

**Τμήμα
Μηχανικών
Πληροφορικής τ.ε.**

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα
Δυτικής Ελλάδας

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**"PtMP Wireless for Small - Cells
Backhaul Applications"**

ΝΙΘΑΥΡΙΑΝΑΚΗΣ ΑΝΔΡΟΝΙΚΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ: ΔΡ. ΑΣΑΡΙΔΗΣ ΗΛΙΑΣ

ΑΝΤΙΠΠΙΟ – 2014

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: PtMP ΣΥΣΤΗΜΤΑ ΜΕΧΡΙ ΣΗΜΕΡΑ.....	8
1.1 Εισαγωγή.....	8
1.2 Legacy PtMP Συστήματα.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: PtMP ΣΥΣΤΗΜΤΑ ΝΕΑΣ ΓΕΝΙΑΣ.....	11
2.1 Εισαγωγή.....	11
2.2 Small - Cells.....	12
2.3 Γενική Επισκόπηση StreetNode.....	14
2.4 Περιγραφή Τεχνολογίας.....	16
2.4.1 Λειτουργικότητα Radio.....	16
2.4.2 Quality Of Service (QOS).....	25
2.4.3 Συγχρονισμός Δικτύου.....	30
2.5 Εφαρμογές StreetNode.....	32
2.5.1 1 ^ο Παράδειγμα Εφαρμογής.....	34
2.5.2 2 ^ο Παράδειγμα Εφαρμογής.....	35
2.5.3 3 ^ο Παράδειγμα Εφαρμογής.....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΙΛΟΤΙΚΟ ΤΕΣΤ ΤΟΥ STREETNODE.....	38
3.1 Εισαγωγή.....	38
3.2 Τοπολογία Πιλοτικού.....	38
3.3 Πλάνο Συχνοτήτων.....	43
3.4 Αποτελέσματα Πιλοτικού.....	44
3.5 Πλάνο Βελτιστοποίησης.....	48
3.5.1 1 ^ο Βήμα Βελτιστοποίησης.....	49
3.5.2 2 ^ο Βήμα Βελτιστοποίησης.....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ.....	51
4.1 Εισαγωγή.....	51
4.2 Αποτίμηση Τεχνολογίας.....	51
4.3 Προβληματισμοί.....	53
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ.....	55
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	57

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ.

Εικόνα 1: Sectorized Κεραίες 360 μοιρών LMDS.	9
Εικόνα 2: Εφαρμογές PtM P LMDS Συστημάτων.....	10
Εικόνα 3: StreetNode	14
Εικόνα 4: StreetNode.	14
Εικόνα 5: StreetNode Σε Πυλώνα Φωτισμού.	15
Εικόνα 6: Αυτόματη Ευθυγράμμιση.....	17
Εικόνα 7: Ανακλάσεις Σήματος Μέσω Γραμμικής Πόλωσης.....	20
Εικόνα 8: Διάδοση Κυκλικά Πολωμένου Σήματος Με Και Χωρίς Ανακλάσεις.	21
Εικόνα 9: Προσαρμοστικότητα StreetNode Για Ενίσχυση	23
Εικόνα 10: Σειρά Λειτουργιών Ενεργοποίησης του StreetNode.	24
Εικόνα 11: Μηχανισμός QOS του StreetNode στο Downlink.	25
Εικόνα 12: Μηχανισμός QOS του StreetNode στο Uplink.	26
Εικόνα 13: Λειτουργία Queue Scheduler Για Κάθε (ASF).	29
Εικόνα 14: Συγχρονισμός Small Cell Backhaul δικτύου	30
Εικόνα 15: StreetNode τοπολογία με PtM P και PtP Λειτουργία.	34
Εικόνα 16: StreetNode Τοπολογία με Backhaul Κίνηση από Δύο Κατευθύνσεις.	35
Εικόνα 17: PtM P Hubs Δύο Κατευθύνσεων.....	36
Εικόνα 18: StreetNode Τοπολογία με Επέκταση Οπτικής Ίνας.	37
Εικόνα 19: Γενική Τοπολογία Πιλοτικού.	39
Εικόνα 20: ΣΗΜΕΙΟ Γ Αγίου Κωνσταντίνου.	40
Εικόνα 21: Πανοραμική Λήψη Πιλοτικού Με Αποστάσεις	40
Εικόνα 22: ΣΗΜΕΙΟ Β Παναγή Τσαλδάρη.	41
Εικόνα 23: ΣΗΜΕΙΟ Α Πλατεία Ομονοίας.....	42
Εικόνα 24: ΤΕΛΙΚΟ Σημείο Οδός Αθηνάς.	42
Εικόνα 25: Πανοραμική Λήψη Πιλοτικού Με Συχνότητες Καναλιών.....	44
Εικόνα 26: Βελτιστοποίηση Tx Power.	46
Εικόνα 27: Αλλαγές Διαμόρφωσης Κατά Τη Διάρκεια Του Busy Hour.....	47
Εικόνα 28: Αλλαγές Διαμόρφωσης Κατά Τη Διάρκεια Της Νύχτας.....	47

