπαφών [19].

Όλες οι παραπάνω υλοποιήσεις έχουν τα δικά τους πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και είναι στην επιλογή του διαχειριστή του δικτύου να διαλέξει την πιο κατάλληλη προσέγγιση με γνώμονα την σύμπραξη με την τρέχουσα υποδομή και το κόστος.

3.8 Σχεδιαστικές Προκλήσεις

Η αυτό-οργάνωση στα μελλοντικά κινητά ράδιο-δίκτυα είναι μία τεχνολογική πρόκληση. Αυτά τα δίκτυα είναι πολύπλοκα συστήματα με πλήθος από μηχανισμούς ελέγχου και παραμέτρους οι οποίες μεταβάλλονται σε κλίμακες από milliseconds μέχρι ημέρες. Ακόμα περισσότερο υπάρχουν περίπλοκες αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των μηχανισμών ελέγχου και των παραμέτρων καθώς και περιορισμοί στις μετρήσεις, την σηματοδότηση και την επεξεργασία. Η κατανόηση και ο έλεγχος αυτής της πολυπλοκότητας δημιουργεί ένα σύνολο από σχεδιαστικές προκλήσεις για αποτελεσματικές και αξιόπιστες λειτουργίες του SON:

3.8.1 Επινόηση τεχνικών για μετρήσεις και παρακολούθηση που θα χρησιμοποιηθούν σαν βάση για την αυτό-οργάνωση

Η μετρήσεις και η παρακολούθηση είναι από τις βασικές διεργασίες του αυτόματου και σε πραγματικό χρόνο ελέγχου. Για το σκοπό αυτό, θα πρέπει να καθορίσουμε ποία δεδομένα χρειαζόμαστε (και τα οποία θα πρέπει να τα συλλέξουμε) έτσι ώστε αυτά που θα συλλέξουμε να είναι τα απαραίτητα για την βελτιστοποίηση των SON μεθόδων (λειτουργιών) και από την άλλη συγκρατούν το κόστος σηματοδότησης όσο το δυνατόν πιο χαμηλό.

Μια σχετική ερευνητική πρόκληση είναι η βελτιστοποίηση του συχνοτικού φάσματος μέσα στο οποίο μεταφέρονται τα δεδομένα που συλλέγονται από διάφορες πηγές, καθώς και η σημασία των γεγονότων απόδοσης των συστημάτων, η οποία περιγράφεται από αυτά τα δεδομένα (π.χ διαφορετική προτεραιότητα θα πρέπει να δοθεί σε δεδομένα που προέρχονται από μία μείωση απόδοσης ενός κόμβου εξαιτίας κάποιου γεγονότος από δεδομένα που αφορούν ένα απλό συμβάν σε έναν κόμβο που δεν επηρεάζει την απόδοση του συστήματος).

3.8.2 Σχεδιασμός μεθόδων εκτίμησης της κατάστασης του δικτύου

Τα ασύρματα δίκτυα είναι περίπλοκα συστήματα στα οποία η ενημέρωση για την κατάσταση του δικτύου ανά πάσα στιγμή δεν είναι εύκολη διαδικασία. Η κατάλληλη επεξεργασία των συλλεχθέντων μετρήσεων καθώς επίσης ο αποδοτικός χειρισμός των λανθασμένων μετρήσεων είναι το κλειδί για την αξιόπιστη εκτίμηση της τρέχουσας κατάστασης του δικτύου.

3.8.3 Μεθοδολογίες που χειρίζονται προβλήματα που έχουν να κάνουν με καθυστερημένα, λανθασμένα ή ελλιπή πληροφορία ανατροφοδότησης (feedback)

Η Ανατροφοδότηση (που παρέχεται από τις μετρήσεις) από ένα δίκτυο για την λήψη των αποφάσεων δεν είναι άμεση, π.χ. υπάρχουν άγνωστες καθυστερήσεις από την στιγμή ενός συμβάντος μέχρι την παρατήρηση. Αυτές οι καθυστερήσεις επιδρούν στην αποδοτικότητα μιας διεργασίας αυτό-βελτιστοποίησης και γι' αυτό τον λόγο είναι αναγκαίο να το λαμβάνουμε υπόψη όταν σχεδιάζουμε αλγόριθμους βελτιστοποίησης. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω είναι απαραίτητο να διακρίνουμε τις επιδράσεις των αποφάσεων ελέγχου από εκείνες που προξενούνται από φυσικές αποκλίσεις όπως, η κίνηση, η φορητότητα και τα χαρακτηριστικά διάδοσης.

3.8.4 Αποτελεσματικότητα των μεθόδων Αυτό-Οργάνωσης

Ο σχεδιασμός αποτελεσματικών μεθόδων Αυτό-Βελτιστοποίησης/Ίασης εισάγει αρκετές προκλήσεις όπως τον έλεγχο πολλών μεταβλητών ταυτόχρονα, την συχνότητα και το μέγεθος των βημάτων ελέγχου. Λαμβάνοντας υπόψη τις περίπλοκες αλληλεξαρτήσεις των διαφόρων παραμέτρων του ράδιο-καναλιού (διαχείριση πόρων) και οι οποίες θα πρέπει να ρυθμιστούν, όχι μόνο η συχνότητα αλλά επίσης ο αμοιβαίος συγχρονισμός των ρυθμίσεων των παραμέτρων πρέπει να λαμβάνεται υπόψη έτσι ώστε να αποφεύγονται ανεπιθύμητες ταλαντώσεις στην παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας. Επίσης, πρέπει να καθοριστεί το σημείο μέσα στο δίκτυο, στο οποίο θα λαμβάνονται οι αποφάσεις ελέγχου (**centralised versus distributed control**).

3.8.5 Αξιοπιστία των μεθόδων Αυτό-Οργάνωσης

Οι αποφάσεις ελέγχου πρέπει να είναι αξιόπιστες εξαιτίας της ανθρώπινης αδυναμίας να ελέγχει όλη αυτή την πολυπλοκότητα και να παίρνει (ή να αναθεωρεί) τις αποφάσεις για την Αυτό-οργάνωση του δικτύου. Γι' αυτό τον λόγο οι σχεδιαστές βρίσκονται αντιμέτωποι με νέες απαιτήσεις για τις μεθόδους, τους αλγόριθμους και την ποιότητα των μοντέλων.

3.8.6 Διαμόρφωση της αρχιτεκτονικής του Δικτύου

Οι αλγόριθμοι Αυτό-Οργάνωσης θα πρέπει να συνεργάζονται (να υπάρχει συμβατότητα) τόσο με τα υπάρχοντα συστήματα όσο και με μελλοντικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει επίδραση στο σχεδιασμό των πρωτοκόλλων επικοινωνίας, τις διεπαφές και στην αρχιτεκτονική των δικτύων.

Διάφορες προσπάθειες λαμβάνουν χώρα, με αντικειμενικό στόχο να επιλύσουν τις παραπάνω προκλήσεις τόσο για τα τρέχοντα όσο και για τα μελλοντικά κινητά δίκτυα πρόσβασης. Σαν παράδειγμα είναι το έργο SOCRATES (Self-Optimisation and self-configuration in wireless networks) στο οποίο εμπλέκονται δύο μεγάλοι κατασκευαστές (Ericsson, Nokia Siemens Networks), και μία εταιρεία παροχής υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας (Vodafone) καθώς και αρκετοί Ευρωπαϊκά ερευνητικά ιδρύματα (Atesio, IBBT, Technical University of Braunschweig, TNO ICT).

Στο επόμενο κεφάλαιο θα δούμε αναλυτικά όλες τις τρέχουσες ερευνητικές δραστηριότητες καθώς επίσης και τις προσπάθειες τυποποίησης.

3.9 Προτεραιότητες από την πλευρά των χειριστών

Από την οπτική γωνία των χειριστών των τηλεπικοινωνιακών δικτύων, τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του SON θεωρούνται υψηλής προτεραιότητας ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του αρχικού σταδίου ανάπτυξης ενός νέου δικτύου. Αυτά είναι στα εξής:

- **Ο χρόνος εγκατάστασης του υλικού (HW) και του λογισμικού (SW) , και επικύρωσης του δικτύου:** με τη σημαντική μείωση OPEX μέσω της ελαχιστοποιημένης εργοστασιακής προ-διαμόρφωσης, του αριθμού των επισκέψεων στο σημείο εγκατάστασης και της χειρωνακτικής διαμόρφωσης.
- **Οι παράμετροι της ασύρματης διεπαφής:** μερικές λειτουργίες αυτό-διαμόρφωσης όπως ή αυτόματη σχέση γειτόνων (ANR), ο κατάλογος γειτονικών κυψελών (NCL), PhyCID, τα αρχικά RRM όρια, κ.α. Αυτά είναι σημαντικά για να πάρει το σύστημα λειτουργική μορφή με ελαχιστοποιημένο OPEX.
- **Βελτιστοποίηση των παραμέτρων της ασύρματης διεπαφής και ταυτόχρονη εξοικονόμηση ενέργειας:** βελτιστοποίηση της εκπεμπόμενης ισχύος (μείωση της παρεμβολής, εξοικονόμηση ενέργειας, βελτιστοποίηση της εκπεμπόμενης ισχύος, κλίσης των κεραιών), βελτιστοποίηση των διαπομπών (HO), εξισορρόπηση των φορτίων κίνησης, κάλυψη και βελτιστοποίηση χωρητικότητας, κ.α. Η βελτιστοποίηση της απόδοσης δικτύων με την ελάχιστη ανθρώπινη επέμβαση μειώνει το CAPEX και το OPEX.

3.10 Κριτήρια Βελτιστοποίησης

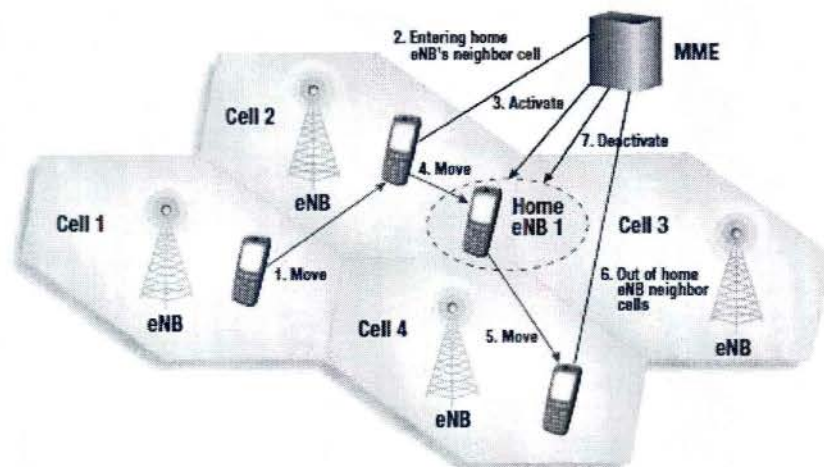
Με την χρήση του SON μπορούν αυτόματα να βελτιστοποιηθεί η απόδοση των σταθμών βάσης σε ολόκληρο δίκτυο με αποτέλεσμα την

καλύτερη εξυπηρέτηση των συνδρομητών. Υπάρχουν διάφορα κριτήρια τα οποία επηρεάζουν την απόδοση των σταθμών βάσης. Μπορούμε να θεωρήσουμε ένα σταθμό βάσης βελτιστοποιημένο όταν όλα αυτά τα κριτήρια απόδοσης βρίσκονται στον πιο αποδοτικό τους βαθμό, με την προϋπόθεση ότι έχουμε θέσει κάποιες απαιτήσεις όσο ν' αφορά τις «συγκρούσεις» (με τον όρο «συγκρούσεις» εννοούμε ότι δεν μπορείς π.χ. να αυξήσεις πολύ την ισχύ εκπομπής σε ένα σταθμό βάσης για να βελτιώσεις την κάλυψη γιατί αυτό θα αυξήσει την ομοδιαυλική παρεμβολή σε κυψέλες που χρησιμοποιούν το ίδιο φάσμα). Η βελτιστοποίηση λοιπόν είναι μια λεπτή ισορροπία μεταξύ αυτών των κριτηρίων.

3.10.1 Μείωση κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος

Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται στους σταθμούς βάσης αντιπροσωπεύει ένα μεγάλο μέρος των εξόδων λειτουργίας των παρέχων κάθε έτος. Π.χ., στη διάσκεψη του 2006, ο ευρωπαϊκός πάροχος Orange ανέφερε ότι η κατανάλωση ισχύος των σταθμών βάσης είχε αυξηθεί περίπου 75% της συνολικής κατανάλωσης ισχύος του δικτύου της. Με εξοπλισμό δικτύου που δεν υποστηρίζει υπηρεσίες 3G, ο μόνος τρόπος για να μπορέσουν οι πάροχοι να μειώσουν αυτό το κόστος (της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας) είναι να θέτουν χειροκίνητα εκτός /εντός λειτουργίας τους σταθμούς βάσης, με βάση το φορτίο κίνησης που εμφανίζεται στο δίκτυο.

Επιπρόσθετα με τα χαμηλής κατανάλωσης ισχύος δομικά στοιχεία που θα εφαρμοστούν στον εξοπλισμό 4G, το SON αυτόματα θα θέτει εκτός λειτουργίας κυψέλες ή θα μειώσει την ισχύ εκπομπής σε ορισμένους σταθμούς βάσης. Π.χ. , κατά τη διάρκεια της νύχτας, όταν υπάρχει λίγη κυκλοφορία στο δίκτυο, ορισμένες κυψέλες μπορούν να μειώσουν την ισχύ εκπομπής τους ή να κλείσουν εντελώς. Για να διατηρηθεί η κάλυψη, οι λειτουργίες του SON και το σύστημα διαχείρισης θα αντισταθμίσουν την απενεργοποίηση μιας κυψέλης με το να αυξήσουν ελαφρά την ισχύ μιας γειτονικής κυψέλης.

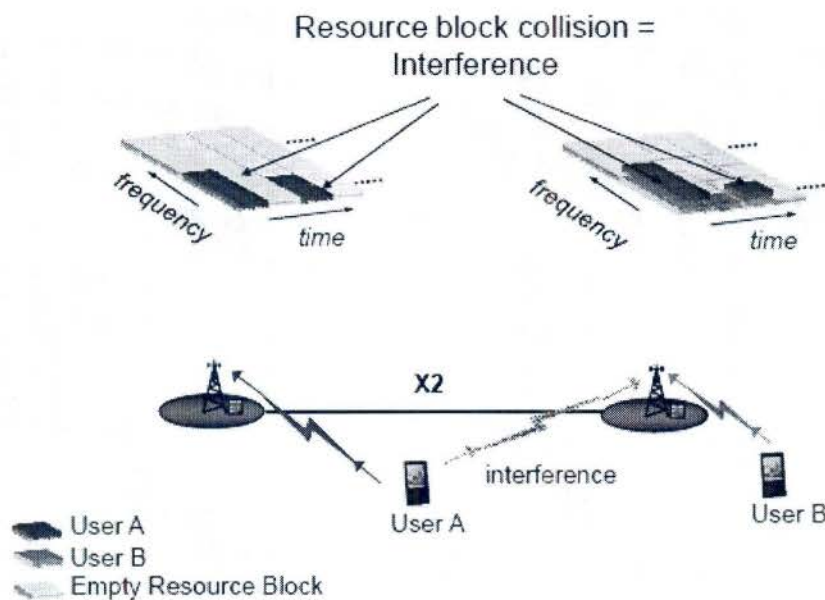


Σχήμα 16. Το SON επιτρέπει στη δυνατότητα να ενεργοποιηθεί ένα eNB (σταθμός βάσης που βρίσκεται μέσα στο σπίτι) για να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας από τους σταθμούς βάσης υψηλότερων επιπέδων Κυψέλη 1 και 2 (έτσι ένας χρήστης femtocell όσο βρίσκεται μακριά από το σπίτι του και καθώς κινείται από την κυψέλη 1 προς την 2 και στην συνέχεια προς το σπίτι του το MME ενεργοποιεί το σπιτικό eNB, το οποίο αναλαμβάνει την εξυπηρέτηση του χρήστη, εξοικονομώντας ενέργεια από τις διπλανές κυψέλες για άλλους femtocell χρήστες). Ομοίως το SON, θα απενεργοποιήσει το σπιτικό eNB όταν ο χρήστης μετακινηθεί έξω από το σπίτι του μέσα στην ζώνη κάλυψης της κυψέλης 4. [19]

Η μείωση της κατανάλωσης θα είναι κρίσιμη μελλοντικά, με την επέκταση των σταθμών βάσης στους νέους τύπους, όπως οι σταθμοί βάσης femtocell σε κατοικημένες περιοχές και οι μέσος-μεγέθους σταθμοί βάσης picocell.

3.10.2 Παρεμβολές

Το SON διευθετεί δύο πτυχές στην παρεμβολή του σήματος μεταξύ των κυψελών: Τη μείωση της παρεμβολής (IR) που αναφέρεται στα πιο αργά, χαμηλής συχνότητας σήματα όπως τα σήματα ελέγχου ισχύος και την τεχνική συντονισμού της δια-κυψελικής παρεμβολής (intercell interference coordination ή ICIC [17]) ο οποίος αφορά την παρέμβαση η οποία εμφανίζεται σε μικρότερη χρονική κλίμακα από ότι η παρέμβαση IR. Οι τεχνικές IR και ICIC του SON επιλέγουν τους κατάλληλους χρονικούς και συχνοτικούς πόρους για να μετριάσουν και τους δύο τύπους παρεμβολής.



Σχήμα 17. Στην διαμόρφωση OFDM, η βασική μονάδα για τον χρονοπρογραμματισμό (scheduling) και την κατανομή των πόρων, είναι μία βαθμίδα οι οποία διαχειρίζεται έναν αριθμό από υποφέρουσες τις οποίες μπορεί να χρησιμοποιήσει ένας χρήστης στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας (Επάνω σχήμα). Η ενδο-κυψελική παρεμβολή προξενείται από συγκρούσεις μεταξύ των μονάδων πόρων (ίδια κανάλια), οι οποίες χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα από διάφορες κυψέλες (Κάτω σχήμα).[17]

Π.χ η διαχείριση της συχνότητας, η μείωση της ισχύος εκπομπής και άλλες τεχνικές μπορούν να εφαρμοστούν αυτόματα. Η παρεμβολή θα γίνει όλο και περισσότερο κρίσιμη επειδή τα 4G δίκτυα θα χρησιμοποιήσουν αναπόφευκτα έναν μεγαλύτερο αριθμό σημείων πρόσβασης για να αυξήσουν την χωρητικότητα, την κάλυψη και το εύρος ζώνης, και πολλοί από αυτούς τους νέους σταθμούς βάσης θα τοποθετηθούν μέσα σε μεγαλύτερες κυψέλες. Π.χ., οι μηχανισμοί του SON μπορούν δυναμικά να ρυθμίσουν την ισχύ εκπομπής ενός femtocell σε ένα σπίτι για να περιορίσουν οποιαδήποτε πιθανή παρεμβολή που αυτό θα προκαλέσει με τη μεγαλύτερη μακρο-κυψέλη (macrocell) μέσα στην οποία βρίσκεται.

3.10.3 Επιτυχής παραμετροποίηση του RACH

Αυτόματος καθορισμός των παραμέτρων διαμόρφωσης του RACH, όπως ο αριθμός των preambles σε ένα πακέτο και η αύξηση της ισχύος (ανάλογα με τις ανάγκες) μπορούν να βελτιστοποιήσουν την απόδοση του RACH ενός SON σταθμού βάσης, μειώνοντας τους χρόνους συγχρονισμού, τους χρόνους εγκατάστασης κλήσης και τις καθυστερήσεις

παράδοσης, βελτιώνοντας ταυτόχρονα άλλες πτυχές της απόδοσης του RACH

3.10.4 Μεγιστοποίηση κάλυψης και χωρητικότητας

Η κάλυψη και η χωρητικότητα ενός ασύρματου δικτύου βελτιστοποιούνται με την παρακολούθηση της ποιότητας του καναλιού, έτσι ώστε να προσδιοριστούν τα κενά στην κάλυψη, των σταθμών βάσης και για να περιοριστούν τις περιττές αλληλοεπικαλύψεις (των σταθμών βάσης). Οι σταθμοί βάσης που υποστηρίζουν το SON, μπορούν δυναμικά να χειριστούν τις παραμέτρους όπως, την κλίση της κεραίας και τις αντισταθμίσεις (offsets) της ισχύος αναφοράς για να εξισορροπήσουν τα κενά στην κάλυψη και για να εξασφαλίσουν επαρκή χωρητικότητα όπου και όταν απαιτηθεί.

3.10.5 Βελτιστοποίηση κινητικότητας

Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα κινητικότητας ενός δικτύου SON μπορούν να βελτιστοποιηθούν από την άποψη της ευρωστίας των κινητών υπηρεσιών, όπως με τη διαπομπή (Handover) από την μία κυψέλη στην άλλη και με την εξισορρόπηση του φορτίου κίνησης μεταξύ των παρακείμενων κυψελών. Η ευρωστία μετριέται με τον αριθμό των διαπομπών που μπορούν να επεξεργαστούν, το χρόνο που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί μία διαπομπή, τις αποτυχίες της ράδιο-ζεύξης, τις αποτυχίες πρόσβασης κ.α. Με την παρατήρηση αυτών των παραγόντων, οι σταθμοί βάσης ενός δικτύου SON μπορούν δυναμικά να προσαρμόσουν ορισμένες παραμέτρους για να βελτιώσουν την απόδοση. Εξισορροπώντας το φορτίο κλήσεων στις κυψέλες μπορούμε να έχουμε ωφέλιμα αποτελέσματα στην χωρητικότητα κλήσεων της κυψέλης. Οι σταθμοί βάσης ενός δικτύου SON ανταλλάσσουν πληροφορίες για τα αντίστοιχα φορτία κλήσεων τους και διανέμουν την κίνηση των κλήσεων αναλόγως. Κατά συνέπεια, το ποσοστό επιτυχίας μιας διαπομπής βελτιώνεται ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η ποιότητας της παρεχόμενης υπηρεσίας (QoS).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Τυποποίηση ,Ερευνητικές δραστηριότητες και βιομηχανικές τάσεις σχετικές με το SON.

Αυτή τη στιγμή το πλαίσιο εργασίας του SON διαμορφώνεται από διάφορες ερευνητικές πρωτοβουλίες που σαν στόχο έχουν να αναπτύξουν τις κατάλληλες τεχνικές για αυτοματοποίηση στην διαχείριση και βελτιστοποίηση των εργασιών σε ένα ραδιοδίκτυο. Η παρουσία του μηχανισμού self-x έγινε απαραίτητος ειδικά στα RAN Long Term Evolution, καθώς η αύξηση της απόδοσης του δικτύου και της ποιότητας διαμέσου δυναμικών διεργασιών είναι ένας από τους βασικούς στόχους. Γίνονται προσπάθειες προτυποποίηση, για να καθοριστούν ποιες μετρήσεις (θα λαμβάνονται), ποιες θα είναι οι διαδικασίες καθώς και ποιες διεπαφές θα χρησιμοποιηθούν, με στόχο την καλύτερη διαλειτουργικότητα κάτω από ένα δίκτυο του οποίου η σύνθεση εμπλέκει πολλούς κατασκευαστές.

Παρακάτω παραθέτουμε τις πιο σημαντικές από αυτές τις ερευνητικές δραστηριότητες καθώς επίσης και τις προτάσεις των κατασκευαστών για την υλοποίηση και λειτουργία ενός SON δικτύου.