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.

Πίνακας 1: Πίνακας COS.	26
Πίνακας 2: Στόχος Πιλοτικού.	44
Πίνακας 3: Αποτελέσματα Πιλοτικού Ομονοίας.....	45

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής υλοποιήθηκε με την υποστήριξη ενός αριθμού ανθρώπων στους οποίους θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω μια ομάδα ανθρώπων με τους οποίους εργάστηκα για 6 μήνες κάνοντας τη πρακτική μου άσκηση μαθαίνοντας πολλά δίπλα τους και οι οποίοι ήταν οι άνθρωποι που με βοήθησαν να ολοκληρώσω αυτή τη πτυχιακή εργασία μου. Πρόκειται για τους κα. Ζούρα Μαρία – Λουΐζα, κα. Πολυδώρου Αμάντα, κ. Γκορτσά Βαγγέλη και κ. Δουδουμόπουλο Αλέξανδρο.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Ασαρίδη Ηλία, ο οποίος δέχτηκε να αναλάβει και να με βοηθήσει με τη πτυχιακή μου.

Τέλος, θα ήθελα να πω το πιο μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου η οποία δε σταμάτησε λεπτό να με στηρίζει και να μου προσφέρει ότι ήταν δυνατό για να καταφέρω να σπουδάσω.

Ευχαριστώ πολύ,
Νιθαιριανάκης Ανδρόνικος.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία θα αναπτύξουμε το θέμα **"PtMP Wireless for Small - Cells Backhaul Applications"** σε τέσσερα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο θα δούμε τη «κληρονομία» που έχουμε μέχρι σήμερα στα PtMP συστήματα. Ειδικότερα θα δούμε πως αναπτύχθηκαν, πως δουλεύουν, τις εφαρμογές τους καθώς και το σημαντικότερο κομμάτι των αναγκών που δημιουργήθηκαν από τη χρήση τους στις μέρες μας, με αποτέλεσμα να θέλουμε μια νέα τεχνολογία που θα κάνει πιο αποδοτικά και πιο σταθερά τα κινητά δίκτυα σε αστικά περιβάλλον.

Στο δεύτερο και κύριο κεφάλαιο θα αναφερθούμε στα Small – Cells. Πιο συγκεκριμένα θα δούμε επιγραμματικά τι είναι και πως λειτουργούν. Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στις ανάγκες που δημιουργήθηκαν για πιο αποδοτικό και σταθερό δίκτυο. Μέσω των αναγκών που θα προκύψουν σε αυτό το κεφάλαιο θα περάσουμε στη συνέχεια σε μια γενική επισκόπηση του StreetNode που θα παρουσιάσουμε για να καταλάβουμε τι είναι και πως προήλθε. Θα περιγράψουμε αναλυτικά τη τεχνολογία που διαθέτει, καθώς και όλες τις καινοτομίες της πλατφόρμας (Κομμάτι Radio, QOS κτλ). Σημαντικό ρόλο σε αυτό το σημείο όπως θα δούμε κατέχει το πεδίο εφαρμογών που μπορεί να καλυφτεί δίνοντας και παραδείγματα με σκοπό να γίνει πιο εύκολα κατανοητό.

Η καινοτόμα αυτή πλατφόρμα του StreetNode ύστερα από πολλές ώρες εργαστηρίων και μετρήσεων που κάναμε έτρεξε πιλοτικά από τη Cosmote στην περιοχή της Ομόνοιας τον Αύγουστο του 2014. Στο τρίτο κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε λοιπόν αναλυτικά και με εικόνες τη τοπολογία του δικτύου που στήσαμε στην Πλατεία Ομοנוίας και το πλάνο συχνοτήτων που κάναμε. Θα δούμε τις μετρήσεις που πήραμε και θα σχολιάσουμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν, έτσι ώστε να καταλάβουμε τη σημασία του StreetNode. Τελευταίο κομμάτι σε αυτό το κεφάλαιο είναι το πλάνο βελτιστοποίησης που φτιάξαμε με σκοπό τη περεταίρω εξέλιξη της πλατφόρμας

Θα κλείσουμε τη παρούσα διπλωματική εργασία με μια αποτίμηση της τεχνολογίας βάση του πιλοτικού που κάναμε καθώς και κάποιους προβληματισμούς που προέκυψαν για τη τεχνολογία του StreetNode.

ABSTRACT

In this thesis we will see a new technology which names "**PtMP Wireless for Small - Cells Backhaul Applications**". In the first chapter of this thesis we will see the "legacy" PtMP systems in Greece nowadays. In particular we will see their development, function, applications and important part of needs that created from their use, so we want to make a new technology of mobile networks with more efficiently and robustness in urban environments.

In the second and main chapter we will be reported in the Small –Cells. Concretely we will see briefly their function. Then we will refer to needs that created for more efficient and constant network. Through the needs arising in this chapter we will pass then in a general review of StreetNode that we will present in order to we understand their function. We will analytically describe the technology that allocates, as well as all the innovations of platform (Radio, QOS etc.). An important role here as we will see the field of applications with examples to becomes more easily comprehensible.

This Innovator platform of StreetNode after many hours of laboratories and measurements ran as pilot by Cosmote in the region of Omonia in August 2014. In the third chapter we will see analytically pictures from topology of network that we set up in the Omonia Square and the plan of frequencies that we made. Then we will see the measurements that we took and we will comment the results of pilot, so as to understand the importance of StreetNode. In the end of chapter we will display a plan of optimization, as a result extra development of platform.

We will close this thesis with a technology assessment of pilot and some self-examinations of StreetNode technology.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πλέον στις μέρες οι περισσότεροι άνθρωποι έχουν κάνει απαραίτητο μέσο επικοινωνίας το κινητό τηλέφωνο. Το διαδίκτυο επίσης είναι πλέον αναγκαίο για τους περισσότερους ανθρώπους, άλλοι το χρησιμοποιούν για επικοινωνία, άλλοι για ενημέρωση, άλλοι για να περάσει η ώρα τους και σε άλλους είναι σημαντικό εργαλείο για τη δουλειά τους. Η τάση που επικρατεί είναι όλα αυτά να γίνονται μέσω των Smartphones και των Tablets, συνδυάζοντας κινητό τηλέφωνο και υπολογιστή. Δύο λύσεις με τις οποίες μπορεί κανείς να πάρει μαζί του ακόμα και στον δρόμο την επικοινωνία, την ενημέρωση, τα mail του κτλ.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να μάθουμε, να αναλύσουμε και να περιγράψουμε μια καινούρια τεχνολογία που έρχεται πρώτη φορά στη χώρα μας με σκοπό να προσφέρει στον χρήστη καλύτερη κάλυψη και ταχύτητα δικτύου στο επίπεδο δρόμου. Αυτή η τεχνολογία έρχεται από τη Cosmote, εταιρία με την οποία συνεργαστήκαμε για να φέρουμε εις πέρας τη διπλωματική. Έχει να κάνει με τα Small - Cells των κινητών επικοινωνιών σε ένα αστικό περιβάλλον στο InClutter Layer (εντός δρόμων) εξού και ονομάζεται StreetNode.