4.1 Self-x δραστηριότητας στο CELTIC ερευνητικό έργο Gandalf

Ο στόχος του ερευνητικού έργου Gandalf [10] ήταν να δημιουργήσει μια πλατφόρμα συνεργασίας μεταξύ της επίβλεψης (Monitoring) δικτύων μεγάλης κλίμακας, της διαχείρισης των ράδιο πόρων (**ARRM – Advance Radio Resource Management**), της βελτιστοποίησης των παραμέτρων και των τεχνικών διαχείρισης της παραμετροποίησης, με στόχο να επιτύχει αυτοματοποίηση στις εργασίες διαχείρισης του δικτύου σε ένα περιβάλλον (από πλευράς σύνθεσης του δικτύου) από πολλούς κατασκευαστές.

Περιλαμβάνει τεχνικές για την συλλογή και επεξεργασία δεδομένων ενός δικτύου μεγάλης κλίμακας με σκοπό να δημιουργήσει δείκτες κλειδιά για την απόδοση, επιτρέποντας έτσι τον εντοπισμό της δυσλειτουργίας και την δυναμική εκτέλεση ανεργιών ίασης του δικτύου.

Για την βελτιστοποίηση της ποιότητας της παρεχόμενης υπηρεσίας και την συνολική απόδοση των συστημάτων σε ένα πολύ-συστημικό περιβάλλον, προτάθηκαν στα πλαίσια του έργου **Gandalf** νέοι αλγόριθμοι διαχείρισης των ραδιοπόρων μαζί με μεθόδους για αυτό-συντονισμό (self-tuning).

Η εφικτότητα του σεναρίου του πολύ-συστημικού αυτό-συντονισμού και η βιωσιμότητα του σεναρίου με ARRM και αυτό-συντονισμό

παρουσιάστηκε μέσω εξομοιωτών δικτύου καθώς και από επίδειξης σε υλικό κατασκευαστών (πολύ-συστημική πλατφόρμα δοκιμών)

Η λειτουργίες διαχείρισης που μελετήθηκαν στο ερευνητικό έργο Gandalf είναι:

- Advanced- (για το ευδιάκριτο ράδιο δίκτυο πρόσβασης) και Joint- RRM (για μεταξύ των συστημάτων): Αυτό-συντονισμός των ARRM και JRRM παραμέτρων μελετήθηκε στο πλαίσιο των Fuzzy συστημάτων παρεμβολών (Fuzzy Interference System -FIS). Για να βελτιωθεί η απόδοση των συστημάτων FIS, χρησιμοποιήθηκαν ενισχυμένες τεχνικές εκμάθησης (Reinforcement Learning techniques).
- Αυτό-συντονισμός (Self-tuning) τόσο για on-line όσο και off-line βελτιστοποίηση: Οι λειτουργίες βελτιστοποίησης εξάγουν τις βέλτιστες παραμέτρους για να βελτιώσουν την απόδοση του δικτύου.
- Ανίχνευση βλαβών: Αυτοματοποιημένες τεχνικές διάγνωσης οι οποίες χρησιμοποιούν ένα λογικό μηχανισμό βασισμένο στα δίκτυα Bayesian.

4.2 Self-x στο FP7 του έργου SOCRATES

Το έργο SOCRATES (Self-Optimization and self-ConfigURATion in wirelEss networkS) υποστηρίζεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση στο 7^ο πλαίσιο εργασίας και το οποίο ξεκίνησε την 1 Ιανουαρίου 2008 και προβλέπεται να τελειώσει την 31 Δεκεμβρίου 2010.

Ο αντικειμενικός στόχος του έργου SOCRATES είναι να αναπτύξει μεθόδους αυτό-οργάνωσης έτσι ώστε να βελτιστοποιήσει την χωρητικότητα του δικτύου, την κάλυψη και την ποιότητα της υπηρεσίας ενώ πετυχαίνει σημαντική μείωση στο OPEX (και πιθανόν στο CAPEX).

Αν και η ανάπτυξη λύσεων είναι πιθανόν να μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλά δίκτυα (π.χ στα Δίκτυα WiMAX), το έργο SOCRATES αρχικά επικεντρώθηκε στην ασυρματική διεπαφή (E-UTRAN) του 3GPP's LTE.

Ποιο αναλυτικά οι στόχοι του έργου είναι:

- Η ανάπτυξη των νέων εννοιών, των μεθόδων και των αλγορίθμων για την αποδοτική και αποτελεσματική αυτό-βελτιστοποίηση, αυτό-διαμόρφωση και αυτό-θεραπεία των ασύρματων δικτύων πρόσβασης, προσαρμόζοντας τις ράδιο παραμέτρους (διαχείριση των πόρων) στις ομαλές ή απότομες μεταβολές σε π.χ. συνθήκες του συστήματος, της κυκλοφορίας, της κινητικότητας και της διάδοσης. Εξετάζονται συγκεκριμένα παραδείγματα των ράδιο παραμέτρων μέσα στα οποία περιλαμβάνονται: η ρύθμιση της

ισχύος, οι παράμετροι κεραιών, η λίστα των γειτονικών κυψελών, παράμετροι διαπομπής, παραμέτρους χρονοπρογραμματισμού και τις παραμέτρους ελέγχου αποδοχής.

- Η προδιαγραφή των απαραίτητων πληροφοριών μέτρησης, η στατιστική ακρίβειά τους και οι μέθοδοι ανάκτησης των πληροφοριών, συμπεριλαμβανομένων των αναγκαίων διεπαφών του πρωτοκόλλου, για την υποστήριξη των πρόσφατα αναπτυγμένων μεθόδων αυτό-οργάνωσης.
- Η επικύρωση και η επίδειξη των αναπτυγμένων εννοιών και των μεθόδων για την αυτό-οργάνωση μέσω εκτενών πειραμάτων προσομοίωσης. Ειδικότερα, οι προσομοιώσεις θα εκτελεσθούν προκειμένου να διευκρινιστούν και να αξιολογηθούν οι επιτευχθείσες τιμές χωρητικότητας, κάλυψης και ποιότητας, ενώ ταυτόχρονα να γίνει ο υπολογισμός των εφικτών OPEX (/CAPEX) μειώσεων.
- Μια αξιολόγηση της εφαρμογής και του λειτουργικού αντίκτυπου των αναπτυσσόμενων σεναρίων και μεθόδων για την αυτό-οργάνωση, με αναφορά στις αρχιτεκτονικές χειρισμού, διαχείρισης και συντήρησης, τα τερματικά, την επεκτασιμότητα και το ράδιο προγραμματισμό των δικτύων και τις διεργασίες διαχείρισης της χωρητικότητας.
- Επιρροή στην τυποποίηση της 3GPP και τις δραστηριότητες NGMN.

4.3 IEEE 802.16

Από το 2007 μια νέα ομάδα IEEE 802.16m (TGm) εργάζεται επάνω στην δημιουργία μίας ασυρματικής διεπαφής οι οποία να πλήρη τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις τις επόμενης γενιάς κινητών δικτύων (4G).

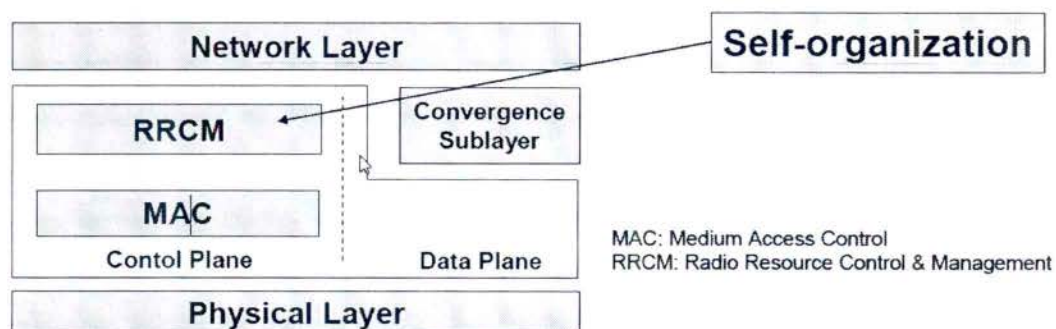
Η ομάδα TGm έχει αναπτύξει τα ακόλουθα ως μέρος της IEEE 802.16m διαδικασίας τυποποίησης:

- Έγγραφο απαιτήσεων συστημάτων (SRD – System Requirements Document) [20]
- Έγγραφο μεθοδολογίας αξιολόγησης (EMD – Evaluation Methodology Document) [21]
- Έγγραφο περιγραφής συστημάτων (SDD – System Description Document) [22]
- IEEE 802.16m Έγγραφο εργασίας τροποποιήσεων (AWD – Amendment Working Document) (Λεπτομερείς προδιαγραφές)

- Λεπτομέριες της αμολόγησης του συστήματος (SED - System Evaluation Details) για το IEEE 802.16 IMT-Advanced Proposal (SED)

Μια από τις λειτουργικές απαιτήσεις από IEEE 802.16m είναι η υποστήριξη μηχανισμών SON (αυτό-οργάνωσης).

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η δομή των πρωτοκόλλων που προτείνει το IEEE 802.16m. Το παρακάτω μπλοκ της αυτό-οργάνωσης τοποθετείται μέσα στην βαθμίδα ελέγχου και διαχείρισης των ράδιο πόρων (RRCM).



Σχήμα 18. Η δομή του πρωτοκόλλου IEEE 802.16m [22]

4.4 Το NGMN (Next Generation Mobile Networks)

Το έργο NGMN (Next Generation Mobile Networks – Κινητά δίκτυα επόμενης γενιάς) είναι μία προσπάθεια από τους πιο σημαντικούς παρόχους υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας με στόχο να παρέχουν ανταγωνιστικές ευρυζωνικές υπηρεσίες στους πελάτες με δυνατότητες πέρα από το 3G.

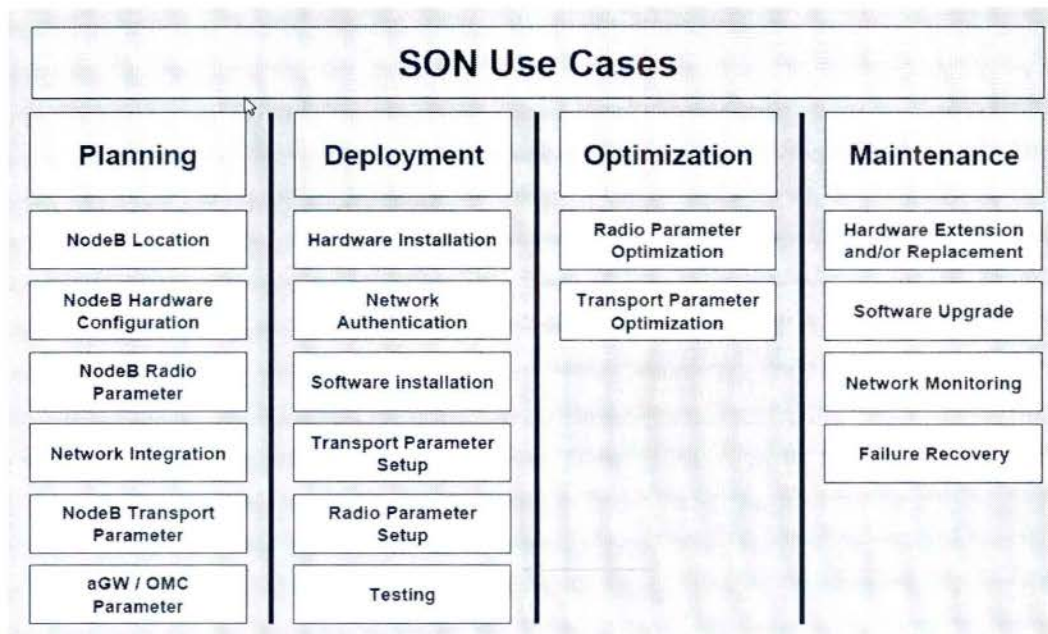
Από το 2006, αυτή η πρωτοβουλία έχει ως στόχο να συμπληρώσει και να υποστηρίξει την εργασία μέσα στους οργανισμούς τυποποίησης, παρέχοντας την πληροφορία σχετικά με το ποιες θα είναι οι απαιτήσεις της κοινότητας των χειριστών των δικτύων για την δεκαετία πέρα από το 2010.

Η αποστολή τους είναι να προβούν σε ένα σύνολο συστάσεων με στόχο να ενισχύσουν τη δυνατότητα των παρόχων κινητών ευρυζωνικών υπηρεσιών, να προσφέρουν όσο το δυνατόν ποίο οικονομικές και ταυτόχρονα αποδοτικές ασύρματες ευρυζωνικές υπηρεσίες στους πελάτες τους.

Ένα από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα (το οποίο αποτελεί και σημείο κλειδί) των κινητών δικτύων που εξετάζονται από την ομάδα NGMN η έννοια της αυτό-οργάνωσης (SON). Μεταξύ των στρατηγικών τεχνικών προγραμμάτων που αναπτύσσονται από τις ομάδες εργασίας, υπάρχει μια που αφιερώνεται πλήρως για να υποστηρίξει την ανάπτυξη μιας αποτελεσματικής και αυτοματοποιημένης λειτουργίας αυτό-βελτιστοποίησης και των μηχανισμών αυτό-οργάνωσης όπως είναι η αυτό-διαμόρφωση (self-configuration) όλων των κόμβων .

Τα κύρια επιτεύγματα είναι:

- Περιγραφή των περιπτώσεων λειτουργικής χρήσης, που δηλαδή οι αυτόματες ή αυτόνομες διαδικασίες αναμένονται για να εισαχθούν. Οι περιπτώσεις χρήσης χειριστών είναι ταξινομημένες σε τέσσερις ομάδες , Σχήμα 4.
- Καθορισμός των απαιτήσεων υψηλού επιπέδου, δηλαδή τί τύπο μετρητών απόδοσης και παραμέτρων διαμόρφωσης θα απαιτούνται. Κατά τη διάρκεια της τυποποίησης ενός νέου συστήματος (δηλ. LTE) είναι απαραίτητο να διευκρινιστούν οι μετρήσεις, οι διαδικασίες και οι ανοικτές διεπαφές για να υποστηρίξουν τις λειτουργίες αυτό-οργάνωσης (self-organizing) σε ένα σύνθετο περιβάλλον δικτύου από λειτουργικές μονάδες διαφορετικών προμηθευτών.
- Σύγκριση των αρχιτεκτονικών SON: Συγκεντρωμένος έναντι διανεμημένου. Αξιολόγησης και θέση προς συζήτηση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων.
- Συστάσεις σχετικά με τις απαιτήσεις του SON: Αφότου περιγράφηκαν οι περιπτώσεις χρήσης του SON οι οποίες προβλέφθηκαν από τους χειριστές, προτάθηκαν οι συστάσεις και οι οδηγίες για τις απαιτήσεις για την εφαρμογή των λύσεων αυτών οι οποίες θα υποστηρίξουν τις περιπτώσεις χρήσης του SON. Στα παραπάνω έχουν ληφθεί υπόψη τα κριτήρια των κατασκευαστών εξοπλισμού.



Σχήμα 19. Κατηγορίες και υπό-ομάδες του SON [63]

4.5 Το 3GPP

Η δραστηριότητα του 3GPP στην ανάπτυξη των δικτύων 3G επικεντρώθηκε στο να καθορίσει τις απαιτήσεις και τους στόχους αρχικά για LTE και αργότερα στο να παρέχει μια πλήρη περιγραφή όλων των εμπλεκόμενων τεχνικών (τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης, αρχιτεκτονική, υπηρεσίες κ.α). Όλα αυτά τα σενάρια έχουν συγκεντρωθεί και θα αποτελέσουν βασικό μέρος της βασικής (3GPP) έκδοσης 8.

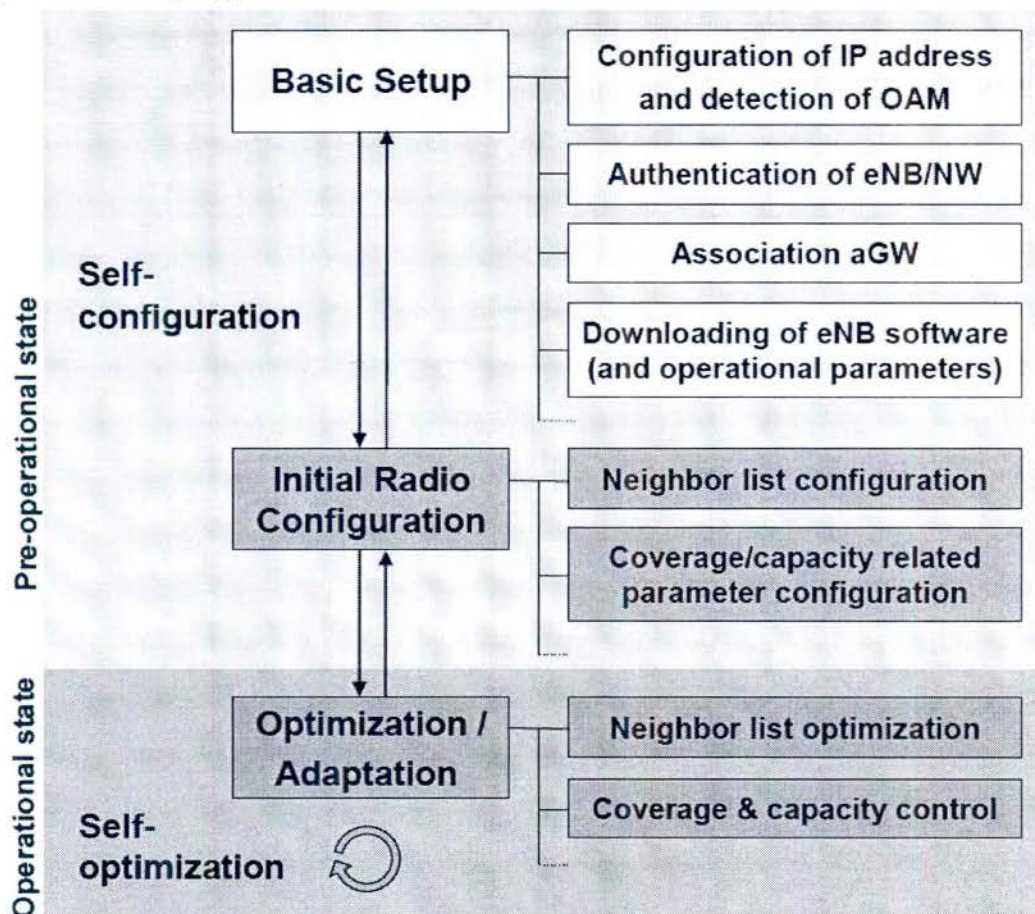
Για να μπορέσει να μειώσει την λειτουργική επεκτασιμότητα (OPEX) που σχετίζεται με την διαχείριση μεγάλου αριθμού στοιχείων του δικτύου (τα οποία μπορεί να προέρχονται από ένα ή περισσότερους κατασκευαστές) παρουσίασε το σενάριο του SON.

Στην έκδοση 8 του 3GPP, έχουν προτυποποιηθεί πολλές από τις διεπαφές σηματοδότησης μεταξύ των στοιχείων του δικτύου.

Τα σημαντικά παραδείγματα στα πλαίσια του SON είναι η X2 διεπαφή μεταξύ eNodeBs και s1 καθώς και η διεπαφή μεταξύ eNodeB και το EPC (π.χ. η KA, SGW). Αφ' ετέρου, στην έκδοση 8 της 3GPP έχει αποφασιστεί ότι οι αλγόριθμοι SON δεν θα τυποποιηθούν.

Στην αναφορά , καθορίζεται ο ρόλος της λειτουργίας της αυτό-διαμόρφωσης και της αυτό-βελτιστοποίησης. Και οι δύο διαδικασίες περιγράφονται καθώς επίσης και οι λειτουργίες οι οποίες ελέγχονται από αυτές (βλ. σχήμα 20).

Ένα από τα σημαντικότερα παραδοτέα σχετικά με το θέμα του SON είναι το TR 36.902. Η αρμόδια ομάδα εργασίας για αυτό είναι η RAN WG3. Η τεχνική αναφορά την προηγούμενης ομάδας ασχολείται με τα θέματα και τις λύσεις σχετικά με την αυτό-διαμόρφωση και της αυτό-βελτιστοποίησης των δικτύων.



Σχήμα 20. Διακλαδώσεις μέσα στην eNB των λειτουργιών αυτό-διαμόρφωσης/αυτό-βελτιστοποίησης [15]

Η ομάδα εργασίας WG SA5 αναπτύσσει επίσης τα θέματα SON, τα οποία σχετίζονται περισσότερο με την εννοιολογική προσέγγιση και τις απαιτήσεις. Το παραδοτέο TS 32.500 προορίζεται για την περιγραφή των απαιτήσεων και την αρχιτεκτονική των λειτουργιών του SON μέσα στο σύστημα OAM (Operation-Administration and Manage).

4.6 Η προσέγγιση της E3 (End-to-End Efficiency)

Το ερευνητικό έργο E3 (End to End Efficiency) υποστηρίζεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση στο 7^ο πλαίσιο Εργασίας. Ξεκίνησε τον

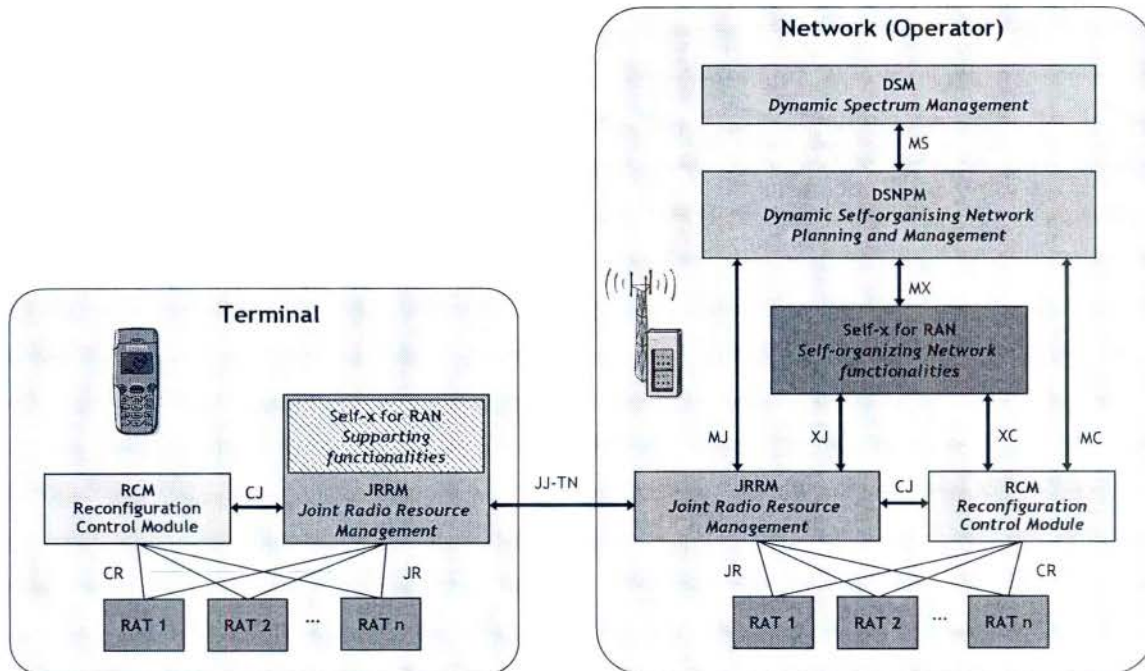
Ιανουάριο του 2008, με αρχική διάρκεια δύο ετών. Το ερευνητικό αυτό έργο συνδυάζει μη ομοιόμορφες (δηλαδή από διαφορετικούς κατασκευαστές) υποδομές, τόσο σε υπάρχουσα αλλά και σε μελλοντικά ασύρματα δίκτυα σε ένα ενοποιημένο, επεκτάσιμο, αποδοτικό και διαχειρίσιμο σύστημα (πέρα από το 3G ή B3G) με δυνατότητες βελτίωσης της αποδοτικότητας του.

Το E3, έφερε μαζί όλους τους μεγάλους παρόχους τηλεπικοινωνιών της Ευρώπης σε μία προσπάθεια ώστε τα συστήματά τους να υποστηρίζουν την αυτό-οργάνωση, την δυνατότητα βελτίωσης της απόδοσης μέσω αυτόνομης μεταβολής της παραμετροποίησης και την από άκρο σε άκρο δυνατότητα επανα-παραμετροποίησης των συστημάτων.

Οι βασικοί στόχοι του έργου E3 είναι ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη, η προτυποποίηση λύσεων για βελτιστοποιημένη χρήση τόσο των υφιστάμενων όσο και των μελλοντικών πόρων της ράδιο-πρόσβασης. Ποίο συγκεκριμένα, καθορίζεται η ποίο ευέλικτη χρήση του συχνοτικού φάσματος, των τερματικών σταθμών και των σταθμών βάσης.

4.6.1 Η Λειτουργική αρχιτεκτονική

Στο παρακάτω σχήμα, παρουσιάζεται η λειτουργική αρχιτεκτονική στα πλαίσια του έργου E3 (σε λειτουργικές βαθμίδες) για την περίπτωση όπου έχουμε ένα πάροχο, τόσο στην πλευρά του κινητού τερματικού όσο και την πλευρά του δικτύου. Από την πλευρά του δικτύου η δυναμική διαχείριση φάσματος (Dynamic Spectrum Management ή DSM) [38] [39] [40] [41] παρέχει την μέσο και μακροπρόθεσμη διαχείριση του φάσματος (π.χ. της τάξεως των ωρών, των ημερών) για τα διαφορετικά ράδιο συστήματα. Το DSM παρέχει τη γνώση σχετικά με τις πολιτικές για την ανάθεση φάσματος, η οποία θα πρέπει να περιλαμβάνει το ρυθμιστικό πλαίσιο για την χρήση του φάσματος.



Σχήμα 21. Η λειτουργική αρχιτεκτονική του δικτύου στα πλαίσια του έργου E3. [15]

Από τις βασικές βαθμίδες είναι η Δυναμική Αυτό-οργάνωση του Σχεδιασμού και Διαχείρισης του Δικτύου ή **Dynamic Self-Organising Network Planning and Management (DSNPM)** [41][42][44][43] η οποία παρέχει την μεσοπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη απόφαση επάνω στις ενέργειες επαναδιαμόρφωσης ενός τμήματος του δικτύου, με το να εξετάσει συγκεκριμένες πληροφορίες εισόδου, και με την εφαρμογή της λειτουργίας βελτιστοποίησης, ενισχυμένης με ιδιότητες εκμάθησης. Το DSNPM για παράδειγμα, αποφασίζει σχετικά με τη βέλτιστη διαμόρφωση ενός εύκαμπτου σταθμού βάσης (FBS). Τέτοιες αποφάσεις επαναδιαμόρφωσης δίνονται έπειτα στο RCM που με την σειρά του είναι αρμόδιο για την εκτέλεση των επαναδιαμορφώσεων.

Η λειτουργική οντότητα Κοινής διαχείρισης των Ράδιο Πόρων ή **Joint Radio Resource Management (JRRM)** [46] [47] [48] εκτελεί την κοινή διαχείριση των ράδιο πόρων, οι οποίοι μπορεί να ανήκουν σε ετερογενείς τεχνολογίες ράδιο πρόσβασης (RATs). Επιλέγει την καλύτερη ράδιο πρόσβαση («επιλογή πρόσβασης») για έναν δεδομένο χρήστη βασιζόμενο στο επιθυμητό QoS (εύρος ζώνης, μέγιστη καθυστέρηση, υπηρεσία σε πραγματικό χρόνο ή όχι), την κατάσταση του ράδιο καναλιού (π.χ. εύρος ζώνης), την κατάσταση του δικτύου πρόσβασης (π.χ. χωρητικότητα κυψέλης, τρέχον φορτίο κυψέλης), τις

προτιμήσεις των χρηστών, και τις πολιτικές του δικτύου. Το JRRM παρέχει επίσης παρέχει τις πληροφορίες γειτονίας για την αποδοτική ανακάλυψη των διαθέσιμων προσβάσεων.

Η βαθμίδα που αναπαριστά τις **Self-x λειτουργίες για τα RANs** [48][49] επιτρέπει την αυτοματοποίηση των λειτουργικών στόχων. επικεντρώνεται στις λειτουργίες αυτό-οργάνωσης για τα RAN, παρέχοντας κυρίως μικροπρόθεσμες προς μεσοπρόθεσμες αποφάσεις εστιάζοντας στο σενάριο τεχνολογίας ράδιο πρόσβασης ενός παρόχου. Αυτή η λειτουργική βαθμίδα συνεργάζεται με το DSNPM (όσο ν' αφορά τα κλειδιά των δεικτών απόδοσης- KPIs και τις πολιτικές), με το JRRM (όσο ν' αφορά την εκτέλεση των αποφάσεων του Self-x για τα RAN, την παροχή μετρήσεων) και με το RCM (όσο ν' αφορά τις διάφορες λειτουργίες ελέγχου της επαναδιαμόρφωσης).

Στην πλευρά του κινητού τερματικού αυτή η λειτουργική βαθμίδα χρησιμοποιείται κυρίως για να υποστηρίξει τις Self-x διαδικασίες των τμημάτων του δικτύου (π.χ., την συλλογή στατιστικής πληροφορίας).

Η βαθμίδα ελέγχου επαναδιαμόρφωσης (RCM) είναι κυρίως αρμόδια για την εκτέλεση της επαναδιαμόρφωσης ενός τερματικού ή ενός σταθμού βάσης, ακολουθώντας τις οδηγίες που εδόθησαν από τις άλλες δομικές μονάδες, δηλαδή το DSNPM, το Self-x για τα RANs και το JRRM. Το RCM είναι ένα απαραίτητο στοιχείο στα επαναδιαμορφούμενα τερματικά, τους σταθμούς βάσης, και προαιρετικά σε άλλα επαναδιαμορφούμενα στοιχεία του δικτύου, ώστε να επιβληθεί και να πραγματοποιηθεί η προσαρμογή τους στο τρέχον πλαίσιο. Όλες αυτές οι λειτουργικές μονάδες ακολουθούν έναν γνωσιακό βρόχο, όπου κάθε βαθμίδα ελέγχει συνεχώς ένα σύνολο μεταβλητών σχετικών με το δίκτυο ή με την κατάσταση του τερματικού και την απόδοσή του. Εάν εμφανιστεί ένα γεγονός (π.χ., δεν υπάρχουν πλέον διαθέσιμοι πόροι για σταθμό βάσης (BS), μια νέα τεχνολογία ράδιο πρόσβασης ανιχνεύεται από το κινητό τερματικό, κ.λπ.), τότε η αντίστοιχη βαθμίδα αξιολογεί τα συλεχθέντα στοιχεία και παίρνει μια απόφαση να εκτελεσθεί μια κατάλληλη ενέργεια.

Στην συνέχεια, αυτή η δράση εκτελείται και τα αποτελέσματα από μια τέτοια λειτουργία καταγράφονται και αξιολογούνται προκειμένου να βελτιστοποιήσουν οποιεσδήποτε μελλοντικές αποφάσεις σχετικές με το γεγονός που εμφανίστηκε τώρα .

Για να υποστηριχθούν οι διαδικασίες των E3 λειτουργικών βαθμίδων προσδιορίζονται μια σειρά από «enablers γνώσης» που βοηθούν στη φάση συλλογής των πληροφοριών από το περιβάλλον του δικτύου.

Τα τερματικά ενημερώνονται από ένα λογικό κανάλι, αποκαλούμενο **γνωστικό πιλοτικό κανάλι – Cognitive Pilot Channel (CPC)** [51], για διάφορες παραμέτρους που απαιτούνται από τα τερματικά για να λειτουργήσουν αποτελεσματικότερα, π.χ. οι διαθέσιμες τεχνολογίες ράδιο πρόσβασης σε μια γεωγραφική περιοχή, οι συχνότητες που αυτές οι τεχνολογίες χρησιμοποιούν, κ.λπ.

Ένας άλλος enabler καλείται γνωστικός ράδιο έλεγχος (CCR) [52] [53] και είναι μία ράδιο επικοινωνίας (σε μια γνωστή συχνότητα) σημείο προς σημείο εκτός ζώνης μεταξύ των ετερογενών κόμβων του δικτύου (π.χ. μεταξύ των τερματικών ή μεταξύ ενός δικτύου πρόσβασης και των συνδεδεμένων τερματικών) για την ανταλλαγή σχετικών με τη γνώση πληροφοριών. Το CCR είναι σαν ένα στενής ζώνης ad-hoc ασύρματο τοπικό LAN που συμπληρώνεται όπως με δικτύωση multi-hop. Συνεπώς, τόσο το φυσικό (PHY) υπόστρωμα όσο και το MAC πρέπει να εστιάσουν στην ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ισχύος.

Τέλος, ένα άλλο enabler, το οποίο καλείται αίσθηση φάσματος Spectrum Sensing (SS) [54], εστιάζει στην απόκτηση της γνώσης, σχετικής με τα διαθέσιμα ράδιο συστήματα, αντιλαμβανόμενο, τον χαρακτηρισμό των ράδιο συνθηκών και την εκτίμηση της ποιότητας των ράδιο συνδέσεων. Σε συνεργασία με το CCR ή το CPC, οι πληροφορίες του SS μπορούν να διανεμηθούν μεταξύ των διαφορετικών κόμβων. Τα παραπάνω enablers δεν απεικονίζονται στο παραπάνω σχήμα δεδομένου ότι η λειτουργία τους θεωρείται ότι θα υλοποιηθεί από πρωτόκολλα χαμηλότερου στρώματος.

4.7 Η Πρόταση της NEC για το SON

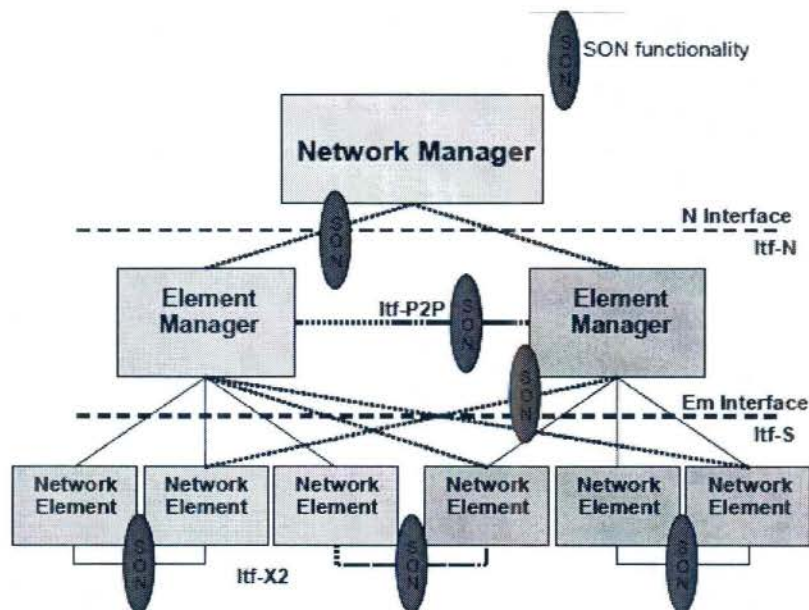
Η NEC υποστήριξε την εισαγωγή των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων του SON στο 3GPP και συμβάλει στον καθορισμό των βασικών στοιχείων των πληροφοριών στην αρχιτεκτονική του SON καθώς επίσης και συγκεκριμένες περιπτώσεις χρήσης. Ταυτόχρονα για να υποστηρίξει τις απαιτήσεις των παρόχων από το SON, η NEC εξετάζει επίσης τις δραστηριότητες της γκρουπ NGMN. Συνεργάζεται στενά με τους χειριστές NGMN και, μεταξύ άλλων, πρωτοστατεί στην πρόταση των

διεπαφών ελέγχου του SON για τα eNodeBs καθώς επίσης και συνεισφέρει στην ομαλή και πιο οικονομική από άποψη υλοποίησης των λειτουργιών του SON στο σύστημα διαχείρισης των παρόχων.

NEC αναμένεται για να συμβάλει στην ομαλή και οικονομικώς αποδοτική ένταξη των λειτουργιών ΓΙΩΝ στα συστήματα διαχείρισης των χειριστών.

4.7.1 Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική

Η NEC για την αρχιτεκτονική διαχείρισης του δικτύου στα LTE, βασίζεται στην υβριδική αρχιτεκτονική όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 28.



Σχήμα 22. Υβριδική Αρχιτεκτονική διαχείρισης δικτύου στα LTE [64]

Παρότι υποστηρίζει τις προδιαγραφές (3GPP Rel. 8), η NEC προσπαθεί να παρακάμψει την κλασσική διαστρωμάτωση των διαχειριστικών λειτουργιών και να εισάγει έναν υψηλότερο βαθμό αυτοματοποίησης για τα δίκτυα LTE. Προσπαθεί δηλαδή να τοποθετήσει κάποιες από τις λειτουργίες του SON στο ίδιο το eNodeB.

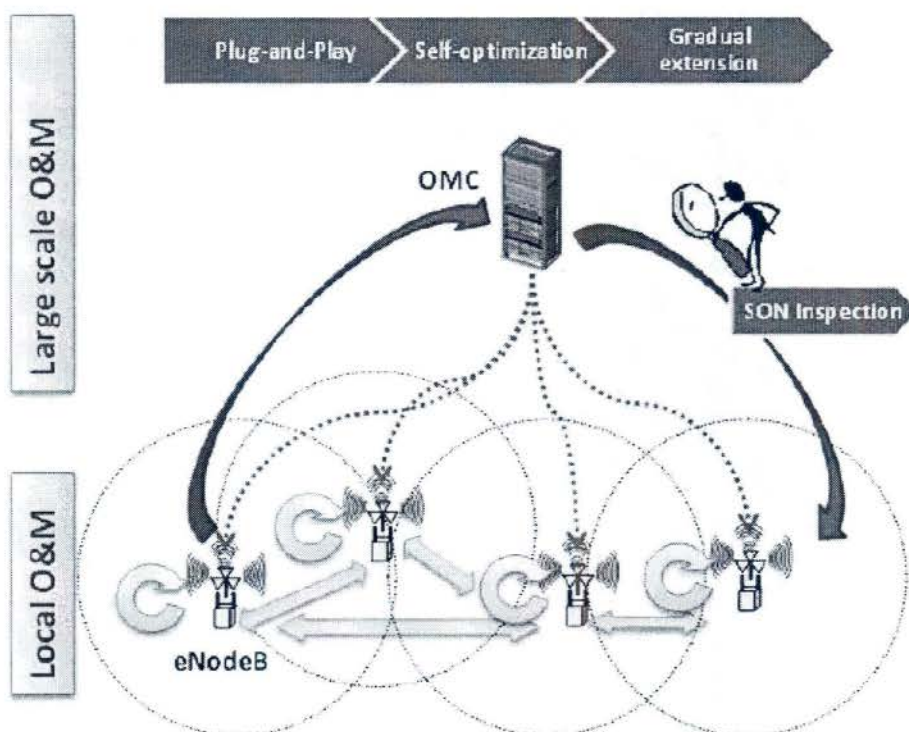
Επειδή οι πόροι για το διαχειριστικό πλάνο δεν πρέπει να επανασχεδιάζονται συνέχεια όταν το LTE δίκτυο σταδιακά εξαπλώνεται και μεγαλώνει, η προκύπτουσα διανεμημένη αρχιτεκτονική κάνει τα οφέλη της αυτό-διαχείρισης εμφανή στον πλήρη βρόχο επέκτασης.

Επιπλέον, τοπικοί βρόχοι αυτό-βελτιστοποίησης - όπως είναι οι βρόχοι, η λειτουργίας αυτόματης διαμόρφωσης με την σύνδεση ενός κόμβου (Plug-

and-Play), ο κατάλογος γειτόνων, η διαπομπές, τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας - μπορούν να εκτελεστούν με γενικά μικρή επιβάρυνση επάνω στις συσκευές του δικτύου (αποκεντρωμένα), και από την άλλη αυτό οδηγεί σε βελτίωση της απόδοσης και της διαθεσιμότητας αφού οι λειτουργίες είναι διασκορπισμένες η αστοχία ενός κόμβου δεν θα επηρεάσει την λειτουργία όλου του δικτύου.

Γι' αυτό τον λόγο η πιο αποδοτική προσέγγιση για τα LTE πρέπει να βασίζεται σε μια υβριδική αρχιτεκτονική, η οποία από την μία προβάλλει με τον καλύτερο τρόπο τα κέρδη από της λειτουργίες του SON και από την άλλη με εύκολο τρόπο υλοποιεί τις υπάρχουσες απαιτήσεις και πρακτικές του παρόχου.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 28, η ύπαρξη και η συνεργασία των λειτουργιών του SON τόσο στην πλευρά του ράδιο δικτύου πρόσβασης όσο και στην κεντρική διαχείριση θα προσφέρει έναν υψηλό βαθμό αυτό-



Σχήμα 23. Η πρόταση της NEC για αξιόπιστη και επεκτάσιμη αρχιτεκτονική διαχείρισης στα LTE [64]

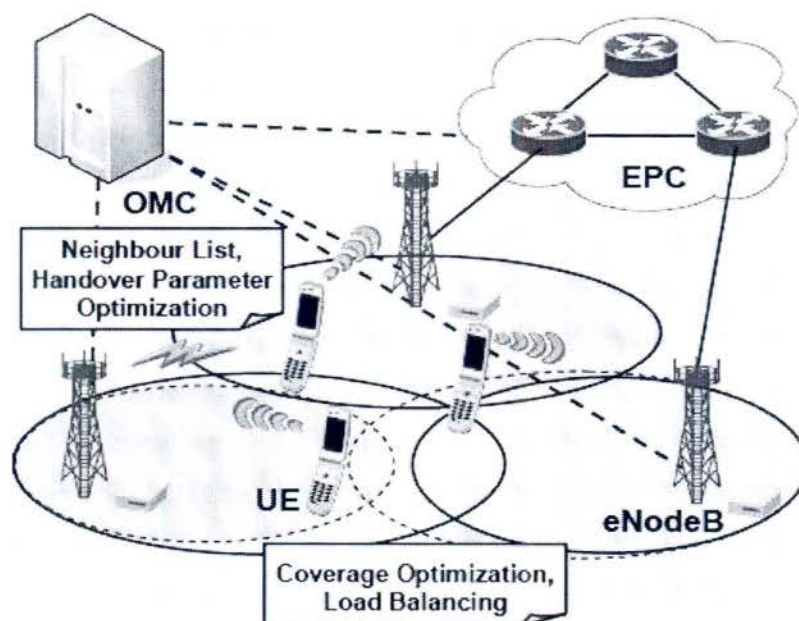
ματοποίησης ενώ εγγυάται τον έλεγχο όταν απαιτείται με ταυτόχρονη μείωση του OPEX.

4.7.2 Η αυτό-διαμόρφωση

Τα στοιχεία του δικτύου θα δημιουργήσουν αυτόματα τις λογικές ενώσεις με το δίκτυο και θα καθιερώσουν τα απαραίτητα πλαίσια ασφάλειας, τα

οποία θα παρέχουν ένα ασφαλές κανάλι ελέγχου μεταξύ των νέων στοιχείων και των κεντρικών υπολογιστών του δικτύου. Τεχνολογίες όπως το DHCP (με τις επεκτάσεις) για την αυτό-διαμόρφωση και EAP ή βασισμένες στο SIMcard- διαμορφώσεις παραμέτρων ασφάλειας θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν. Τα αρχεία διαμόρφωσης μπορούν έπειτα να μεταφορτωθούν από έναν κεντρικό υπολογιστή διαμόρφωσης με τη χρησιμοποίηση του πρωτοκόλλου NETCONF [62], το οποίο παρέχει μια αρχική διαμόρφωση για το στοιχείο. Μόλις μεταφορτωθούν, η διαμόρφωση και η πιο πρόσφατη έκδοση λογισμικού, το στοιχείο πρέπει να εκτελέσει αυτό-έλεγχο για να καθορίσει ότι όλα λειτουργούν όπως θα έπρεπε.

4.7.3 Η αυτό βελτιστοποίηση



Σχήμα 24. Η υποστηριζόμενη από την NEC αυτό-βελτιστοποίηση στα LTE δίκτυα.[64]

Η λειτουργία της αυτό-βελτιστοποίησης περιλαμβάνει τις ακόλουθες διαδικασίες:

- Βελτιστοποίηση της λίστας των γειτονικών κυψελών
- Βελτιστοποίηση κάλυψης και χωρητικότητας
- Βελτιστοποίηση κινητικότητας
- Βελτιστοποίηση εξισορρόπηση φορτίου κινητικότητας

4.7.4 Αυτόματη διάγνωση βλαβών και αυτό-ίαση.

Η διαχείριση των βλαβών και η αποκατάσταση απαιτεί την ανθρώπινη παρέμβαση κάτι το οποίο αυξάνει το OPEX. Για το λόγο αυτό σε αυτό τον τομέα η αυτοματοποίηση θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν περισσότερη. Τα πιο σημαντικά σημεία για την NEC είναι:

- **Αυτόματος προσδιορισμός της βλάβης**

Οι βλάβες των συσκευών κανονικά ανιχνεύονται από την ίδια την συσκευή, σε πολλές περιπτώσεις όμως λόγω τις βλάβης δεν είναι δυνατόν ένα μήνυμα βλάβης να σταλεί προς το δίκτυο ώστε να αναγνωριστεί η προβληματική συσκευή. Τέτοια μη αναγνωρισμένα προβλήματα του eNodeB αναφέρονται συνήθως <κοιμώμενες κυψέλες> , και ανιχνεύονται μόνο από τα στατιστικά απόδοσης. Εντούτοις, μερικές φορές είναι δύσκολο να προσδιοριστούν οι <κοιμώμενες κυψέλες>, δεδομένου ότι οι στατιστικές στο επίπεδο των κυψελών παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση ως αποτέλεσμα των διαφορών στην κυκλοφορία και τη ράδιο ποιότητα. Το SON της NEC ανιχνεύει με ακρίβεια τις <κοιμώμενες κυψέλες>, κάνοντας στατιστική ανάλυση των αρχείων καταγραφής, και έτσι διακρίνει τις βλάβες των eNodeB από τη χρονική ποιοτική υποβάθμιση, με την ανίχνευση συγκεκριμένων UEs κοντά στην περιοχή όπου η ράδιο ποιότητα είναι υποβαθμισμένη. Ο συσχετισμός πολλαπλών συναγερωμών χρησιμοποιείται επίσης για να προσδιορίσει αυτόματα την πρωταρχική αιτία του προβλήματος.