Πιο συγκεκριμένα όπως θα δούμε στη συνέχεια πρόκειται για μια εξελιγμένη μορφή της φιλοσοφίας των συστημάτων πολλαπλών σημείων «Point to MultiPoint» (PtMP) και για αυτό τον λόγο θα ξεκινήσουμε δίνοντας μια γενική εικόνα των μέχρι πρότινος πλατφορμών για PtMP συστήματα που χρησιμοποιούμε στην Ελλάδα, τα οποία πλέον γίνονται πιο μικροί εύχρηστοι σταθμοί κατεβαίνοντας στο επίπεδο δρόμου προσφέροντας ταυτόχρονα μεγαλύτερη κάλυψη, υψηλές ταχύτητες δεδομένων και καλύτερη μεταφορά της Backhaul κίνησης

Η νέα αυτή τεχνολογία λοιπόν έρχεται στη χώρα με σκοπό να προσφέρει καλύτερη κάλυψη τηλεφωνίας και δεδομένων ακόμα και στο επίπεδο δρόμου, παρέχοντας παράλληλα υψηλές ταχύτητες δεδομένων και ποιότητας κλήσεων των χρηστών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: PtMP ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΧΡΙ ΣΗΜΕΡΑ.

1.1 Εισαγωγή.

Στο πρώτο κεφάλαιο θα ξεκινήσουμε δίνοντας μια γενική εικόνα για τη μέχρι σήμερα πορεία των πολυσημειακών (PtMP) συστημάτων στις κινητές επικοινωνίες, μιλώντας για τη τεχνολογία τους και τις δυνατότητες που προσφέρουν στις εταιρείες τηλεπικοινωνιών. Θα συνεχίσουμε με τις ανάγκες που παρουσιάστηκαν με το πέρασμα των χρόνων και πως φτάσαμε στο σήμερα όπου χρειάστηκε να δημιουργηθούν PtMP συστήματα νέας γενιάς.

1.2 Legacy PtMP Συστήματα.

Η τεχνολογία που υπήρχε μέχρι σήμερα στα PtMP συστήματα ήταν ιδιαίτερα συγκεκριμένη χωρίς να μπορεί κάποια εταιρεία να επέμβει και να τη βελτιώσει αισθητά. Αυτά τα συστήματα ονομάζονται LMDS που σημαίνει «Local to Multipoint Distribution System». Διαδόθηκαν ιδιαίτερα γρήγορα καθώς ήταν μια καινούρια τεχνολογία που επέτρεπε την επικοινωνία μεταξύ πολλών σημείων.

Το LMDS δουλεύει σε τρεις μπάντες συχνοτήτων (10, 5 / 26 / 28 GHz) και οι εταιρείες μπορούν να χρησιμοποιούν μόνο αυτές τις οποίες έχουν αγοράσει και έχουν άδεια από την Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ).

Η αρχιτεκτονική αυτών των συστημάτων είναι Sectorized, δηλαδή διαθέτουν κάλυψη 360 μοιρών χρησιμοποιώντας 4 κεραίες (Sectors) κυκλικά. Η εικόνα που ακολουθεί στην επόμενη σελίδα δείχνει ένα παράδειγμα από Sectorized κεραίες οι οποίες καλύπτουν 360 μοίρες.