- **Εξισορρόπηση της απώλεια μιας κυψέλης.**

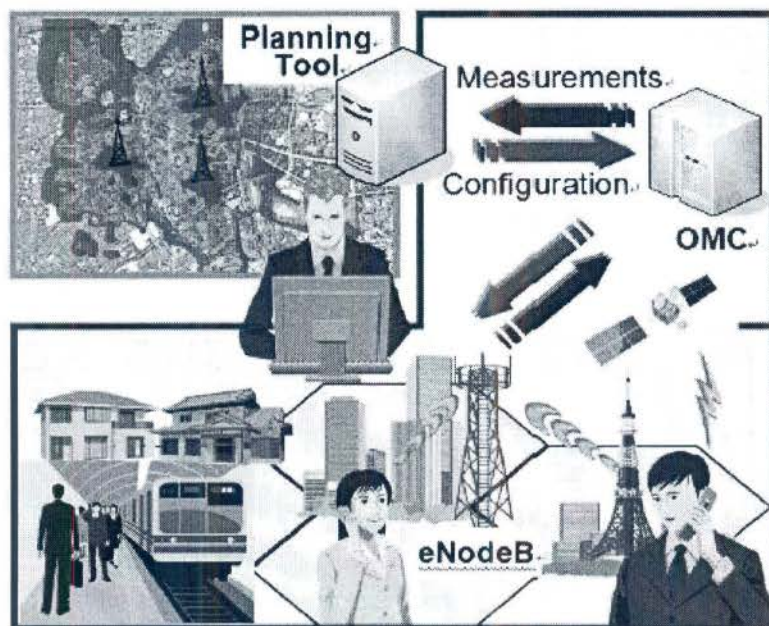
Όταν ανιχνευτεί μία βλάβη στον εξοπλισμό, το SON αναλύει τα αρχεία καταγραφής του εξοπλισμού και προσδιορίζει την αιτία που προκάλεσε το πρόβλημα για να πάρει κάποια μέτρα αποκατάσταση της βλάβης. Τέτοια μέτρα μπορεί να είναι π.χ. επιστροφή σε προηγούμενη έκδοση λογισμικού που λειτουργούσε σωστά ή μεταγωγή σε εφεδρική μονάδα.

Αν τα παραπάνω δεν αποδώσουν τότε η προβληματική κυψέλη σε συνεργασία με τις γειτονικές παίρνουν από κοινού αποφάσεις για να περιορίσουν την υποβάθμιση της παρεχόμενης υπηρεσίας στον τελικό χρήστη (π.χ. αύξηση της ισχύος εκπομπής γειτονικών κυψελών).

4.7.5 Αύξηση της ποιότητας που αντιλαμβάνεται ο χρήστης

Με την χρήση της αυτό-βελτιστοποίηση αυξάνεται ο μέσος όρος της ποιότητα των παρεχόμενων ράδιο πόρων συνολικά στο δίκτυο, στο επίπεδο όμως της κυψέλης, η NEC στοχεύει στη βελτίωση της ποιότητας που αντιλαμβάνεται ο χρήστης με τη βελτιστοποίηση ενδο-κυψελικών ράδιο ιδιοτήτων. Η βελτιστοποίηση πρέπει να λάβει υπόψη της πολλούς περιορισμούς τόσο γεωγραφικούς όσο και ιδιαιτεροτήτων των χρηστών,

όπως είναι, η κάλυψη σε δημόσιο χώρο, το δίκτυο μεταφορών στην περιοχή, ο τύπος συνδρομητών κ.α. Η αξιολόγηση εξαρτάται από την εμπειρία του παρόχου και δεν μπορεί να διατυπωθεί ακριβώς, ως εκ τούτου η βελτιστοποίηση είναι δύσκολο να αυτοματοποιηθεί εντελώς.



Σχήμα 25. Η λύση της NEC για βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη για την υπηρεσία [64]

Όπως φαίνεται στο σχήμα 31, η λύση της NEC είναι να ενσωματωθεί ένα ράδιο εργαλείο προγραμματισμού στην αυτό-βελτιστοποίηση. Με αυτό τον τρόπο επιτρέπει στον πάροχο να βρει γρήγορα την καλύτερη διαμόρφωση ενώ βαθμιαία επαναλαμβάνει τη αυτό-βελτιστοποίηση. Συγκεκριμένα, ο χειριστής μπορεί να σχεδιάσει μια αλλαγή στη διαμόρφωση χρησιμοποιώντας λειτουργίες αυτό-βελτιστοποίησης στις ράδιο ιδιότητες, οι οποίες δημιουργούνται από έναν προσομοιωτή ράδιο διάδοσης.

Οι μετρήσεις από UEs συλλέγονται και τροφοδοτούν πίσω το εργαλείο σχεδιασμού. Ο χειριστής μπορεί να αποφασίσει την τροποποίησή ή την οριστικοποίηση της διαμόρφωσης ελέγχοντας τα αποτελέσματα της αλλαγής της διαμόρφωσης στο εργαλείο σχεδιασμού.

4.7.6 Εξοικονόμηση ενέργειας

Η ενέργεια είναι ένα σημαντικό μέρος των δαπανών λειτουργίας ενός κυψελοτού δικτύου. Ως εκ τούτου η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας είναι μια πολύτιμη βελτιστοποίηση. Η κύρια δυνατότητα εξοικονόμησης

προκύπτει από τις αλλαγές στο φορτίο με την πάροδο του χρόνου, το οποίο με την σειρά του θα επέτρεπε σε κάποιες κυψέλες να τεθούν εκτός λειτουργίας, π.χ. κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Ένα σημαντικό κομμάτι της λειτουργίας είναι πώς να ενεργοποιήσουμε πάλι τους πόρους. Το eNodeB πρέπει να ξέρει πότε πρέπει να ξανά-ενεργοποιηθεί. Αυτό μπορεί να είναι είτε μια τοπική απόφαση ή να προκληθεί εξωτερικά. Ως αποτέλεσμα των μεταπτώσεων των eNodeBs, εντός και εκτός λειτουργίας, η διαμόρφωση τις λίστας γειτόνων στα παρακείμενα eNodeBs ενημερώνονται αυτόματα

4.7.7 SON για οικιακό eNodeB

Η εισαγωγή των οικιακών eNodeBs (aka femtocells) αυξάνει σημαντικά τον αριθμό σταθμών βάσης στο δίκτυο και αυτό σημαίνει επίσης ότι ο πάροχος δικτύου έχει λιγότερο έλεγχο στους κόμβους του. Επομένως, υπάρχει μια άμεση ανάγκη για την αυτό-διαμόρφωση των οικιακών eNodeBs. Αυτό μπορεί, σε μεγάλο βαθμό, να αντιμετωπιστεί με επεκτάσεις στο TR-069, το υπάρχον πρωτόκολλο διαχείρισης για τις ευρυζωνικές συσκευές δικτύων πρόσβασης, αλλά υπάρχουν προβλήματα που απαιτούν εξειδικευμένες λύσεις στα οικιακά eNodeB.

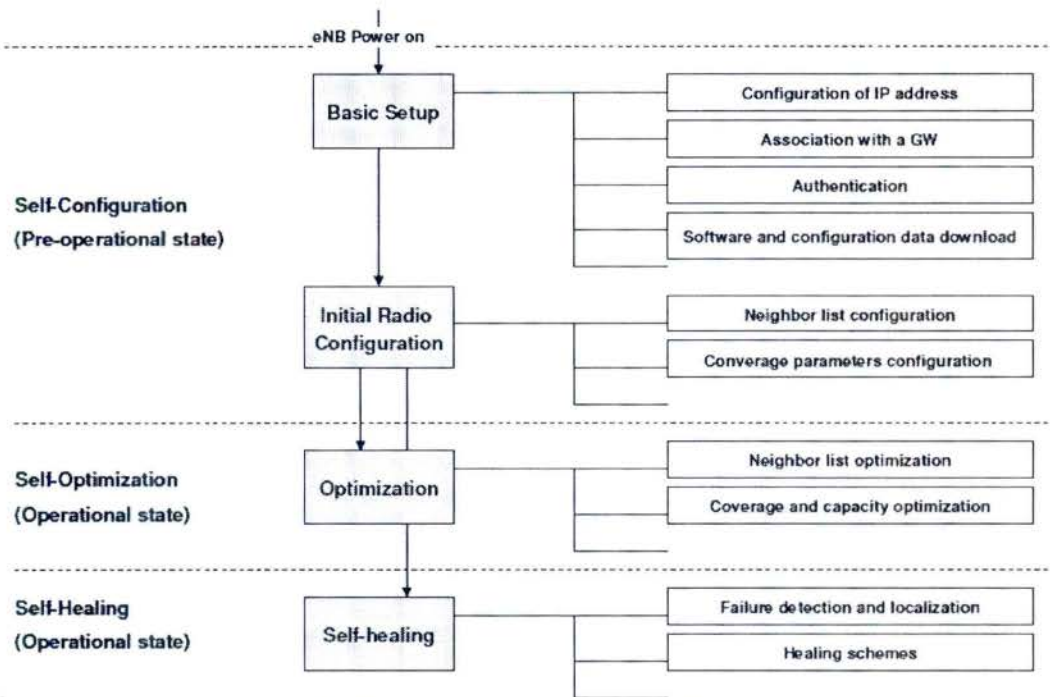
Π.χ., μια σημαντική πρόκληση είναι η παρεμβολή μεταξύ των οικιακών eNodeBs και των μακροκυψελών.

Επομένως, είναι αναγκαίο η πιστοποίηση και ο προσδιορισμός της θέσης του οικιακού eNodeB, πρίν επιτρέπει σε αυτό να εκπέμπει στο εξουσιοδοτημένο ραδιοφάσμα. Επίσης το οικιακό eNodeBs παρακολουθεί τη μετάδοση πληροφοριών διαμόρφωσης από τις περιβάλλουσες μακροκυψέλες, και επιλέγει την κατάλληλη φυσική ταυτότητα κυψέλης (Ph-IDs), ταυτότητα περιοχής (area-IDs), κ.λπ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Τα οφέλη του SON στα LTE

5.1 Το πλαίσιο εργασίας του SON στο LTE

Η κύρια λειτουργία του SON περιλαμβάνει: Αυτό-διαμόρφωση, Αυτό-βελτιστοποίηση και Αυτό-Ίαση. Το σχήμα 23 παρουσιάζει το βασικό πλαίσιο εργασίας του SON [16] and [26].



Σχήμα 26. Το πλαίσιο εργασίας του SON [19]

5.2 Αυτό-διαμόρφωση των Σταθμών Βάσης

Η επέκταση σε νέες τεχνολογίες των δικτύων είναι μια σημαντική επένδυση για οποιοδήποτε φορέα παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Εκτός από το φάσμα και τις δαπάνες εξοπλισμού, ο χειριστής αντιμετωπίζει τις πολλαπλάσιες προκλήσεις σχετικές με τον σχεδιασμό των δικτύων, την ανάθεση και την ολοκλήρωση που οδηγούν συχνά σε δαπάνες υψηλότερες από ότι ο ίδιος ο εξοπλισμός υποδομής. Σήμερα, υπάρχουν διάφορα σχεδιαστικά εργαλεία όπου με την βοήθεια υπολογιστών, οι χειριστές των δικτύων, τα χρησιμοποιούν, για να απλοποιήσουν εργασίες όπως, διάδοση, αυτόματο σχεδιασμό κυψελών (ACP) ή αυτόματο σχεδιασμό συχνοτήτων (AFP).

Εντούτοις, ένα μεγάλο μέρος της διαδικασίας σχετικά με την ολοκλήρωση και τη διαμόρφωση των στοιχείων του δικτύου εκτελείται ακόμα χειροκίνητα. Όταν ένας νέος σταθμός βάσης (δηλ. eNodeB ή eNB) εγκαθίσταται, οι περισσότερες παράμετροι της διαμόρφωσής του, παρέχονται τοπικά από μηχανικούς, όπως και η διασύνδεση του σταθμού με το υπόλοιπο δίκτυο, προσθέτοντας τον στον αντίστοιχο κόμβο συγκέντρωσης (BTS ή RNC) καθώς και διασύνδεσή του στο δίκτυο κορμού. Εκτός των άλλων από τη διαμόρφωση θα πρέπει να καθοριστούν παράμετροι σχετικά με την εκπομπή – λήψη, τον τύπο κεραιών και τον προσανατολισμό τους, την ισχύ εκπομπής, τις σχέσεις γειτόνων, κ.λπ. Όλες αυτές οι διαδικασίες είναι δυσκίνητες, χρονοβόρες, επιρρεπείς σε λάθη, και γενικά, θα απαιτήσουν την παρουσία περισσότερων του ενός ειδικών τηλεπικοινωνιακών μηχανικών, κάνοντας τα ανωτέρω μια ανεπαρκή και δαπανηρή διαδικασία.

Ο στόχος της λειτουργίας αυτό-διαμόρφωσης του SON στα LTE είναι να μειωθεί το ποσό ανθρώπινης επέμβασης στη γενική διαδικασία ώστε η λειτουργία στο eNodeBs να γίνεται αυτόματα (plug & play).

5.2.1 Οφέλη

Η αυτό-διαμόρφωση θα μειώσει το ποσοστό των χειρωνακτικών διαδικασιών που είναι απαραίτητες, στον προγραμματισμό, την ολοκλήρωση και τη διαμόρφωση ενός νέου eNodeB. Αυτό θα οδηγήσει σε μια γρηγορότερη επέκταση δικτύων και μείωση των δαπανών για το χειριστή εκτός από το ότι θα έχει ένα πιο ακέραιο σύστημα διαχείρισης που θα είναι λιγότερο επιρρεπές σε ανθρώπινο λάθος.

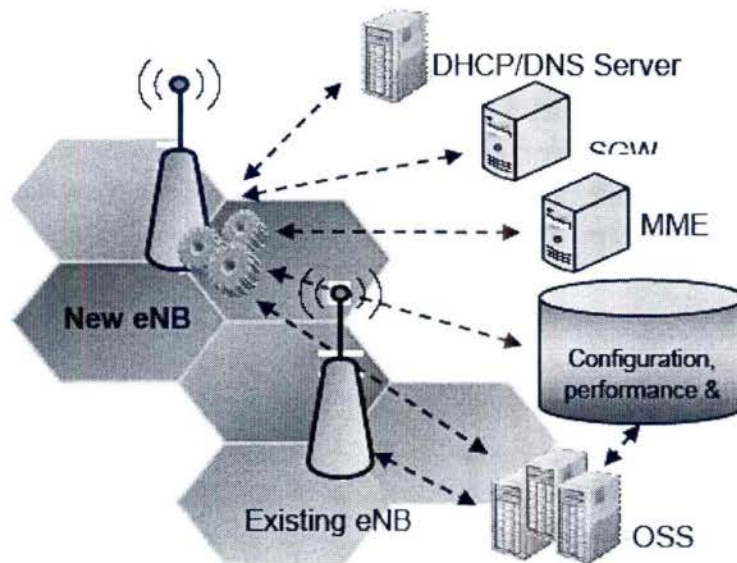
5.2.2 Περιγραφή

Η αυτό-διαμόρφωση είναι μια ευρεία έννοια που περιλαμβάνει διάφορες ευδιάκριτες λειτουργίες που καλύπτονται μέσω των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων του SON, όπως η αυτόματη διαχείριση λογισμικού, η αυτό-διάγνωση δοκιμή και η αυτόματη διαμόρφωση σχέσης με γειτονικές κυψέλες - κόμβους.

Ο αλγόριθμος αυτό-διαμόρφωσης πρέπει να φροντίσει όλες τις πτυχές διαμόρφωσης λογισμικού του eNodeB μόλις αυτό ανατεθεί και τροφοδοτηθεί για πρώτη φορά. Πρέπει να ανιχνεύσει τις διασυνδέσεις και να εγκαταστήσει μια σύνδεση με τους κόμβους του δικτύου κορμού, να κατεβάσει και να αναβαθμίσει την αντίστοιχη έκδοση λογισμικού, να

οργανώσει τις αρχικές παραμέτρους διαμόρφωσης συμπεριλαμβανομένων και των σχέσεων με τους γείτονες, να εκτελέσει αυτό-διάγνωση και τέλος να θέσει τον σταθμό βάσης σε λειτουργία.

Προκειμένου να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι, το eNodeB πρέπει να είναι σε θέση να επικοινωνήσει με διάφορες διαφορετικές οντότητες, όπως απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 27. Αυτό-διαμόρφωση του eNodeB στα LTE [65].

Για να είναι σε θέση να πραγματοποιηθούν επιτυχώς όλες τις λειτουργίες, οι ακόλουθες προϋποθέσεις πρέπει τουλάχιστον να εξασφαλιστούν πριν από την εγκατάσταση του νέου κόμβου:

1. Μια δοκιμή “σχεδιασμού” της κυψέλης στο δίκτυο πρέπει να έχει ολοκληρωθεί με αποτέλεσμα ένα σύνολο παραμέτρων του ραδιοδικτύου-RF, συμπεριλαμβανομένης της θέσης, της ταυτότητας της κυψέλης, της διαμόρφωσης των κεραιών (ύψος, αζιμούθιο & τύπος), της ισχύς εκπομπής, τη μέγιστη χωρητικότητα και την αρχική διαμόρφωση των γειτονικών κυψελών. Αυτές οι πληροφορίες πρέπει να είναι διαθέσιμες στον κεντρικό υπολογιστή διαμόρφωσης.
2. Οι παράμετροι των φορέων (διασυνδέσεων) για το eNB πρέπει να προγραμματιστούν εκ των προτέρων, συμπεριλαμβανομένου του εύρους ζώνης, την τμηματοποίησης σε VLAN, των διευθύνσεων IP, κ.λπ. Η περιοχή των IP διευθύνσεων και η διεύθυνση της πύλης

εξυπηρέτησης (Gateway) που αντιστοιχεί στον κόμβο πρέπει να είναι διαθέσιμες στον κεντρικό υπολογιστή διαμόρφωσης.

3. Ένα ενημερωμένο πακέτο λογισμικού πρέπει να παρασχεθεί από το OSS.

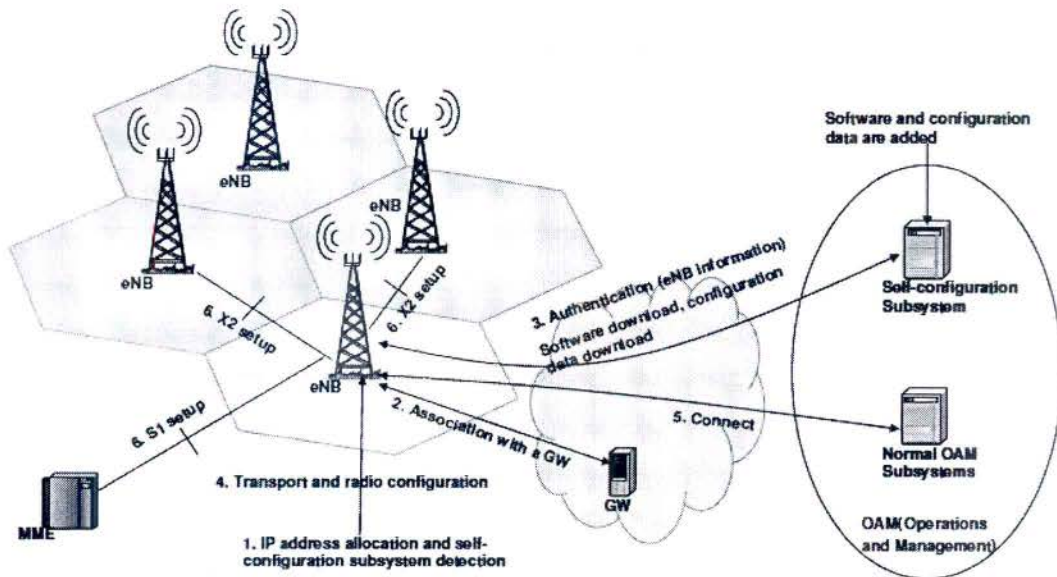
5.2.3 Ενέργειες της Αυτό-διαμόρφωσης

Οι ενέργειες της αυτό-διαμόρφωσης θα πραγματοποιηθούν σε βήματα, αφότου λάβει χώρα η φυσική εγκατάσταση του eNB, η τροφοδοσία του και η διασύνδεση με το δίκτυο κορμού «μεταφορείς»:

- Βήμα 1. Όταν τροφοδοτηθεί, το eNB θα εκτελέσει μια αυτό-διάγνωση, και στην συνέχεια θα ακολουθήσει ένα σετ από λειτουργίες «ανακαλύψεων», οι οποίες περιλαμβάνουν την ανίχνευση του τύπου των μεταφορών, του ενισχυτή ισχύος επάνω στον ιστό (TMA – Tower Mounted Amplifier), την κεραία, το μήκος των καλωδίων της κεραίας και της αυτόματης-ρύθμισης της λήψης. Μετά τη λειτουργία αυτό-ανίχνευσης, το eNB αυτόνομα θα διαμορφώσει τη φυσική σύνδεση με το δίκτυο κορμού και θα εγκαταστήσει μια σύνδεση με τους κεντρικούς υπολογιστές DHCP και DNS, οι οποίοι θα παράσχουν με την σειρά τους, τις διευθύνσεις IP
- Βήμα 2. για το νέο κόμβο προσδίδεται μια πύλη εξυπηρέτησης «Gateway» για να μπορεί να επικοινωνήσει με άλλες δικτυακές οντότητες.
- Βήμα 3. Το eNB παρέχει στο υποσύστημα αυτό-διαμόρφωσης πληροφορίες όπως είναι ο τύπος του, υλικό που το συνθέτει για να γίνει η επικύρωσή του. Στην συνέχεια το eNB «κατεβάζει» το απαραίτητο λογισμικό καθώς και τα δεδομένα διαμόρφωσης από το υποσύστημα αυτό-διαμόρφωσης.
- Βήμα 4. Το νέο eNB διαμορφώνεται με βάση τα δεδομένα που αφορούν στοιχεία μεταφοράς και παραμέτρους του ασύρματου καναλιού.

Βήμα 5. Το νέο eNB συνδέεται με τα υποσυστήματα OAM για άλλες λειτουργίες διαχείρισης.

Βήμα 6. Εγκαθίστανται οι απαραίτητες διεπαφές S1 και X2



Σχήμα 28. Η αυτό-διαμόρφωση του eNB σε βήματα [19]

Εδώ να σημειώσουμε ότι κατά την διάρκεια της εγκατάστασης (Βήμα 4) οι περισσότερες από τις ράδιο παραμέτρους θα έχουν προεπιλεγμένες τις εργοστασιακές τιμές. Μια πιο λεπτομερή βελτιστοποίηση των παραμέτρων θα πραγματοποιηθεί αφότου το eNB βρεθεί σε κατάσταση λειτουργίας (λειτουργίες αυτό-βελτιστοποίησης). Η διαμόρφωση των σχέσεων γειτόνων μπορεί προαιρετικά να εκτελεσθεί μέσω μιας αυτοματοποιημένης λειτουργίας SON που θα εξετάσουμε σε άλλο κεφάλαιο, διαφορετικά η αρχική οργάνωση θα γίνει σύμφωνα με τα αποτελέσματα της άσκησης σχεδιασμού του δικτύου (όπως είδαμε στην παράγραφο 5.1.2).

Αφότου διαμορφώνεται κατάλληλα ο κόμβος, θα εκτελέσει μια λειτουργία αυτό-διάγνωσης (self-test) τόσο στο υλικό όσο και στο λογισμικό και θα παραδώσει μια αναφορά στο κόμβο διαχείρισης του δικτύου. Επίσης, η μονάδα θα ενημερωθεί αυτόματα στη βάση δεδομένων, που θα ενσωματώσει το μοναδικό αναγνωριστικό του υλικού, καθώς επίσης και την τρέχουσα διαμόρφωση και την κατάσταση του κόμβου.

5.2.4 3GPP και Αυτό-διαμόρφωση

Τα τρέχοντα πρότυπα LTE ενσωματώνουν λειτουργίες σχετικές με τη αυτό-διαμόρφωση των eNB, συμπεριλαμβανομένης της αυτόματης διαχείρισης λογισμικού, της αυτό-διάγνωσης, της αυτόματης σχέσης γειτόνων και της αυτόματης διαχείρισης καταλόγων.

Αναμένεται ότι οι πρώτες εκδόσεις των eNB με λειτουργίες αυτό-διαμόρφωσης, θα έχουν τις πτυχές στην διαμόρφωσή τους που θα εξαρτώνται από τον κατασκευαστή, δεδομένου ότι η 3GPP δεν έχει διευκρινίσει πλήρως μια τυποποιημένη λειτουργία αυτό-διαμόρφωσης. Παραδείγματα των ανοικτών περιοχών στα πρότυπα περιλαμβάνουν:

- Μια καθορισμένη διεπαφή μεταξύ των εργαλείων προγραμματισμού των χειριστών του δικτύου, του καταλόγου εξοπλισμού και των διοικητικών οντοτήτων του δικτύου
- Διαμόρφωση των παραμέτρων των μεταφορέων.
- Συγκεκριμένα σχήματα μηνυμάτων για την υλοποίηση της γενικής διαδικασίας.

5.3 Αυτόματη Σχέση Γειτόνων (ANR)

Μια από τις διαδικασίες μεγάλου ενδιαφέροντος στις υπάρχουσες τεχνολογίες ράδιο-επικοινωνιών είναι ο χειρισμός των σχέσεων μεταξύ γειτονικών κυψελών για την διαπομπή (handover). Είναι μια συνεχής δραστηριότητα η οποία γίνεται εντονότερη κατά τη διάρκεια της επέκτασης των δικτύων αλλά προσφέρει και σημαντική χρονοκαθυστέρηση ακόμα και στα ώριμα δίκτυα. Η διαδικασία πολλαπλασιάζεται με διάφορα στρώματα κυψελών όταν έχουμε διάφορα δίκτυα να διαχειριστούμε.

Με το LTE, ένα ακόμα στρώμα από κυψέλες προστίθεται με συνέπεια η βελτιστοποίηση των σχέσεων μεταξύ γειτόνων να γίνεται πιο σύνθετη. Ακόμη και με την καλύτερη μέθοδο, λόγω του μεγάλου μεγέθους των ράδιο-δικτύων, με αρκετές χιλιάδες σχέσεις γειτόνων κάτω από την επίβλεψη ενός μόνο χειριστή (δικτύου), είναι αδύνατο να διατηρήσουμε τις σχέσεις γειτόνων χειροκίνητα. Οι σχέσεις γειτονικών κυψελών είναι επομένως μια προφανής διαδικασία στην οποία μπορεί να γίνει αυτοματοποίηση και η αυτόματη σχέση γειτόνων (ANR) είναι ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα για το SON. Για να πάρουμε τα μέγιστες δυνατότητές του, το ANR πρέπει να υποστηρίζεται

μεταξύ του εξοπλισμού από διαφορετικούς προμηθευτές. Το ANR είναι, επομένως, μια από τις πρώτες λειτουργίες SON που τυποποιούνται στο 3GPP

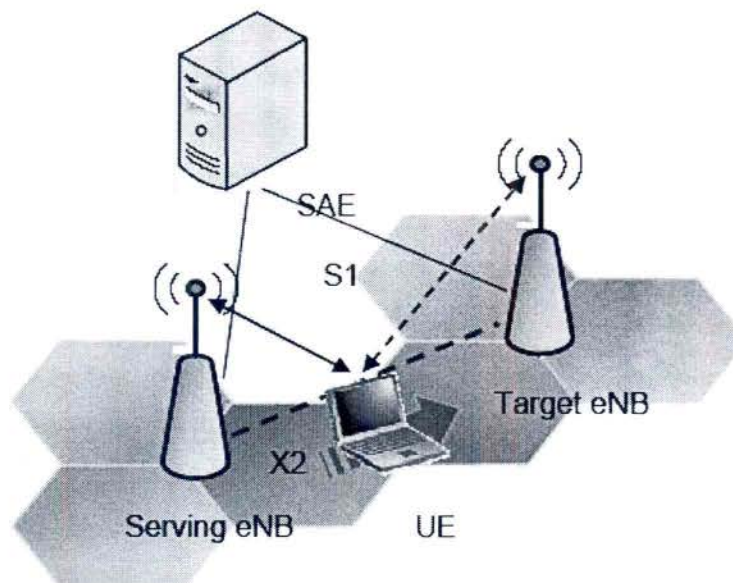
5.3.1 Οφέλη

Το ANR θα αφαιρέσει (ή θα ελαχιστοποιήσει) τουλάχιστον την ανθρώπινη παρέμβαση στο χειρισμό των σχέσεων γειτόνων κατά την εγκατάσταση ενός νέου eNBs ή όταν βελτιστοποιείται η λίστα γειτόνων. Αυτό θα αυξήσει τον αριθμό επιτυχών διαπομπών (handovers) και θα οδηγήσει σε λιγότερες απορριφθείσες συνδέσεις λόγω απώλειας της σχέσης γειτονίας.

5.3.2 Περιγραφή

Το ANR στα LTE επιτρέπει την αυτόματη ανακάλυψη και την οργάνωση των σχέσεων γειτόνων όταν ένας χρήστης (UE) κινείται από ένα eNB προς ένα άλλο eNB. Το ANR επίσης αυτόματα ιδρύει την μοναδική X2 διεπαφή LTE μεταξύ των eNBs και η οποία χρησιμοποιείται πρώτιστα για την διαπομπή (handover).

Υπάρχουν δύο διακριτικές λειτουργίες του LTE που καθιστούν ANR πιθανό:



Σχήμα 29. Το ANR στα LTE [65].

1. Τα UEs στο LTE δεν απαιτούν έναν κατάλογο γειτονικών κυψελών και η αναφορά των άγνωστων κυψελών είναι αρκετά γρήγορη ώστε να γίνει κατά τη διάρκεια της προετοιμασίας της διαπομπής. Επιτρέπει στο ANR να λάβει τις μετρήσεις για διαπομπή σε άγνωστες κυψέλες που δεν είναι γνωστές ακόμα στο eNB που εξυπηρετεί μια σύνδεση.
2. Η δυνατότητα που έχει το eNB να ζητήσει από το UE να κάνει έναν πλήρη προσδιορισμό μίας κυψέλης. Επιτρέπει στο eNB να καθορίσει μια σαφή ταυτότητα μιας γειτονικής κυψέλης.

5.3.3 “Ανακάλυψη” σχέσης γειτόνων

Το UE παραμετροποιείται από το eNB που το εξυπηρετεί, ώστε να αναφέρει άμεσα τις μετρήσεις αφότου εγκατασταθεί η σύνδεση RRC (δηλ. είναι συνδεδεμένος με την κυψέλη) και συνεχίζει να το κάνει έτσι ενώ μένοντας συνδεδεμένο σε τρόπο λειτουργίας RRC. Το UE αναφέρει όλα ανιχνεύσιμα PCIs (φυσικές ταυτότητες κυψελών) – την σύντομη ταυτότητα της κυψέλης LTE – που εκπληρώνει όλα τα κριτήρια μέτρησης που τίθενται από το eNB στη σύνδεση RRC. Το UE μπορεί επίσης να πάρει μετρήσεις σε παλαιότερα συστήματα (δηλ. GSM και WCDMA) εάν φυσικά υποστηρίζει αυτή την λειτουργία.

Εάν υπάρχει μια άγνωστη κυψέλη που περιλαμβάνεται στην έκθεση μετρήσεων το ANR μπορεί να αρχίσει τις ενέργειες ώστε να γίνει γνωστή κυψέλη και να επιτραπεί ενδεχομένως η παράδοση μιας κλήσης (Handover) σε αυτή την κυψέλη.

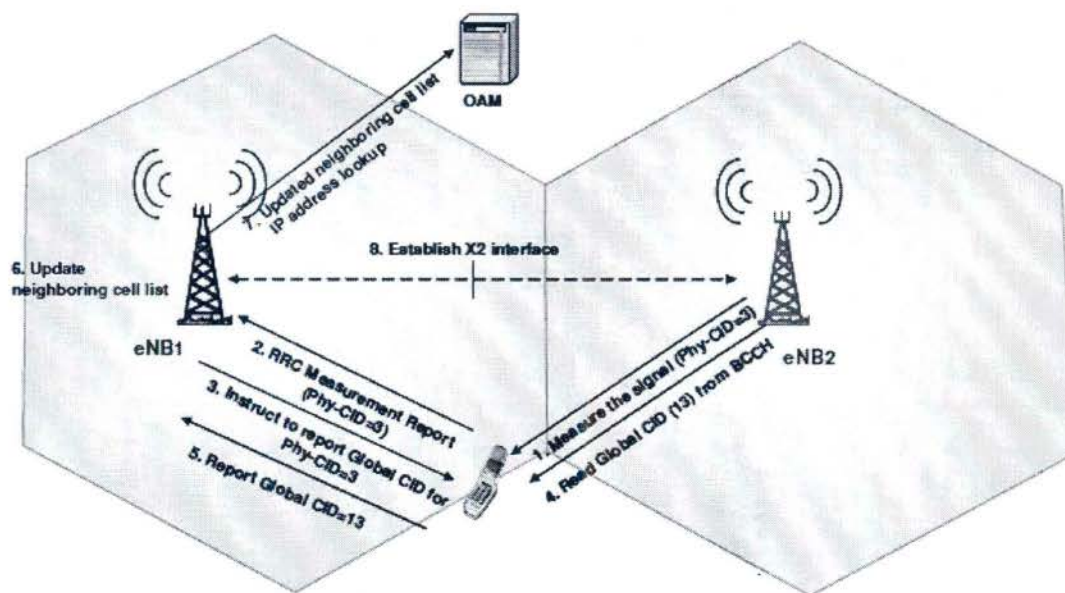
5.3.4 Ενέργειες του ANR

Στο παρακάτω σχήμα 36 δίνουμε σε βήματα ένα παράδειγμα μιας intra-RAT διαδικασίας ANR.

- Βήμα 1. Το UE πραγματοποιεί μετρήσεις σύμφωνα με την καθορισμένη από το E-UTRAN διαμόρφωση για τις μετρήσεις. Το UE σε αυτό το παράδειγμα ανιχνεύει μία E-UTRAN κυψέλη με PhCI = 3.
- Βήμα 2. Το UE στέλνει την αναφορά των μετρήσεων στην κυψέλη που το εξυπηρετεί χρησιμοποιώντας τα PhCID των κυψελών που ανακαλύπτει. Στο παράδειγμά μας στέλνει τις μετρήσεις της κυψέλης με το PhCID 3.
- Βήμα 3. Το eNB λαμβάνει την αναφορά και δίνει εντολή στο UE να αναφέρει την καθολική ταυτότητα της κυψέλης (GCI) με PhCID 3.

- Βήμα 4. Το UE μαθαίνει το GCI της κυψέλης διαβάζοντας το BBCH (Broadcast Control Channel) της κυψέλης που ανιχνευτικέ.
- Βήμα 5. Το UE αναφέρει το GCI της κυψέλης που ανιχνευτικέ στην κυψέλη που το εξυπηρετεί.
- Βήμα 6. Το eNB που εξυπηρετεί το UE ανανεώνει την λίστα γειτονικών κυψελών του.
- Βήμα 7. Το eNB1 που εξυπηρετεί θα στείλει την αναβαθμισμένη λίστα γειτονικών κυψελών στο σύστημα OAM και θα λάβει από το OAM την IP διεύθυνση της κυψέλης που ανιχνεύτηκε (με PhCID 3)
- Βήμα 8. Εάν χρειαστεί, το eNB1 που εξυπηρετεί θα εγκαταστήσει μια νέα X2 διεπαφή με την ανιχνευθήσα κυψέλη (eNB2)

Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι, το eNB1 που εξυπηρετεί και ζητά την οργάνωση της διεπαφής X2 με το eNB2 θα περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα στοιχεία της κυψέλης για να δημιουργήσει μια σχέση γειτόνων (δηλ. PCI, GCI, TAC, ταυτότητα του PLMN και συχνότητα).



Σχήμα 30. ANR σε βήματα [19]

Το eNB2 με την σειρά του, θα προσθέτει την eNB1 κυψέλη εξυπηρέτησης στον κατάλογο γειτόνων του και το eNB2 στέλνει τα αντίστοιχα στοιχεία (PCI, GCI, TAC, ταυτότητα του PLMN και συχνότητα) στην κυψέλη εξυπηρέτησης.

Με τη X2 διεπαφή σε ισχύ, είναι δυνατό να χρησιμοποιήσει η X2 για όλες τις μελλοντικές παραδόσεις (Handovers) μεταξύ των κυψελών. Για

την παράδοση (Handover) από LTE στα παλαιότερα συστήματα (δηλ. GSM και WCDMA), το ANR λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο με εξαίρεση ότι χρειάζεται μόνο να εγκαταστήσει μια σχέση γειτόνων με την κυψέλη στόχο και όχι την εγκατάσταση μιας διεπαφής X2 δεδομένου ότι η παράδοση (Handover) στα συστήματα που δεν είναι LTE εκτελείται πάντα μέσω SAE.

Το ANR μπορεί αυτόματα να αφαιρέσει τις αχρησιμοποίητες σχέσεις γειτόνων βασιζόμενο στην χρήση των σχέσεων, την απόδοση της παράδοσης (Handover) ή σε συνδυασμό αυτών.

Κατά την προσθήκη ή την απομάκρυνση των γειτόνων, το ANR είναι υπό έλεγχο των πολιτικών που τίθενται από το χειριστή. Η «μαύρη» λίστα επιτρέπει στο χειριστή να αποφασίσει τις σχέσεις γειτόνων που το ANR δεν πρέπει ποτέ να προσθέσει ως γείτονες. Η «άσπρη» λίστα επιτρέπει στο χειριστή να αποφασίσει τις μόνιμες σχέσεις γειτόνων που το ANR δεν πρέπει ποτέ να αφαιρέσει. Αυτές οι πολιτικές ελέγχονται από ένα σύστημα διαχείρισης στοιχείων (EMS ή Elements Management System) όπως είναι το OSS.

5.4 Περιοχή Αναζήτησης

Τα ασύρματα δίκτυα χωρίζουν την περιοχή ενδιαφέροντος (περιοχή που θέλουμε κάλυψη) σε μη-επικαλυπτόμενες περιοχές κίνησης (TAs – Traffic Areas). Κάθε TA προσδιορίζεται μεμονωμένα από το προσδιοριστικό της TA (tai - Traffic Area Identifier). Ο εξοπλισμός (UE) των χρηστών όταν τίθεται σε λειτουργία χαρτογραφείται σε ένα (ή περισσότερα) TAs. Τα TAs κατασκευάστηκαν για να διευκολύνουν τη διαδικασία ανεύρεσης (paging).

Όποτε ο MME λαμβάνει μια κλήση για το κινητό M, ελέγχει στο TA του κινητού M, στέλνοντας μια αναζήτηση σε όλα τα eNodeBs στο TA (M). Κάθε eNodeB μεταδίδει μήνυμα στο κανάλι αναζήτησης (Paging Channel), το οποίο παραλαμβάνεται από τα UEs κατά την εκκίνηση τους. Όταν το κινητό M λαμβάνει το μήνυμα αναζήτησης, συνειδητοποιεί ότι υπάρχει μια κλήση τερματισμού για αυτό (μεταφορά στοιχείων), και στέλνει μια απάντηση στον εξυπηρετούντα eNodeB – eNB (M). Το eNB (M) ανταποκρίνεται θετικά στον MME, ο οποίος με την σειρά του θα κατευθυνθεί την κλήση προς το eNB(M). Στη συνέχεια, η διαδικασία

εγκατάστασης της κλήσης οργανώνεται μεταξύ του κινητού M, eNB(M), και MME/ S-GW.

Προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι η MME έχει τις πιο πρόσφατες πληροφορίες για κάθε κινητό από την άποψη του τρέχοντος TAI, όλα τα UEs απαιτείται για να παρέχουν το TAU μόλις συνειδητοποιούν ότι η το εξυπηρετούντα eNodeB τους έχει διαφορετικό TAI. Μια τέτοια αναπροσαρμογή στέλνεται στο τυχαίο κανάλι πρόσβασης (RACH). (Τα συνορεύοντα eNodeB's είναι βασικά τα eNodeBs που είναι στα σύνορα ενός TA). Μια τέτοια δομή οδηγεί σε μια ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ του RACH και του καναλιού αναζήτησης (Paging Channel). Παρατηρούμε ότι εάν το TA κρατιέται μικρό, ένα κινούμενο κινητό θα διέσχιζε πολλά TAs, και θα πρέπει να κάνει μια τυχαία προσπάθεια πρόσβασης σε ένα από τα συνοριακά eNodeB κάθε TA. Εντούτοις, εάν ο αριθμός του eNodeBs σε ένα TA είναι μεγάλος, ο φόρτος του RACH στα συνοριακά eNodeBs θα ήταν λιγότερος, αλλά κάθε τερματισμός κλήσης/μεταφορά στοιχείων σε ένα κινητό M θα οδηγούσε σε μια καθολική (Broadcast) μετάδοση του μηνύματος αναζήτησης από την MME σε κάθε eNodeB στο ίδιο TA.

Αυτό με την σειρά του θα δημιουργούσε επιπρόσθετη κίνηση στους διαύλους επικοινωνίας των περιφερειακών eNodeBs με το δίκτυο κορμού. Επιπλέον, σε κάθε ένα από το eNodeBs, μια «αναζήτηση» δεσμεύει το κανάλι αναζήτησης. Επομένως, ο δημογραφικός καθορισμός του μεγέθους ενός TA είναι ένας συνδυασμός μεταξύ του φορτίου RACH στα συνοριακά eNodeBs και του φορτίου αναζήτησης που προστίθεται στους διαύλους επικοινωνίας των eNodeBs τόσο στην διασύνδεσή τους με το δίκτυο κορμού όσο και στους ράδιο-διαύλους. Εδώ να υπενθυμίσουμε ότι το φορτίο RACH έχει επιπτώσεις μόνο σε μία κυψέλη, ενώ το φορτίο αναζήτησης μεταφράζεται σε ένα μήνυμα καθολικής μετάδοσης σε όλα τα eNodeBs που ανήκουν σε ένα TA.

5.4.1 Οφέλη

Οι χειριστές ασύρματων δικτύων έχουν αναγκαστεί να υιοθετήσουν μη διαδραστικούς μηχανισμούς για την αποτελεσματική και αποδοτική ρύθμιση των περιοχών αναζήτησης. Λόγω της δυσκίνητης φύσης μιας τέτοιας διαδικασίας, οι περισσότεροι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι

δύσκολα αλλάζουν τις περιοχές αναζήτησης των κυψελών τους. Με άλλα λόγια, τα TAI για κάθε κυψέλη αποφασίζονται κατά την διάρκεια της επέκτασης του δικτύου, βασισμένα στα προσδοκώμενα σχέδια κυκλοφορίας, κ.λπ., και αλλάζουν μόνο σε περίπτωση ακραίων υποβαθμίσεων της απόδοσης της κυψέλης. Το SON έχει την δυνατότητα να αλλάξει το TA τόσο κατά την διάρκεια της επέκτασης του δικτύου, χρησιμοποιώντας το προγραμματισμό περιοχής αναζήτησης (TAP), όσο και κατά τη διάρκεια μιας επιπρόσθετης βελτιστοποίησης του δικτύου χρησιμοποιώντας τη βελτιστοποίηση περιοχής αναζήτησης (TAO).

Κατά την διάρκεια της επέκτασης, ο αλγόριθμος TAP προετοιμάζει το αρχικό σχέδιο επέκτασης για τις περιοχές των κυψελών. Η έξοδος του αλγόριθμου TAP καθορίζει σε ποία περιοχή αναζήτησης κάθε ένα eNodeB θα ανήκει. Αντίστοιχα το TAI για κάθε ένα eNodeB προσδιορίζεται κατά τη διάρκεια της φάσης αρχικοποίησης. Τα στοιχεία εισόδου σε έναν τέτοιο αλγόριθμο επέκτασης θα μπορούσαν να είναι τα γεωγραφικά στοιχεία της αγοράς, το μέγεθος και οι τιμές των TAI, οι θέσεις των eNodeB, το μέγεθος αγοράς, κ.λπ.

Μόλις η αρχική επέκταση ολοκληρωθεί, ο αλγόριθμος TAO ελέγχει ενεργά τις αναπροσαρμογές της περιοχής (TAU) και το φορτίο στο ράδιο-κανάλι πρόσβασης (RACH) για να προσδιορίσει συνεχώς τα eNodeBs που είναι κατάλληλα για μια αλλαγή στο TAI τους. Η πρόθεση είναι να βγάλουν συμπεράσματα για τα σχέδια κινητικότητας για κάθε eNodeB. Π.χ, εάν μια εθνική οδός περνά μέσω μιας συστάδας eNodeBs, θα ήταν λογικό τα σύνορα της περιοχής αναζήτησης να μην βρίσκονται επάνω στην εθνική οδό ώστε να αποφεύγεται ένα κινούμενο (επί της εθνικής) UE να μεταπηδά μεταξύ διαφορετικών TAs. Ο αλγόριθμος TAO έχει τη δυνατότητα να προσδιορίσει τέτοια eNodeBs και να τους προσδιορίσει στο κατάλληλο TA.

5.5 Προγραμματισμός του PCI

Για μπορέσει κάθε UEs να προσδιορίζει την πηγή ενός λαμβάνοντος σήματος, σε κάθε eNodeB δίνεται μια η φυσική ταυτότητα κυψέλης (PhCI).

Τα δύο κριτήρια για την απόδοση της τιμής του PhCI σε μία κυψέλη είναι:

1. Το PhCI της νέας κυψέλης δεν θα πρέπει να είναι το ίδιο με οποιοδήποτε από τις γειτονικές της κυψέλες.
2. Τα PhCIs των γειτονικών κυψελών δεν πρέπει να είναι τα ίδια.

Με βάση την προδιαγραφή του φυσικού στρώματος για το LTE που παρουσιάζεται από τη 3GPP στο TS 36.211-840, υπάρχουν συνολικά 504 μοναδικές σε φυσικό επίπεδο ταυτότητες κυψελών. Αυτές οι φυσικές ταυτότητες των κυψελών ομαδοποιούνται σε 168 μοναδικές ομάδες ταυτότητας, όπου κάθε ομάδα περιέχει τρεις μοναδικές ταυτότητες. Η γενική ταυτότητα PCI κατασκευάζεται από τον αρχικό και δευτεροβάθμιο συγχρονισμό IDs ως εξής:

$$PCI = 3N_{ID}^{(1)} + N_{ID}^{(2)}$$

Όπου, $3N_{ID}^{(1)}$ παίρνει τιμές από 0 έως 167, αντιπροσωπεύοντας την ταυτότητα της ομάδας στο φυσικό επίπεδο που ανήκει η κυψέλη, και $N_{ID}^{(2)}$ παίρνει τιμές από 0 έως 2, και αντιπροσωπεύει την ταυτότητα του φυσικού επιπέδου μέσα στην ταυτότητα της ομάδας στο φυσικό επίπεδο που ανήκει η κυψέλη. Το PCI διατίθεται σε κάθε eNodeB κατά την διάρκεια της εγκατάστασης. Με βάση το διατιθέμενο IDs, το eNodeB εκπέμπει το PhCI ως ένα κομμάτι (preamble) της επικεφαλίδας στο κανάλι συγχρονισμού (SCH) στην κάτω ζεύξη. Τα UEs στην περιοχή υπηρεσιών του λαμβάνουν αυτή την επικεφαλίδα, και έτσι είναι ικανά να προσδιορίσουν το eNodeB, και την αντίστοιχη ποιότητα σήματος. Είναι όμως πιθανό, ένα UE να διαπιστώσει ότι υπάρχουν δύο eNodeBs που έχουν το ίδιο PCI. Αυτό είναι δυνατό δεδομένου ότι τα PCIs επαναχρησιμοποιούνται από πολλαπλά eNodeBs. Εδώ να σημειώσουμε ότι υπάρχουν μόνο 504 PCIs, και μια τυπική αγορά μπορεί να έχει 200 έως 300 περιοχές κυψελών, υποθέτοντας τρία eNodeBs ανά περιοχή κυψέλης, οδηγούμαστε σε περίπου χίλια eNodeBs σε μια τυπική αγορά. Επομένως, ο φορέας παροχής υπηρεσιών πρέπει προσεκτικά να αποφασίσει το PCI για κάθε eNodeB για να σιγουρευτεί ότι τέτοιες συγκρούσεις δεν θα συμβαίνουν, ή θα ελαχιστοποιηθούν.

Οι τυπικοί φορείς παροχής υπηρεσιών χρησιμοποιούν, σε μη πραγματικό χρόνο ένα εργαλείο σχεδιασμού ή εξαρτώνται από τη χειρωνακτική εργασία σχετικά με την ανάπτυξη ενός σχεδίου επέκτασης PCI για την αγορά ενδιαφέροντος. Το σχέδιο χρησιμοποιεί βασικές

πληροφορίες, όπως η θέση του eNodeB, οι πιθανοί γείτονες, κ.λπ., για να καθορίσει το PCI για κάθε eNodeB. Μια τέτοια κατανομή αναθεωρείται προσεκτικά για να εξασφαλίσει ότι η αγορά δεν έχει οποιεσδήποτε συγκρούσεις PCI. Ως εκ τούτου οι καθορισμένες τιμές PCI προσδίδονται χρησιμοποιώντας αρχεία διαμόρφωσης κατά την εγκατάσταση ή εισάγονται χειρονακτικά από το προσωπικό. Μια τέτοια διαδικασία είναι δεδομένο πως δεν μπορεί ακολουθήσει αλλαγές του δικτύου και είναι επιρρεπής σε ανθρώπινα λάθη.

5.5.1 Οφέλη

Οι μηχανισμοί SON επιτρέπουν στο χειριστή για να αυτοματοποιήσουν αυτήν την κουραστική διαδικασία που περιγράφεται ανωτέρω στην παράγραφο 5.4.

Στο πλαίσιο SON, μόλις το eNodeB τροφοδοτείται, κατά τη διάρκεια της φάσης αυτόματης-διαμόρφωσης, του προσδίδεται ένα PCI (το οποίο είναι μια αρχική και δευτεροβάθμια ταυτότητα συγχρονισμού). Ένα τέτοιο PCI καθορίζεται από την χρήση ενός προγραμματιστικού εργαλείου για το PCI (PPT – PCI Programming Tool) το οποίο που όχι μόνο χρησιμοποιεί τις κατ' εκτίμηση πληροφορίες για την περιοχή κάλυψης για κάθε eNodeB, αλλά και επιβάλλει σημαντικό περιθώριο και διαχωρισμό μεταξύ δύο eNodeBs στα οποία διατίθεται το ίδιο PCI. Το SON εξασφαλίζει ότι κάθε eNodeB θα έχει μια τιμή PCI κατά την διάρκεια της εγκατάστασης χωρίς απαίτηση της ανθρώπινης επέμβασης.

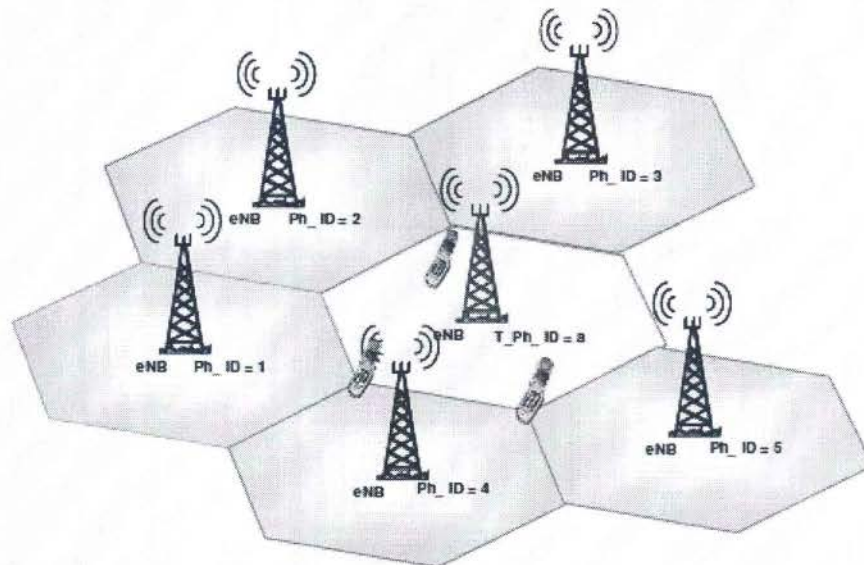
Στη συνέχεια, κατά τη διάρκεια της φάσης λειτουργίας, κάθε eNodeB συλλέγει τις πληροφορίες σχετικά με οποιεσδήποτε συγκρούσεις PCI. Εδώ να σημειώσουμε ότι οι συγκρούσεις PCI μπορεί να συμβούν λόγω των λαθών κατά τη διάρκεια της αρχικής φάσης προγραμματισμού των PCI, της επέκτασης νέου eNodeBs, των αλλαγών στα δημογραφικά στοιχεία μιας αγοράς, της ισχύος εκπομπής των eNodeBs, κ.λπ.

Όποτε ένα LTE UE έχει λήψη από δύο eNodeBs με το ίδιο PCI, ενημερώνει το εξυπηρετούντα eNodeB για τη σύγκρουση. Ένας τέτοιος συναγεμός αναμεταδίδεται στο μηχανισμό OSS/SON, ο οποίος συλλέγει και καταγράφει τις λεπτομέρειες τέτοιων συγκρούσεων. Ο χειριστής μπορεί έπειτα να αποφασίσει, σχετικά με ένα κατάλληλο χρονικό διάστημα για την ενεργοποίηση του εργαλείου βελτιστοποίησης PCI (POT), (π.χ. να σχεδιάσει μια τέτοια δραστηριότητα κατά τη διάρκεια του

μιας χρονικής περιόδου με μικρή κίνηση - νυχτερινή περίοδος). Ο αλγόριθμος POT χρησιμοποιεί τα τις καταγραφές, τους συναγερούς και τους ενημερωμένους χάρτες κάλυψης προκειμένου να προσδιοριστεί το eNodeBs για το οποίο το PCI πρέπει να αλλαχτεί και η σχετική νέα τιμή PCI που πρέπει να πάρει. Επιπλέον, ο αλγόριθμος SON εξασφαλίζει ότι οι πληροφορίες αναμεταδίδονται στο σωστό eNodeBs. Μετά την λήψη του μηνύματος για αλλαγή PCI, το eNodeBs θα θέσει μια περίοδο αναμονής προτού να αρχίσουν να λαμβάνουν χώρα οι αλλαγές στις τιμές PCI.

5.5.2 Αυτόματη απόδοση PCI

Στο παρακάτω σχήμα 37 δίνεται ένα παράδειγμα αυτόματης διαμόρφωσης του PCI καθώς δεν έχει ακόμα προτυποποιηθεί. [27]



Σχήμα 31. Απόδοση PCI σε μια νέα κυψέλη [19].

Στο σχήμα 37 με κόκκινο χρώμα εμφανίζεται μια νέα κυψέλη για την οποία η διαδικασία αυτόματης διαμόρφωσης του PCI θα εφαρμόσει τα ακόλουθα βήματα [27].

- Βήμα 1. Όταν η διαδικασία αρχίζει, η νέα κυψέλη εκκινεί ένα χρονόμετρο για αυτήν την φάση διαμόρφωσης.
- Βήμα 2. Ένα σύνολο από PCIs, καθορίζονται ως προσωρινό σύνολο PCIs. Η νέα κυψέλη επιλέγει μια προσωρινή φυσική ταυτότητα κυψέλης τυχαία από αυτό το σύνολο.
- Βήμα 3. Σύμφωνα με τη λειτουργία ANR, το UE αναφέρει τις κυψέλες που ανίχνευσε και το PCI τους στην κυψέλη που το

εξυπηρετεί. Έτσι οι κυψέλες γύρω από τη νέα κυψέλη λαμβάνουν την αναφορά για τη νέα κυψέλη και η νέα κυψέλη λαμβάνει την αναφορά των περιβαλλόντων κυψελών. Από τη λειτουργία ANR, λαμβάνουν επίσης τη σφαιρική ταυτότητα των κυψελών (GCID) εκείνων που έχουν αναφερθεί.

- Βήμα 4. Η νέα κυψέλη προσθέτει τις αναφερόμενες κυψέλες στην λίστα των γειτονικών κυψελών της. Επίσης ανακτά τις IP διευθύνσεις των γειτονικών κυψελών και εγκαθιστά τη X2 σύνδεση εάν είναι απαραίτητο.
- Βήμα 5. Εκείνες οι κυψέλες, που λαμβάνουν την αναφορά για την νέα κυψέλη, προσθέτουν τη νέα κυψέλη στην λίστα των γειτονικών τους κυψελών, ανακτούν την IP διεύθυνση της νέας κυψέλης και εγκαθιστούν X2 συνδέσεις με την νέα κυψέλη εάν είναι απαραίτητο. Το ποίος θα προκαλέσει την έναρξη της X2 σύνδεσης, δηλαδή η νέα κυψέλη ή οι περιβάλλουσες κυψέλες, εξαρτάτε από ποιος θα ανιχνεύει τη σχέση γειτονιάς πρώτα.
- Βήμα 6. Αφότου εγκατασταθεί η X2 σύνδεση, οι περιβάλλουσες κυψέλες ανταλλάσσουν την λίστα των γειτονικών τους κυψελών με την νέα κυψέλη. Κατά συνέπεια, η νέα κυψέλη ανακτά τις σχέσεις γειτονιάς των κυψελών που την περιβάλλουν.
- Βήμα 7. Όταν εκπνεύσει ο χρονομετρητής, η νέα κυψέλη συλλέγει όλες τις πληροφορίες, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οι λίστες των γειτονικών κυψελών και οι λίστες των γειτονικών κυψελών των γειτονικών της κυψελών. Κατόπιν η νέα κυψέλη επιλέγει μια φυσική ταυτότητα κυψέλης που να ικανοποιεί τα δύο κριτήρια, τα οποία εξηγήσαμε πριν (5.5).
- Βήμα 8. Η νέα κυψέλη ενημερώνει τις γειτονικές της κυψέλες ότι έχει αλλάξει τη φυσική ταυτότητα της. Με την σειρά τους οι γειτονικές κυψέλες ενημερώνουν τον πίνακα σχέσης γειτονιάς τους αναλόγως.

Κατά την φάση της διαμόρφωσης, κάποιες συγκρούσεις θα σημειωθούν, όπως π.χ δύο νέες κυψέλες να επιλέξουν την ίδια προσωρινή φυσική ταυτότητα κυψέλης και να είναι γειτόνοι. Η σύγκρουση θα ανιχνευτεί κατά την διάρκεια των διαδικασιών διαμόρφωσης και μία από τις διαδικασίες διαμόρφωσης θα επανεκκινήσει προκειμένου να δοθεί σε μία από τις δύο κυψέλες ένα διαφορετικό PhCI.

5.6 Εξισορρόπηση Φορτίου (Load Balancing)

Ο όρος εξισορρόπηση φορτίου κινητικότητας (MLB) θα χρησιμοποιηθεί σε αυτή την παράγραφο για να αναφερθεί συγκεκριμένα στο επίπεδο των κυψελών του δικτύου (eNodeB) μόνο και όχι στο δίκτυο κορμού (MME). Ο στόχος του MLB είναι να διανέμει την κίνηση των χρηστών στους ράδιο-πόρους του συστήματος προκειμένου να παρασχεθούν ποιότητα υπηρεσίας και υψηλή απόδοση δικτύου στον τελικό χρήστη.

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί από έναν ή από συνδυασμό αλγορίθμων που εκτελούν την εξισορρόπηση για τους χρήστες. Αυτοί οι αλγόριθμοι SON για μπορούν να εκτρέψουν την κυκλοφορία από ένα στοιχείο του δικτύου σε ένα άλλο, πρέπει να μπορούν να έχουν την δυνατότητα να χειριστούν μεταφορείς διαφορετικού τύπου –καθώς και στοιχεία διαφορετικής τεχνολογίας ώστε για να εξασφαλιστεί η ανεμπόδιστη παροχή των υπηρεσιών στους χρήστες. Η πραγματική μεταφορά των χρηστών ολοκληρώνεται με την τροποποίηση, είτε των παραμέτρων των γειτονικών κυψελών, είτε συγκεκριμένων παραμέτρων του χρήστη. Αυτό απαιτεί το συντονισμό με τους ανταγωνιστικούς αλγορίθμους του SON και τυποποίηση των ανταλλασσόμενων μηνυμάτων σε ένα δίκτυο με εξοπλισμό από πολλούς κατασκευαστές για να εξασφαλιστεί η δυναμικότητα και η σταθερότητα του δικτύου.

Η εφαρμογή των αλγορίθμων MLB εξαρτάται από την αρχιτεκτονική. Ανά περίπτωση μπορούν να δοθούν παραδείγματα για τους αλγορίθμους MLB είτε για διανεμημένα δίκτυα είτε για συγκεντρωτικά. Γενικά, η επιλεγμένη αρχιτεκτονική εξαρτάται από την τεχνολογία πρόσβασης. Τα LTE μπορεί να ταιριάζουν καλύτερα σε έναν διανεμημένο αλγόριθμο που χρησιμοποιεί τη διεπαφή X2 , ενώ οι τεχνολογίες με αρχιτεκτονική BSC/RAN ή micro-diversity ευνοούνται από μια συγκεντρωμένη προσέγγιση.

Για τα LTE.

- **Διανεμημένη LB:** Οι αλγόριθμοι τρέχουν τοπικά στους σταθμούς βάσεων. Οι πληροφορίες φόρτου ανταλλάσσονται μεταξύ των σταθμών βάσεων έτσι ώστε οι παράμετροι HO (idle/active παράδοσης κλήσης) μπορούν να ρυθμιστούν και επίσης μπορούν να γίνουν ρυθμίσεις στη λειτουργία RRM

- **Συγκεντρωμένη LB:** Αλγόριθμοι που οργανώνονται σε ένα βασικό OSS στοιχείο. Οι σταθμοί βάσεων παρέχουν τις πληροφορίες φορτίου σε μια κεντρική οντότητα η οποία αποκρίνεται έπειτα με τις κατάλληλες τροποποιήσεις στις παραμέτρους του HO (idle/active).

Σε κάθε περίπτωση (Διανεμημένη ή Συγκεντρωμένη), υποτίθεται ότι θα υπάρξουν συγκεντρωμένες διαδικασίες λειτουργίας, διαχείρισης και Συντήρησης (OA&M) για έναν χειριστή ώστε αν μπορεί να ενεργοποιεί/απενεργοποιεί και να διαμορφώνει τις σχετικές παραμέτρους του αλγορίθμου.

5.6.1 Οφέλη

Ο στόχος της εξισορρόπησης του φορτίου κίνησης (MLB) είναι η έξυπνη διασπορά της κίνησης των χρηστών σε όλους τους ράδιο-πόρους του συστήματος προκειμένου να αυξηθεί η ποιότητα της υπηρεσίας καθώς και η απόδοση, με ταυτόχρονη βελτιστοποίηση της χωρητικότητας του συστήματος. Η αυτοματοποίηση αυτής της διαδικασίας, ελαχιστοποιεί την ανθρώπινη επέμβαση στις εργασίες διαχείρισης και βελτιστοποίησης του δικτύου.

5.6.2 Περιγραφή

Η εξισορρόπηση φορτίων αναφέρεται σε παρόμοια στοιχεία του δικτύου που προορίζονται να μοιραστούν το φορτίο κίνησης. Τα παρόμοια στοιχεία δικτύου μπορεί να είναι π.χ πύλες πακέτων (packet gateway), MMEs, σταθμοί βάσης τομείς κ.α. Στα LTE, μια στιβάδα από MME αναμένεται να μοιραστεί το φορτίο κίνησης των χρηστών κατά μήκος διαφορετικών MMEs καθώς το φορτίο αυξάνεται, ενώ τα eNBs μπορεί να έχουν RRM λειτουργίες για να μοιράζονται κίνηση από γειτονικές κυψέλες προκειμένου να αυξηθεί η χωρητικότητα του συστήματος. Κατά συνέπεια, διαφορετικοί αλγόριθμοι πραγματικού χρόνου σε διαφορετικούς κόμβους μπορούν ταυτόχρονα να παρέχουν την εξισορρόπηση του φορτίου της κίνησης των χρηστών ανά στοιχείο δικτύου όπως απαιτείται. Επιπλέον, η μακροπρόθεσμη συμπεριφορά της κίνησης σε κάθε κόμβου μπορεί να παρακολουθηθεί έτσι ώστε η κυκλοφορία να μπορεί να "κατευθύνεται" ανάλογα με την συγκέντρωση της σε ένα τμήμα του δικτύου. Π.χ, αυτό θα μπορούσε να είναι ένα επιθυμητό χαρακτηριστικό γνώρισμα για ένα δίκτυο όπου περιοδικές ή

σχεδιασμένες συγκεντρώσεις των χρηστών εμφανίζονται τακτικά (π.χ. τα αθλητικά γεγονότα κ.λπ.).

Η κατανομή της κίνησης σε κατάσταση ηρεμίας έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στις επεκτάσεις των δικτύων 2G/3G για να εξισορροπηθεί η κίνηση στους μεταφορείς, αλλά κάτι τέτοιο σε πραγματικό χρόνο (δηλαδή η τροποποίηση στις παραμέτρους ώστε να γίνει επανεπιλογή κυψέλης από τους χρήστες) είναι κάτι που χρειάζεται μηχανισμούς αυτό-οργάνωσης (SON).

Η απόφαση "να εξισορροπηθεί" μία κυψέλη ή να μετακινηθεί ένας συγκεκριμένος είναι μία διεργασία η οποία θα πρέπει να λάβει πολλούς παράγοντες υπόψη της. Δεν είναι επιθυμητό να σταλεί ένας χρήστης σε μια άλλη κυψέλη (δηλ. γειτονική) εάν αυτό συνεπάγεται μειωμένη ποιότητα υπηρεσίας (QoS) ή μια χαμηλότερη απόδοση της κυψέλης που θα τον εξυπηρετήσει σε σχέση με την κυψέλη που τον εξυπηρετούσε, ή εάν η το αποτέλεσμα της εξισορρόπησης να οδηγήσει στη μειωμένη χωρητικότητα/χρησιμοποίηση του συστήματος.

5.6.3 Πως καθορίζεται μία κατάσταση «μη-εξισορρόπησης» φορτίου

Οι μηχανισμοί εξισορρόπησης φορτίου κίνησης πρέπει να λειτουργήσουν μαζί με το χρονοπρογραμματιστή και τον έλεγχο αποδοχής. Για χρήστες (που δεν είναι εγγυημένος ο ρυθμός μετάδοσης non-GBR), δεν υπάρχει κανένας περιορισμός στην ελάχιστη απόδοση που εκείνοι οι χρήστες θα λαμβάνουν από το σύστημα παρά μόνο ένας περιορισμός του μέγιστου αριθμού χρηστών ανά κύτταρο (έλεγχος αποδοχής) και ίσως μια ελάχιστη ρυθμαπόδοση (χρονοπρογραμματιστής). Για τους χρήστες GBR (Guaranteed Bit Rate), ο χρονοπρογραμματιστής είναι ζωτικής σημασίας για να εξασφαλίσει τους απαραίτητους ράδιο-πόρους με έναν τρόπο που να ικανοποιεί τη συγκεκριμένη παρεχόμενη υπηρεσία.

Επομένως, ένα σύστημα μπορεί να θεωρηθεί ότι βρίσκεται σε "ισορροπία" εφ' όσον δεν υπάρχουν χρήστες που να απορρίπτουν τους δοθέντες πόρους και όλες οι ενεργές υπηρεσίες υποστηρίζονται στο πλαίσιο των αναγκών της προσδοκώμενης ποιότητας υπηρεσίας (QoS) τους.

θα μπορούσαν να εφαρμοστούν «όρια» όπου χαμηλές, μέσες και υψηλές καταστάσεις φορτίου κίνησης θα εξισώνονται απλά σε έναν δεδομένο αριθμό ενεργών χρηστών στην κυψέλη για την περίπτωση non-GBR. Αυτά τα όρια μπορούν να χρησιμεύσουν ως σκανδαλιστές για να τροποποιηθούν οι παράμετροι της εξισορρόπησης σε κατάσταση ηρεμίας ή να γίνει διαπομπή (handover) των ενεργών χρηστών σε γειτονικές κυψέλες. Εντούτοις, απαιτείται η λήψη έξυπνων μετρήσεων για τους χρήστες GBR δεδομένου ότι είναι δυνατό για έναν μικρό αριθμό τέτοιων χρηστών "να φορτωθεί" μία κυψέλη ανάλογα με τις απαιτήσεις τους.

5.6.4 Εξισορρόπηση σε κατάσταση ηρεμίας (Idle)

Το σύστημα LTE δεν έχει εικόνα σε πραγματικό χρόνο ανά κυψέλη των χρηστών που βρίσκονται σε ηρεμία (δηλαδή δεν κάνουν χρήση κάποιας υπηρεσίας). Ο μόνος χρόνος που το σύστημα ενημερώνεται για την κυψέλη στην οποία βρίσκεται ένας χρήστης (ο οποίος είναι σε κατάσταση ηρεμίας) είναι όταν η περιοχή αναζήτησης (Tracking Area) του χρήστη αλλάξει και ένα μήνημα TAU (Tracking Area Update) στέλνεται από UE. Επομένως, ενώ οι παράμετροι που ελέγχουν το πώς και πότε ένα UE εκτελεί επανεπιλογή κυψέλης (Idle handover) είναι τροποποιήσιμες, δεν υπάρχει κανένας άμεσος μηχανισμός μέτρησης για το σύστημα, για να καθορίσει πότε υπάρχουν "πάρα πολλοί" χρήστες σε κατάσταση ηρεμίας. Ταυτόχρονα αυτοί οι «πάρα πολλοί» χρήστες που βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας δεν έχουν άμεση επίπτωση στην χωρητικότητα του δικτύου και στην μείωση της ποιότητας υπηρεσίας των ενεργών χρηστών.

Η λύση σε σχέση με τα παραπάνω είναι να ρυθμιστούν οι παράμετροι επανεπιλογής κυψέλης για τους χρήστες που βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας, βασισμένες στην τρέχουσα κατάσταση των ενεργών χρηστών. Δεδομένου ότι η σε πραγματικό χρόνο η κυκλοφορία ή οι απαιτήσεις σε QoS αυξάνονται σε μία κυψέλη, θα ήταν δυνατό για μία κυψέλη να ρυθμίσει τις παραμέτρους επανεπιλογής κυψέλης έτσι ώστε να αναγκαστούν οι χρήστες που βρίσκονται στα άκρα της κυψέλης να επιλέξουν να μεταφερθούν στην ισχυρότερη γειτονική κυψέλη ή να εξαναγκάσει έναν χρήστη σε διαπομπή (Handover) σε έναν μεταφορέα που έχει περισσότερους πόρους διαθέσιμους.

Η προσοχή πρέπει να ληφθεί για τον συντονισμό των ρυθμίσεων των παραμέτρων μεταξύ των κυψελών (δηλ. τη διεπαφή X2) προκειμένου να αποτραπεί η ασυνέχεια της παροχής υπηρεσίας καθώς επίσης και στις ρυθμίσεις των παραμέτρων για τους ενεργούς χρήστες ώστε να αποφεύγεται η άμεση διαπομπή κατά την μετάβαση από κατάσταση ηρεμίας σε ενεργή κατάσταση για έναν χρήστη.

5.6.5 Ενεργή Εξισορρόπηση

Το πλεονέκτημα της ενεργού εξισορρόπησης φορτίου κίνησης είναι ότι το σύστημα έχει έναν άμεσο μηχανισμό μέτρησης και τη γνώση των απαιτήσεων κίνησης για κάθε χρήστη και ράδιο-πόρων. Επομένως, από κοινού με το χρονοπρογραμματιστή και τις διεπαφές με άλλους σταθμούς βάσης (X2 διεπαφή), είναι δυνατό να ληφθούν οι σωστές αποφάσεις για "διαπομπές (HO) βασισμένες στο φορτίο κίνησης". Ένας κώδικας για διαπομπή «Βασισμένη στο φορτίο κίνησης» θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια του μηνύματος παράδοσης (HO) για να επιτρέψει τη γνώση της κυψέλης που θα γίνει η διαπομπή (θα αποδεχθεί τον χρήστη) προκειμένου να αποφευχθεί μία άμεση επιστροφή του χρήστη στην αρχική κυψέλη λόγω των ορίων (στάθμες ισχύος) που έχουν καθοριστεί για την έναρξη μιας διαπομπής.

5.7 Αύξηση κινητικότητας / Βελτιστοποίηση Διαπομπής (HO)

Η βελτιστοποίηση της αύξησης της κινητικότητας (MRO) καλύπτει την αυτοματοποιημένη βελτιστοποίηση των παραμέτρων οι οποίες έχουν επίπτωση στις διαπομπές (HOs), σε κατάσταση ηρεμίας (idle mode) ή σε κατάσταση χρήσης (active mode), για να εξασφαλίσει την απόδοση και την υψηλή ποιότητα υπηρεσίας στον τελικό χρήστη ενώ ταυτόχρονα ελέγχει για πιθανές αλληλοεπιδράσεις με άλλες δυνατότητες του SON όπως το ANR και το LB.

Ενώ ο στόχος του MRO είναι ο ίδιος ανεξάρτητα από τη ράδιο-τεχνολογία (δηλαδή η βελτιστοποιημένες απόδοση της υπηρεσίας στον τελικό χρήστη και η αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου), οι χρησιμοποιούμενοι αλγόριθμοι και οι παράμετροι τους ποικίλλουν ανάλογα με το τεχνολογικό υπόβαθρο. Η περιγραφή για τα παρακάτω

αφορά τα LTE έκδοση 8 και 9, με προσέγγιση μίας ζεύξης και την χρήση διεπαφής X2 μεταξύ των eNodeBs.

Είτε με διανεμημένη είτε με συγκεντρωμένη εφαρμογή της λειτουργία του MRO (η διανεμημένη είναι πιο εφαρμόσιμη) υποτίθεται ότι θα υπάρξει συγκεντρωτικός έλεγχος O&M από τον χειριστή του δικτύου για να μπορεί να ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί και διαμορφώνει τις ρυθμίσεις των σχετικού αλγόριθμου.

5.7.1 Οφέλη

Ο στόχος του MRO είναι να βελτιωθεί δυναμικά η απόδοση δικτύων όσο ν' αφορά τις διαπομπές (HO) προκειμένου να απολαμβάνουν οι χρήστες αυξημένη ποιότητας υπηρεσίας καθώς επίσης και να αυξηθεί η χωρητικότητα του δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται με αυτόματη προσαρμογή των παραμέτρων των κυψελών ώστε να γίνει ρύθμιση του σημείου που θα γίνεται διαπομπή βασισμένη σε ανατροφοδότηση από δείκτες απόδοσης. Η αυτοματοποίηση αυτού ελαχιστοποιεί την ανθρώπινη επέμβαση στην διαχείριση του δικτύου και τις εργασίες βελτιστοποίησης του.

5.7.2 Περιγραφή

Το MRO όπως περιγράφεται παραπάνω υποθέτει ένα καλά σχεδιασμένο δίκτυο με επικάλυψη (RF) των γειτονικών περιοχών. Για την βελτιστοποίηση των παραμέτρων της διαπομπής (HO) από τους χειριστές των συστημάτων του δικτύου, ακολουθούνται διαδικασίες στοχευόμενης δοκιμής (για μια περιοχή ενδιαφέροντος), συλλογή των στοιχείων και στην συνέχεια επεξεργασία για να εξάγουν συμπεράσματα για τις τιμές που πρέπει να αποδοθούν (στις παραμέτρους). Πέρα της επίπονης και αρκετά χρονοβόρας διαδικασίας που απαιτητέ για την συλλογή και αξιολόγηση των στοιχείων, μία λάθος τιμή σε μία παράμετρο HO, μπορεί να μειώσει σημαντικά την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας σπαταλώντας πόρους από το δίκτυο με το να δημιουργηθεί μία κατάσταση όπου π.χ ένας χρήστης μεταπηδά (ping-pong) από την μία κυψέλη σε κάποια άλλη και πάλι πίσω, με την αποτυχία μίας διαπομπής (HO) και αποτυχία των ράδιο-ζεύξεων (RLF). Ενώ οι αποτυχημένες HO που δεν οδηγούν σε RLFs είναι συχνά ανακτήσιμες και αόρατες στο χρήστη, οι RLFs που προκαλούνται από τις ανακριβείς τιμές σε

παραμέτρους HO επιδρούν τόσο στους πόρους του δικτύου όσο και στην μείωση της ποιότητας υπηρεσίας των χρηστών.

Επομένως, ο κύριος στόχος της βελτιστοποίησης της κινητικότητας πρέπει να είναι η μείωση του αριθμού των διαπομπών (HO) που σχετίζονται με αποτυχία των ράδιο-ζεύξεων. Επιπλέον, η μη βέλτιστη διαμόρφωση των παραμέτρων (HO) μπορεί να οδηγήσει στην υποβάθμιση της απόδοσης των υπηρεσιών, ακόμα κι αν δεν οδηγεί σε RLFs. Ένα παράδειγμα είναι ο ανακριβής καθορισμός της υστέρησης HO, η οποία μπορεί να είναι η αιτία για φαινόμενο ring-rong. Επομένως ο δευτεροβάθμιος στόχος είναι η μείωση της ανεπαρκούς χρήσης των πόρων των δικτύων λόγω των περιττών ή ελλιπών παραδόσεων.

Σε μερικές περιπτώσεις το RRM σε ένα eNB μπορεί να ανιχνεύσει το πρόβλημα και να ρυθμίσει τις παραμέτρους κινητικότητας, αλλά υπάρχουν παραδείγματα όπου το RRM σε ένα eNB δεν μπορεί να δώσει λύση όπως:

- Να προσδιορίσει και αποφύγει τους μη-κατάλληλους γείτονες. Το eNB της κυψέλης που εξυπηρετεί δεν μπορεί πάντα να ανιχνεύσει τότε μια «παράδοση» εκτελέστηκε σε μία μη-κατάλληλη κυψέλη. Ένα παράδειγμα είναι η εμφάνιση αποτυχίας της ράδιο-ζεύξης αμέσως μόλις το UE έχει συνδέσει με την κυψέλη στην οποία κατέληξε η διαπομπή.
- προσδιορίσει τις προβληματικές παραμέτρους των κυψελών.
- ελαχιστοποιήσει τις διαπομπές αμέσως μετά από την αρχική εγκατάσταση της σύνδεσης RRC. Εάν οι παράμετροι κινητικότητας τρόπου σε κατάσταση ηρεμίας ή σε ενεργή κατάσταση δεν είναι σωστά ρυθμισμένες, αυτό μπορεί να οδηγήσει το UE σε έναν μεγάλο αριθμό διαπομπών όταν αυτό περάσει από την κατάσταση ηρεμίας στην ενεργή.

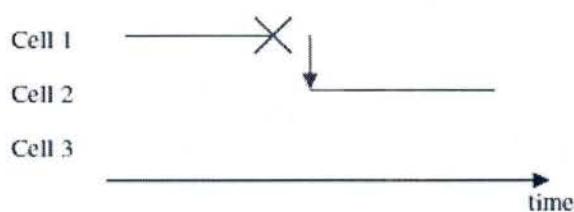
Τα περισσότερα προβλήματα που συνδέονται με τις αποτυχημένες διαπομπές (HO) ή μη βέλτιστη συμπεριφορά μπορούν να ταξινομηθούν είτε ως πολύ-πρόωρη, είτε ως πολύ-καθυστερημένη έναρξη της διαδικασίας διαπομπής (HO), υπό τον όρο πάντα ότι υπάρχει η απαραίτητη θεμελιώδης RF κάλυψη του δικτύου. Κατά συνέπεια, η κακή

απόδοση που σχετίζεται με τις διαπομπές (HO) μπορεί γενικά να ταξινομηθεί από τα ακόλουθα γεγονότα:

- Καθυστερημένο έναυσμα διαπομπής (HO)
- Πρόωρο έναυσμα διαπομπής (HO)
- HO σε λάθος κυψέλη
- Λειτουργική ροή του αλγόριθμου
- Έλεγχος αλληλεπίδρασης του αλγόριθμου

5.7.3 Καθυστέρηση στην έναρξη HO

Εάν το τερματικό κινείται πιο γρήγορα από ότι οι αντίστοιχες παράμετροι της διαπομπής (HO) που σχετίζονται με την κίνηση του τερματικού, τότε μια διαπομπή μπορεί να ενεργοποιηθεί όταν η ισχύ του σήματος λήψης από την κυψέλη που εξυπηρετεί είναι πάρα πολύ μικρή – το οποίο θα οδηγήσει σε φαινόμενο RLF (Radio Link Failure).



Σχήμα 32. Καθυστέρηση στην έναρξη διαπομπής [19].

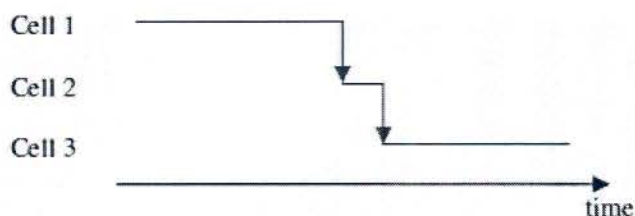
Στο σχήμα 38 το UE σε μικρό χρονικό διάστημα από την στιγμή που αντιμετώπισε πρόβλημα στην ράδιο ζεύξη με την κυψέλη 1, εγκατάστησε ράδιο ζεύξη με την κυψέλη 2. Θα έπρεπε λοιπόν οι παράμετροι διαπομπής να είναι σωστά ρυθμισμένες ώστε να ξεκινήσει διαπομπή πριν εμφανιστούν τα προβλήματα στην ράδιο ζεύξη.

Συμπτώματα τα οποία υποδηλώνουν πολύ-καθυστερημένη έναρξη διαπομπής (HO) είναι:

- RLF με την κυψέλη που εξυπηρετεί πριν το HO λάβει χώρα ή κατά την διάρκεια του HO.
- Το τερματικό επανασυνδέεται σε διαφορετική κυψέλη από την κυψέλη εξυπηρέτησης

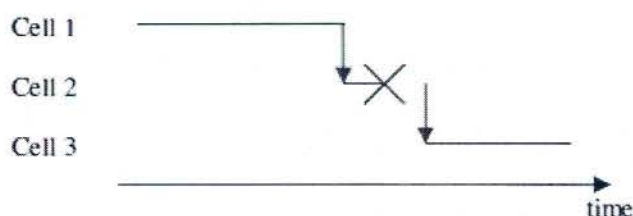
5.7.4 Πρόωρη έναρξη ΗΟ

Η πολύ-πρόωρη ΗΟ μπορεί να προκληθεί όταν ένα τερματικό μπαίνει στη ζώνη κάλυψης μίας άλλης κυψέλης η οποία εισέρχεται στην ζώνη κάλυψης της κυψέλης που εξυπηρετεί.



Σχήμα 33. Πρόωρη έναρξη διαπομπής (α) [19].

Αυτό είναι ένα χαρακτηριστικό σενάριο για τις περιοχές όπου εφαρμόζεται η τομεοποίηση της κάλυψης των κυψελών, όπως οι πυκνές αστικές περιοχές. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 30 αμέσως μετά την διαπομπής στην κυψέλη 2 από την 1 το UE κάνει διαπομπή στην κυψέλη 3. Ενώ θα μπορούσε να καθυστερήσει λίγο και να κάνει απευθείας διαπομπή στην κυψέλη 3.



Σχήμα 34. Πρόωρη έναρξη διαπομπής (β) [19].

Στο παραπάνω σχήμα 40 εμφανίζεται RLF αμέσως μετά την διαπομπή στην κυψέλη 2 από την κυψέλη 1. Το UE εγκαταστεί σύνδεση με την κυψέλη 3. Αρά η έναρξη διαπομπής με την κυψέλη 2 ήταν πρόωρη.

Συμπτώματα τα οποία υποδηλώνουν πολύ-πρόωρη έναρξη διαπομπής (ΗΟ) είναι:

- RLF εμφανίζεται με την κυψέλη (στόχο) που θα πάρει την κλήση, σε μικρό χρονικό διάστημα μετά από την έναρξη του ΗΟ (δηλ. το ΗΟ μπορεί να ή να μην ολοκληρωθεί ανάλογα με την ανταλλαγή μηνυμάτων με την κυψέλη στόχο)
- Το τερματικό επαν-αποκτά την σύνδεσή του με την κυψέλη που το εξυπηρετεί

5.7.5 ΗΟ σε λάθος κυψέλη

Είναι δυνατό εάν οι παράμετροι που σχετίζονται με μια γειτονική κυψέλη είναι λανθασμένες η διαπομπή (HO) να οδηγηθεί σε λάθος κυψέλη. Συμπτώματα τα οποία υποδηλώνουν πολύ-πρόωρη έναρξη διαπομπής (HO) είναι:

- RLF εμφανίζεται με την κυψέλη (στόχο) που θα πάρει την κλήση, σε μικρό χρονικό διάστημα μετά από την έναρξη του HO (δηλ. το HO μπορεί να ή να μην ολοκληρωθεί ανάλογα με την ανταλλαγή μηνυμάτων με την κυψέλη στόχο)
- Το τερματικό επαν-εγκαθιδρύει την σύνδεσή του με μια κυψέλη που δεν είναι ούτε αυτή που το εξυπηρετεί αλλά ούτε και η κυψέλη που θέλουμε να αναλάβει (κυψέλη στόχος)

5.7.6 Η λειτουργική ροή του αλγορίθμου

Η λειτουργία βελτιστοποίησης HO του SON είναι ένας αλγόριθμος ή ένα σύνολο αλγορίθμων με σκοπό να βελτιώσουν την απόδοση των διαπομπών (HOs) από την μία κυψέλη στην άλλη. Τα δεδομένα απόδοσης που συλλέγεται από κάθε κυψέλη, αναλύονται προκειμένου αντισταθμίσουν τις αποτυχίες των HO οι οποίες μπορεί να οφείλονται σε μη κατάλληλη διαμόρφωση ή μη βελτιστοποίηση των παραμέτρων. Ρυθμίσεις μπορούν να λάβουν χώρα στη διαμόρφωση σε μία προσπάθεια να βελτιωθεί η γενική απόδοση HO του δικτύου.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να ληφθεί ώστε να υπάρξει μια συστηματική ρύθμιση στη διαμόρφωση του δικτύου. Υποθέτοντας ορισμένα γειτονικά ζεύγη κυψελών που εμφανίζουν χαμηλή απόδοση η οποία υπερβαίνει το κατώτατο όριο που έχει θέσει ο χειριστής του δικτύου (ο στόχος KPIs δεν εκπληρώνεται), η αναμενόμενη ροή της λειτουργίας περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

1. Ελέγξτε το δίκτυο για μια ικανοποιητική χρονική περίοδο προκειμένου να έχετε ακριβή εικόνα της απόδοσης όλων των κυψελών όσον ν' αφορά το φορτίο κίνησης, τον τύπο κίνησης, τις χρονικές παραμέτρους κίνησης (ώρα-ημέρα) κλπ. Αυτό μπορεί να πάρει ημέρες ή και εβδομάδες ανάλογα με το φορτίο κίνησης των χρηστών στις κυψέλες.

2. Τα αποτελέσματα από τους αλγόριθμους προτείνουν αλλαγές στο δίκτυο οι οποίες θα πρέπει να αυξήσουν τις επιτυχές ΗΟ κατά μήκος του δικτύου. Αυτές οι αλλαγές ή το υποσύνολο των αλλαγών εφαρμόζονται στην συνέχεια στο δίκτυο.
3. Το δίκτυο ελέγχεται για μια ικανοποιητική χρονική περίοδο προκειμένου να συγκριθεί ακριβώς η απόδοση του δικτύου όσον αφορά με την απόδοσή του στο βήμα 1
4. Παρακολουθήστε των αποπειραθείσες αλλαγές και επαναλάβετε αυτήν την επαναληπτική διαδικασία ανάλογα με τις ανάγκες έως ότου εκπληρωθούν τα κατώτατα όρια που έχουμε θέσει ως στόχο για το KPI
5. Ενημερώστε τη κεντρική βάση δεδομένων με τα "τελικά" αποτελέσματα του αλγόριθμου.

Πιθανές τροποποιήσεις των παραμέτρων των κυψελών ή του ζεύγους κυψέλης-γειτονικής κυψέλης (στο βήμα 2) περιλαμβάνουν:

- Τα όρια έναυσης
- Χρόνος-προς-Εναυση
- Υστέρηση (έλεγχος ping-pong)
- Η λίστα της σχέσης γειτόνων
- Παράμετροι που έχουν σχέση με την ταχύτητα
- Μακρινή ηλεκτρική κλίση κεραιών
- Παράμετροι τρόπου λειτουργίας «σε κατάσταση ηρεμίας - idle» (για να αποφύγουν την άμεση έναυση διαπομπής - ΗΟ κατά την μετάβαση από κατάσταση λειτουργίας «idle» σε κατάσταση λειτουργίας «active»)

Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι ορισμένες τεχνολογίες μπορούν να επιτρέψουν τη γρηγορότερη παρακολούθηση της απόδοσης και μια διανεμημένη προσέγγιση στον αλγόριθμο MRO (δηλ. τα βασισμένα χωρίς BSC E-UTRAN των LTE και τα μηνύματα της διεπαφής X2

μπορεί να επιτρέψουν έναν αποκεντρωμένο αλγόριθμο MRO που λειτουργεί πάρα πολύ πιο γρήγορα από τον αλγόριθμό που παρουσιάστηκε πιο πάνω).

5.7.6.1 Αλληλεπιδράσεις του αλγόριθμου

Μια οποιαδήποτε τροποποίηση των παραμέτρων πρέπει να λειτουργήσει από κοινού με άλλους πιθανούς αλγορίθμους του SON (συγκεντρωτικούς ή διανεμημένους). Π.χ. είναι δυνατό οι αλγόριθμοι εξισορρόπησης φορτίων ή βελτιστοποίησης λίστας γειτόνων, να συγκρουστούν άμεσα με τα αποτελέσματα βελτιστοποίησης της κινητικότητας (MRO). Είναι λοιπόν ανάγκη, να ανταλλάσσονται μηνύματα ή να υπάρχουν άλλες μορφές έλεγχου μεταξύ των αλγορίθμων του SON για να επιλύσουν τις πιθανές συγκρούσεις και να εξασφαλίσουν σταθερότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Συμπεράσματα

6.1 Πλεονεκτήματα από την χρήση του SON

Τα μελλοντικά ασύρματα δίκτυα πρόσβασης θα εμφανίσουν ένα σημαντικό βαθμό αυτό-οργάνωσης, κάτι το οποίο αναγνωρίζεται τόσο από το πρόγραμμα συνεργασίας για την τυποποίηση συστημάτων 3^{ης} γενιάς 3GPP [1] όσο και από την οργάνωση των παρόχων NGMN [2].

Οι κύριοι στόχοι της αυτό-οργάνωσης στα ασύρματα δίκτυα πρόσβασης είναι:

1. να επιτύχει ουσιαστικές μειώσεις στις λειτουργικές δαπάνες και τις δαπάνες κεφαλαίου (OPEX/CAPEX), με τη μείωση της ανθρώπινης συμμετοχής στην λειτουργία του δικτύου.
2. να βελτιστοποιήσει την χωρητικότητα, την κάλυψη και ποιότητα υπηρεσιών του δικτύου. Ο βασικός στόχος είναι να ενσωματωθεί ο προγραμματισμός, η διαμόρφωση, και η βελτιστοποίηση δικτύων σε μια ενιαία, συνήθως αυτοματοποιημένη διαδικασία που απαιτεί την ελάχιστη χειρωνακτική επέμβαση.

Μείωση των OPEX/CAPEX θα επιφέρει και την δυνατότητα παροχής υπηρεσιών κινητής επικοινωνίας υψηλής ποιότητας καθώς και εφαρμογών, οι οποίες θα είναι οικονομικά προσιτές στον τελικό χρήστη. Υπάρχουν πολλά σημεία στα οποία θα πρέπει να δοθεί λύση για να επιτευχθεί ο τελικός στόχος του προγραμματισμού, της βελτιστοποίησης, της (επανα)διαμόρφωσης και της ίασης των δικτύων σε μια ενιαία αυτόνομη διαδικασία που απαιτεί την ελάχιστη ανθρώπινη επέμβαση.

Τα κύρια Πλεονεκτήματα του SON είναι:

6.1.1 Αύξηση του κέρδους για τους παρόχους.

Όπως αναφέραμε και στην 5.1 το SON επιφέρει μείωση του OPEX/CAPEX με αποτέλεσμα αύξηση της κερδοφορίας των παρόχων αφού μειώνεται το δαπανούμενο κεφάλαιο για την επένδυση και τη λειτουργία για την παροχή μιας υπηρεσίας. Ταυτόχρονα δια μέσο των μηχανισμών του SON ο πάροχος έχει επιπλέον κέρδος αφού αυξάνεται η κάλυψη και η χωρητικότητα του δικτύου του (χωρίς να επενδύσει στην αγορά επιπλέον εξοπλισμού για κάποιες περιοχές), αυξάνει την διαθεσιμότητα του δικτύου του και μειώνει δραστικά τους χρόνους που δεν είναι διαθέσιμη μια υπηρεσία (λόγω π.χ. βλάβης)

6.1.2 Αύξηση της απόδοσης του δικτύου

Μέσο των μηχανισμών αυτό βελτιστοποίησης και αυτό-ίασης αυξάνεται δραματικά η απόδοση ενός δικτύου καθώς ο χειροκίνητος προγραμματισμός της βελτιστοποίησης είναι χρονοβόρος και σε πολλές περιπτώσεις υστερεί να ακολουθήσει τις ανάγκες απόδοσης του δικτύου (Τα προφίλ διαμόρφωσης του δικτύου σε χειροκίνητη βελτιστοποίηση είναι στατικά και με βάσει μετρήσεις παραμέτρων του δικτύου π.χ. κινητικότητα, και όχι δυναμικά προσαρμοζόμενα όπως συμβαίνει σε ένα SON). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης του δικτύου όταν βρεθεί σε συνθήκες κίνησης που δεν ανταποκρίνονται στο προφίλ διαμόρφωσης που έχει επιλεγεί για την παρεχόμενη υπηρεσία από τον πάροχο. Από την άλλη πλευρά η δυναμική προσαρμογή βελτιώνει τους διαθέσιμους πόρους του δικτύου και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ποιότητας της παρεχόμενης υπηρεσίας.

Ο δεύτερος παράγοντας που επιδρά άμεσα στην απόδοση ενός SON δικτύου μεταξύ άλλων είναι η αυτό-ίαση. Η δυναμική αναπροσαρμογή των πόρων του δικτύου με στόχο την βέλτιστη κάλυψη και χωρητικότητα αυξάνει την απόδοση και κατεπέκταση την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας δίνοντας την αίσθηση στον τελικό χρήστη της αδιάλειπτης παροχής υπηρεσιών (π.χ σε μία ενδεχόμενη βλάβη μίας κυψέλης ο αλγόριθμος αυτό-ίασης άμεσα θα αυξήσει την ισχύ γειτονικών κυψελών για να επουλώσει το κενό κάλυψης ενώ ταυτόχρονα θα αναδιανείμει τους φασματικούς πόρους για να αυξήσει τους διαθέσιμους ραδιοδιαύλους των γειτονικών κυψελών με στόχο να καλύψει τις ανάγκες τις περιοχής έως ότου γίνει αποκατάσταση της βλάβης. Μετά την αποκατάσταση της βλάβης και την επανα-ενεργοποίηση της κυψέλης το δίκτυο αυτόματα διαμορφώνει – βελτιστοποιεί και επαναφέρει σε λειτουργία την κυψέλη).

Σε αντίθετη περίπτωση μία χειροκίνητη διαδικασία των παραπάνω πέρα της χρονικής καθυστέρησης (που αυτόματα σημαίνει μη διάθεσιμη υπηρεσία στην περιοχή με το πρόβλημα άρα απώλεια εσόδων από μη χρήση υπηρεσιών), αυξάνει τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης του παρόχου.

6.1.3 Αυτόματη προσαρμογή των ορίων των παραμέτρων του δικτύου βάση διαρκούς μηχανισμού μετρήσεων δεικτών απόδοσης.

Όπως είδαμε στο 4^ο κεφάλαιο (π.χ παρ. 5.7 βελτιστοποίηση κινητικότητας) η επιλογή των ορίων στα οποία θα εκτελεστεί μια διαπομπή (HO) είναι πάρα πολύ σημαντική όχι μόνο για την μείωση των άσκοπων διαπομπών (η οποία οδηγεί σε άσκοπη χρήση πόρων του

δικτύου) αλλά μπορεί να οδηγήσει σε πολλές περιπτώσεις στην διακοπή της επικοινωνίας του UE με το δίκτυο (RLF).

Στο SON η επιλογή του ορίου στο οποίο θα λάβει χώρα μία διαπομπή δεν ρυθμίζεται χειροκίνητα αλλά είναι δυναμικό με βάσει μετρήσεις που λαμβάνονται από δείκτες απόδοσης.

6.1.4 Παράλληλη λειτουργία των LTE με δίκτυα 2 και 3^{ης} γενιάς

Η παράλληλη λειτουργία δικτύων LTE με δίκτυα 2 και 3^{ης} γενιάς θα ήταν αδύνατη από την πλευρά του λειτουργικού κόστους διαχείρισης και συντήρησης τριών διαφορετικών δικτύων. Με την χρήση του SON ελαχιστοποιούνται τα επιπλέον κόστη που εμφανίζονται από την συνύπαρξη αυτών των δικτύων

6.1.5 Διαχείριση της πολυπλοκότητας

Η διαμόρφωση, βελτιστοποίηση, διαχείριση και συντήρηση ενός δικτύου προϋποθέτει τον έλεγχο και την διαμόρφωση ενός μεγάλου αριθμού παραμέτρων οι οποίες τείνουν να αυξηθούν αριθμητικά καθώς αυξάνεται η πολυπλοκότητα και το μέγεθος ενός δικτύου. Ο χειροκίνητος έλεγχος είναι πρακτικά αδύνατος χωρίς την χρήση αυτοματοποίησης με χρήση SON.

6.2 Σχεδιαστικές προκλήσεις του SON

6.2.1 Ανάγκη επιπλέον προτυποποίησης των διεπαφών.

Μία από τις πιο σημαντικές δυσκολίες στην ανάπτυξη της αυτό-οργάνωσης στα σύγχρονα ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών είναι η φτώχη σε πρότυπα διεπαφή της επικοινωνίας μεταξύ των οντοτήτων του δικτύου. Για τον λόγο αυτό είναι αναγκαία η επιπλέον ανάπτυξη προτύπων των διεπαφών μεταξύ των οντοτήτων του δικτύου ώστε να επιτρέπεται στους αλγόριθμους και της μεθόδους της αυτό-οργάνωσης (self-x) να λειτουργούν αποτελεσματικά.

6.2.2 Πολυπλοκότητα - Αλληλεπίδραση των αλγορίθμων αυτό-οργάνωσης

Ένα από τα σημαντικά θέματα της αυτό-οργάνωσης είναι οι αλληλεπιδράσεις των αλγορίθμων αυτό-οργάνωσης μεταξύ τους. Καθώς ένας αλγόριθμος επεμβαίνει σε κάποιες παραμέτρους για να επιλύσει ένα

πρόβλημα (π.χ μια βλάβη κυψέλης) ταυτόχρονα η παράμετρο αυτή να είναι μέρος του αλγόριθμου αυτό-βελτιστοποίησης.

6.2.3 Ανάγκη κοινών προτύπων

Για τη εύρυθμη λειτουργία ενός δικτύου SON θα πρέπει να υπάρχει συμβατότητα του εξοπλισμού των κατασκευαστών ώστε να υποστηρίζουν κοινά πρότυπα και όχι τα πρότυπα που αναπτύσσει η κάθε ομάδα ή κατασκευαστής ανεξάρτητα παρουσιάζοντας μια εναλλακτική πρόταση (όπως η 3GPP, NGMN, και διάφορα διεθνή έργα R&D)

6.3 Συμπέρασμα

Η εισαγωγή της αυτό-οργάνωσης στο ασύρματο δίκτυο πρόσβασης, προσφέρει μεγάλες δυνατότητες τόσο για τους παρόχους δικτύου, οι οποίοι θα μειώσουν τις λειτουργικές δαπάνες (και τις δαπάνες υλικού), ενώ ταυτόχρονα θα βελτιώσουν την αποδοτικότητα των πόρων τους και θα εισάγουν πολύ εύκολα μια νέα υπηρεσία στο δίκτυό τους, όσο και για τους χρήστες οι οποίοι θα γίνονται αποδέκτες υψηλής ποιότητας υπηρεσιών, με την βέλτιστη διαθεσιμότητα πόρων και κάλυψη σε συγκριτικά χαμηλότερες τιμές.

Η ανάγκη για την αυτό-οργάνωση και ως εκ τούτου οι τρέχουσες εξελίξεις σε αυτόν τον τομέα μέσα από π.χ. την 3GPP, NGMN, και διάφορα διεθνή προγράμματα έρευνας και ανάπτυξης (R&D), οδηγούνται από διάφορες εξελίξεις τόσο τεχνολογικές όσο και της αγοράς τηλεπικοινωνιών.

Από πλευράς τεχνολογίας, η πολυπλοκότητα των σύγχρονων μελλοντικών ραδιο τεχνολογιών πρόσβασης μεγάλης κλίμακας επιβάλλει σημαντικές λειτουργικές προκλήσεις, οι οποίες πρώτιστα οφείλονται στο μεγάλο πλήθος (τροποποιήσιμων) παραμέτρων καθώς και των περίπλοκων εξαρτήσεων μεταξύ τους. Αν και αυτή η πολυπλοκότητα είναι αναπόφευκτη για την παροχή των επιθυμητών δυνατοτήτων και της ευελιξίας των προσφερόμενων υπηρεσιών με ταυτόχρονη βέλτιστη απόδοση και ποιότητα των πόρων, από την άλλη επιδεινώνει την λειτουργία των δικτύων.

Το μεγάλο πλήθος από κυψέλες που απαιτούνται για να παρέχουν την απαιτούμενη κάλυψη τις μελλοντικές τεχνολογίες πρόσβασης, με την ταυτόχρονη συνύπαρξη και εκμετάλλευση ετερογενών δικτύων πρόσβασης περιπλέκει αυτόν τον στόχο ακόμα περισσότερο. Λόγω αυτών των τεχνολογικών περιπλοκών, αυτήν την περίοδο οι βασικοί λειτουργικοί στόχοι του προγραμματισμού και της βελτιστοποίησης των ραδιο- δικτύων είναι κατά ένα μεγάλο μέρος διαχωρισμένοι. Οι εγγενείς

ανεπάρκειες των μεθοδολογιών που εφαρμόζονται αυτήν την περίοδο για αυτούς τους στόχους περιλαμβάνουν:

- Τη «υπερβολική-αφαίρεση» τεχνολογιών πρόσβασης για λόγους προγραμματισμού των δικτύων
- την εκτίμηση των δεικτών απόδοσης που είναι περιορισμένης σχετικότητας στην λήψη της υπηρεσίας του τελικού χρήστη.
- Οι εντατικές στο χρόνο δοκιμές αλλά σε περιορισμένο λειτουργικό πεδίο (δηλαδή που περιορίζεται σε μια περιορισμένη περιοχή ή σε ένα υποσύνολο των ραδιο παραμέτρων/των μηχανισμών) και
- καθυστερημένος, χειρωνακτικός και φτωχός χειρισμός των αποτυχιών των κυψελών.

Από αυτή την σκοπιά, οι τρέχουσες προσεγγίσεις μπορούν βεβαίως να ωφεληθούν από τις προηγμένες λύσεις που μειώνουν την επίπονη χειρωνακτική εργασία (λειτουργικές δαπάνες) και να ενισχύουν την απόδοση των δικτύων. Συγχρόνως, οι αυξανόμενες τεχνολογικές ικανότητες και των σταθμών βάσης καθώς και των τερματικών των χρηστών να εκτελούν, αποθηκεύουν, επεξεργάζονται, και ενεργούν λαμβάνοντας υπόψη τους μετρήσεις αυξάνεται αισθητά. Αυτό είναι ένα βασικό κριτήριο για να υποστηριχθούν οι στόχοι της αυτό-οργάνωσης.

Από την πλευρά της αγοράς, οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις για την ποικιλομορφία των προσφερόμενων υπηρεσιών (κάθε μια με τα δικά της χαρακτηριστικά κίνησης, και τις δικές της υψηλές απαιτήσεις στην ποιότητα της υπηρεσίας) συναθροίζονται με την ανάγκη να μειωθεί ο χρόνος προσφοράς των καινοτόμων υπηρεσιών, αυξάνοντας περαιτέρω την λειτουργική πολυπλοκότητα ενός δικτύου.

Σε αυτό τον τομέα το SON έρχεται ως μονόδρομος να αναλάβει τον σχεδιασμό την λειτουργία και την συντήρηση τόσο των υφιστάμενων όσο και των μελλοντικών δικτύων περνώντας από τον χειρωνακτικό στον αυτόματο έλεγχο.

-- ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: --

- CAPEX CAPital EXpenditures
- OPEX OPERational EXpenditures
- DHCP Dynamic Host Configuration Protocol
- eNodeB enhanced Node B
- LTE Long Term Evolution
- O&M Operation and Maintenance
- OMC Operation and Maintenance Centre
- QoS Quality of Service
- RAN Radio Access Network
- SIM Subscriber Identification Module
- SON Self Organizing Network
- UE User Equipment
- UMTS Universal Mobile Telecommunications System
- UTRAN UMTS Terrestrial Radio Access Network
- RF Radio Frequencies
- IP Internet Protocol
- HO HandOver
- RRM Radio Resource Management
- ARRM Advanced Radio Resource Management
- JRRM Joint Radio Resource Management
- FIS Fuzzy Interference System
- IR Interference Reduction
- NCL Neighbors Cells List
- RACH Radio Access Channel
- PhCID Physical Cell Identification
- SCH Synchronization Channel
- MRO Mobility Robust Optimization
- LB Load Balance
- RATS Radio Access Technologies
- FBS Flexible Base Station
- RATs Radio Access Technologies
- FBS Flexibly Base Stations

-- ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: --

- [1] Yankee Group, 'World Mobile CAPEX and OPEX', www.yankeegroup.com, February 2006.
- [2] Self-Organization in Communication Networks: Principles and Design Paradigms Christian Prehofer and Christian Bettstetter, DoCoMo Euro-Labs - IEEE Communications Magazine • July 2005
- [3] S. Staab, Ed., "Neurons, Viscose Fluids, Freshwater Polyp Hydra — and Self-Organizing Information Systems", *IEEE Intell. Sys.*, vol. 18, July 2003, pp. 72–86.
- [4] C. E. Perkins, Ed., *Ad Hoc Networking*, Addison-Wesley, 2001
- [5] Self Organizing Networks, LTE and OPEX, <http://shahneil.com/2010/04/son-lte-opex/>
- [6] Strategy Analytics, 'Wireless operator performance benchmarking Q2 2007', www.strategyanalytics.net, September 2007.
- [7] 3GPP TS 32.511, "Telecommunication Management; Automatic Neighbor Relation (ANR) management; Concepts and Requirements."
- [8] NGMN, White Paper, "Next Generation Mobile Networks Beyond HSPA & EVDO", Release 3.0, December 2006, <http://www.ngmn.org/>
- [9] <http://www.fp7-socrates.org/>
- [10] Gandalf Homepage: <http://www.celtic-gandalf.org/>
- [11] http://www.motorola.com/Business/US-EN/Business+Product+and+Services/LTE/SON_US-EN
- [12] <http://www.nokiasiemensnetworks.com/downloads?page=3>
- [13] http://www.ericsson.com/ourportfolio/products/lte-radio-access-network-products?nav=fgb_101_220
- [14] About Huawei -Press Releases - 2009 <http://www-hk.huawei.com/news/view.do?id=11039&cid=42>
- [15] E3 White Paper, Version 1.0, 2008-12-22 p.5
- [16] 3GPP TS 36.300 v8.5.0, "3GPP E-UTRA and E-UTRAN", Overall description, Stage 2 (Release 8)
- [17] Intercell Interference Coordination in OFDMA Networks and in the 3GPP Long Term Evolution System G´abor Fodor, Chrysostomos Koutsimanis, Andr´as R´acz, Norbert Reider, Arne Simonsson and Walter M´uller - JOURNAL OF COMMUNICATIONS, VOL. 4, NO. 7, AUGUST 2009
- [18] Self-Organisation in Future Mobile Communication Networks J.L. VAN DEN BERG¹, R. LITJENS¹, A. EISENBLÄTTER², M. AMIRIJOO³, O. LINNELL³, C. BLONDIA⁴, T. KÜRNER⁵, N. SCULLY⁶, J. OSZMIANSKI⁷, L.C. SCHMELZ⁸ *ITNO ICT, Delft, The Netherlands*
- [19] Self-Organizing Networks (SON) in 3GPP Long Term Evolution Sujuan Feng, Eiko Seidel Nomor Research GmbH, Munich, Germany 20th of May 2008
- [20] IEEE 802.16m, IEEE 802.16m-07/002r6, "IEEE 802.16m System Requirements (SRD)", September 2008
- [21] IEEE 802.16m, IEEE 802.16m-08/004r4, "IEEE 802.16m Evaluation Methodology Document (EMD)", November 2008
- [22] IEEE 802.16m, IEEE 802.16m-08/003r6, "Draft IEEE 802.16m System Description Document (SDD)", December 2008
- [23] S. Basagni, "Distributed Clustering for Ad Hoc Networks," Proc. Int'l. Symp. Parallel Architectures, Algorithms, and Nets., Perth, Australia, June 1999.

- [24] A. B. McDonald and T. Znati, "A Mobility-Based Framework for Adaptive Clustering in Wireless Ad Hoc Networks," *IEEE JSAC*, vol. 17, Aug. 1999, pp. 1466–87.
- [25] Staab, Ed., "Neurons, Viscose Fluids, Freshwater Polyp Hydra — and Self-Organizing Information Systems," *IEEE Intell. Sys.*, vol. 18, July 2003, pp. 72–86.
- [26] 3GPP TR 36.816: "Evolved Study on Management of Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) and Evolved Packet Core (EPC)"
- [27] R3-080376: "SON Use Case: Cell Phy_ID Automated Configuration".
- [28] 3GPP TR 23.882 v2.0.0, Technical Specification Group Services and System Aspects, "3GPP System Architecture Evolution: Report on Technical Options and Conclusions", (Release 8)
- [29] Third (3rd) Generation Partnership Project (3GPP), Web site, <http://www.3gpp.org>, 2008
- [30] WiMAX Forum, <http://www.wimaxforum.org/home/>, 20083
- [31] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 802 standards, <http://www.ieee802.org>, 2008
- [32] K. Tsagkaris, G. Dimitrakopoulos, A. Saatsakis, P. Demestichas, "Distributed radio access technology selection for adaptive networks in high-Speed, B3G infrastructures", *International Journal of Communication Systems*, October 2007
- [33] A. Saatsakis, P. Demestichas, S. Walter, T. Loewel, F. Noack, K. Nolte, W. Koenig, "Flexible Base Stations and Associated Management Functionality in the B3G World", *SDRF*, 2008
- [34] A. Saatsakis, G. Dimitrakopoulos, P. Demestichas, J. Gebert, K. Nolte, "Functional Architecture for the Management and Control of Reconfigurable Radio Segments in the Wireless B3G Era", in *Proc. 21st Wireless World Research Forum (WWRF) meeting*, Stockholm, October 2008
- [35] Saatsakis A., Tsagkaris K., Dirk von-Hugo, Siebert M., Rosenberger M., Demestichas P., "Cognitive Radio Resource Management for Improving the Efficiency of LTE Network Segments in the Wireless B3G World", *DySPAN*, 2008
- [36] Aggelos Saatsakis, George Dimitrakopoulos, Panagiotis Demestichas, "Enhanced Context Acquisition Mechanisms for Achieving Self-Managed Cognitive Wireless Network Segments", *Proc. ICT-Mobile Summit Conference*, 2008
- [37] A. Saatsakis, P. Demestichas, "Enhanced context acquisition mechanisms for achieving self-managed cognitive wireless network segments", submitted for publication to the *Wireless Personal Communications Journal*
- [38] F. Bernardo, R. Agustí, J. Pérez-Romero, O. Sallent, "Dynamic spectrum assignment in multicell OFDMA networks enabling a secondary spectrum usage", *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 9, No 11, pp. 1502-1519, 2009
- [39] F. Bernardo, R. Agustí, J. Pérez-Romero, O. Sallent, "An Application of Reinforcement Learning for Efficient Spectrum Usage in Next-Generation Mobile Cellular Networks, " *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, *IEEE Transactions on*, vol.40, no.4, pp.477-484, July 2010

- [40] V. Le, Z. Feng, D. Bourse, P. Zhang, "A Cell Based Dynamic Spectrum Management Scheme with Interference Mitigation for Cognitive Networks" *Wireless Personal Communications*, 49, 2 (Apr. 2009), 275-293.
- [41] Thilakawardana, D.; Moessner, K.; Tafazolli, R.; , "Darwinian approach for dynamic spectrum allocation in next generation systems," *Communications, IET* , vol.2, no.6, pp.827-836, July 2008
- [42] K.Tsagkaris, G.Dimitrakopoulos, A.Saatsakis, P.Demestichas "Distributed Radio Access Technology Selection for Adaptive Networks in High-Speed, B3G Infrastructures", *International Journal of Communications Systems*, Wiley, Vol. 20, Issue 8, pp 969-992, August 2007
- [43] A. Saatsakis, K. Tsagkaris, P. Demestichas, "Exploiting Context, Profiles and Policies in Dynamic Sub-carrier Assignment Algorithms for Efficient Radio Resource Management in OFDMA Networks", to appear in *Annals of Telecommunications*
- [44] Z.Feng, L.Liang, L.Tan, P.Zhang, "Q-learning based heterogenous network self-optimization for reconfigurable network with CPC assistance" *Science in China Series F: Information Sciences* 52(12): 2360-2368 (2009)
- [45] A. Saatsakis, P. Demestichas, "Context Matching for Realizing Cognitive Wireless Network Segments", *Wireless Personal Communications*, Springer, September 2009, online at: <http://dx.doi.org/10.1007/s11277-009-9807-z>
- [46] D. von Hugo, E. Bogenfeld, I. Gaspard, J. Gebert, F. Zhiyong , "Joint RRM as a Concept for Efficient Operation of Future Radio Networks," *Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2009-Fall)*, 2009 IEEE 70th , vol., no., pp.1-5, 20-23 Sept. 2009
- [47] L. Giupponi, R. Agustí, J. Pérez-Romero, O. Sallent, "A framework for JRRM with resource reservation and multiservice provisioning in heterogeneous networks" *Mob. Netw. Appl.* 11, 6 (Dec. 2006), 825-846
- [48] L. Giupponi, R. Agustí, J. Pérez-Romero, O. Sallent, "Fuzzy neural control for economic-driven radio resource management in beyond 3G networks" *Trans. Sys. Man Cyber Part C* 39, 2 (Mar. 2009), 170-189
- [49] J.Belschner, P.Arnold, E.Patouni, A.Kousaridas, N.Alonistioti, H.Eckhardt, E.Kühn, A.Saatsakis, K.Tsagkaris, P.Demestichas, "Optimisation of Radio Access Network Operation introducing self-x functions: Use Cases, Algorithms, Expected Efficiency Gains", in *Proc. Vehicular Technology Conference, 2009, VTC Spring 2009, IEEE 69th, Barcelona, Spain, April 26th -29th, 2009*
- [50] M. Rosenberger, J.Belschner, P.Arnold, W. Wieser, "Ruled-based Algorithms for Self-x Functionalities in Radio Access Networks" in *Proc. ICT-Mobile Summit 2009, Santander, Spain, June 10th -12th, 2009*
- [51] Z. Feng et al., "Support for heterogeneous standards using Cognitive Pilot Channel" A White Paper by End-to-End Efficiency (E3) project, July 2009, online available at: https://ict-e3.eu/project/white_papers/CPC_white_paper_FINAL.pdf
- [52] K. Kalliojärvi, J.Pihlaja, A. Richter, P. Ruuska, "Cognitive Control Radio (CCR) – Enabling Coexistences I Heterogeneous Wireless Radio Networks" in *Proc. ICT-Mobile Summit 2009, Santander, Spain, June 10th -12th, 2009*
- [53] Ahtiainen, A.; Kalliojarvi, K.; Kasslin, M.; Leppanen, K.; Richter, A.; Ruuska, P.; Wijting, C.; , "Awareness networking in wireless environments," *Vehicular Technology Magazine, IEEE* , vol.4, no.3, pp.48-54, Sept. 2009

- [54] K. Arshad et al., "Spectrum Sensing" A White Paper by End-to-End Efficiency (E3) project, November 2009, online available at: https://ict-e3.eu/project/white_papers/E3_White_Paper_Sensing.pdf
- [55] FCC Spectrum Policy Task Force. "Report of the spectrum efficiency working group 2002", [online] <<http://www.fcc.gov/sptf/reports.html>>. [date of access] 09/18/2008
- [56] B. Le, T.W. Rondeau, C. W. Bostian, "Cognitive Radio Realities", *Wireless Communications and Mobile Computing* 2007;vol. 7; 1037-1048
- [57] J. Nasreddine, J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí, "A primary spectrum management solution facilitating secondary usage exploitation". 17th ICT mobile and wireless communications summit 2008.
- [58] F. Bernardo, J. Pérez-Romero, O.Sallent, R. Agustí, "Advanced Spectrum Management in Multicell OFDMA Networks Enabling Cognitive Radio Usage", *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Mar 2008
- [59] Qusay Mahmoud (Editor), "Cognitive Networks: Towards Self-Aware Networks", John Wiley & Sons Ltd, ISBN: 978-0-470-06196-1, July 2007
- [60] E. Buracchini, P. Gorla, A. Trogolo, "A radio reconfiguration algorithm for dynamic spectrum management according to traffic variations", *SDR Forum TC 07*
- [61] O. Holland et al. "Development of a Radio Enabler for Reconfiguration Management within the IEEE P1900.4 Working Group" *Second IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, (DySPAN)*, Dublin, April, 2007.
- [62] IETF, RFC 4741, "NETCONF Configuration Protocol", Dec. 2006.
- [63] NGMN, "Use Cases related to Self Organizing Network", Overall Description, April 2007
- [64] NEC SON White paper, "NEC's proposals for next-generation radio network management" February 2009, NEC Corporation
- [65] 3G Americas, White Paper "The Benefits of SON in LTE", December 2009