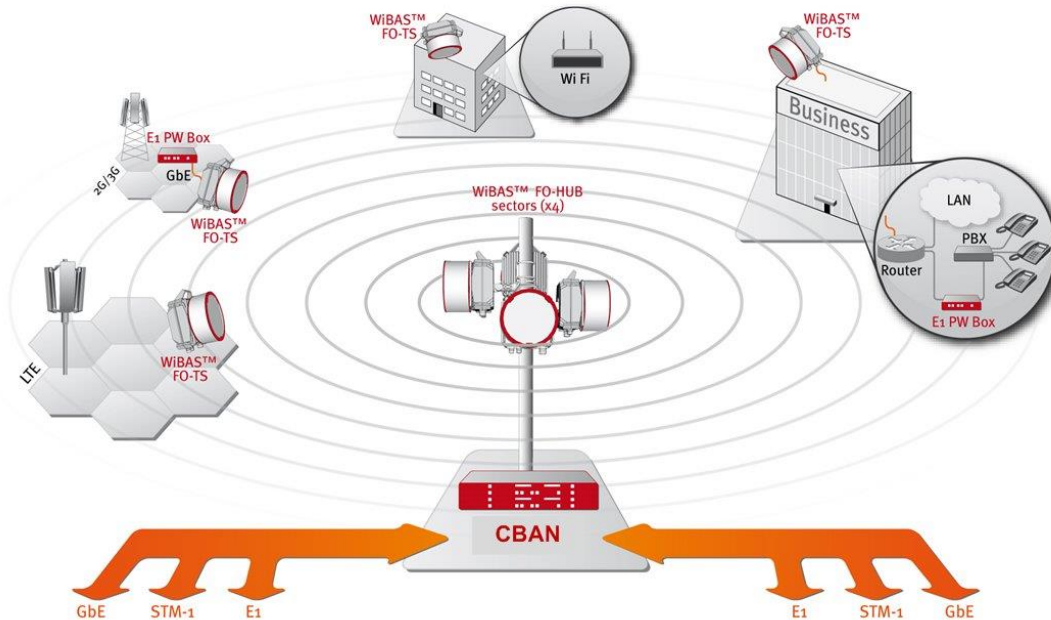


Εικόνα 1: Sectorized Κεραίες 360 μοιρών LMDS.

Αξίζει να πούμε πως τα υπάρχων LMDS συστήματα είναι Clear LOS (Line Of Sight) συστήματα, δηλαδή πρέπει να έχουν καθαρή οπτική επαφή με τα τερματικά που θα μεταδώσουν τη κίνηση τους ή να έχουμε μικρές ανακλάσεις πάνω σε σταθερά αντικείμενα (π.χ κτήρια).

Επιπροσθέτως ένας πολύ σημαντικός λόγος ανάπτυξης των PtMP συστημάτων είναι ότι χρησιμοποιούνται μόνο σε Macro Layer επίπεδο, δηλαδή εγκαθιστώντας έναν σταθμό βάσης σε κάποιο ψηλό σημείο π.χ οροφή ενός ψηλού κτηρίου, έτσι ώστε να έχει καθαρή οπτική επαφή για να διασυνδέεται με τα τερματικά που υπάρχουν σε χαμηλότερα σημεία μέσα στη πόλη. Η ανάγκη που προέκυψε εδώ ήταν να καταφέρουμε να μπούμε και σε επίπεδο δρόμου (InClutter Layer), για να καλύψουμε σημεία που τα υπάρχον PtMP συστήματα είχαν δύσκολη έως και μηδενική πρόσβαση, με σκοπό να αποκτήσουμε ένα αποδοτικότερο δίκτυο μέσα σε αστικά περιβάλλον.

Τα LMDS συστήματα έχουν διάφορες εφαρμογές και μπορούν να εξυπηρετήσουν τερματικά για να μεταδώσουν κίνηση 2G / 3G / LTE μέσα σε μια πόλη δίνοντας την ευκολία κινητής τηλεφωνίας στους χρήστες. Μπορούν να εξυπηρετήσουν σπίτια χρηστών στα οποία θα καταλήγει η κίνηση σε κάποιο Router ή ακόμα και επιχειρήσεις οι οποίες θα έχουν τα δικά τους τοπικά δίκτυα LAN. Στην εικόνα που ακολουθεί δίνουμε ένα σχετικό σχεδιάγραμμα από τις εφαρμογές αυτών των συστημάτων.



Εικόνα 2: Εφαρμογές PtMP LMDS Συστημάτων.

Ένας ακόμα λόγος που έφερε την εξέλιξη των συστημάτων LMDS είναι ότι χρησιμοποιούν τη λογική τύπου TDM κίνησης η οποία διαθέτει περιορισμένες δυνατότητες Ethernet καθώς και περιορισμένες εφαρμογές και όχι μεγάλη ευελιξία σε δεδομένα.

Ένας τελευταίος και πολύ σημαντικός λόγος ανάπτυξης των υπάρχων συστημάτων είναι ότι έχουν στατικό διαμορισμό του Bandwidth. Τι είναι αυτό;

Κάθε τερματικό, είτε πρόκειται για κάποιον χρήστη είτε για κάποιο ολόκληρο Cell έχει αφιερωμένη - δεσμευμένη μια χωρητικότητα για της ανάγκες του ακόμα και αν το τερματικό δε τη χρησιμοποιήσει ποτέ. Αυτό βέβαια αλλάζει τα πράγματα άρδην καθώς έχουμε παραπάνω κόστος λύσης κάθε φορά άλλα και περιττό Bandwidth που πάει χαμένο καθώς δε χρησιμοποιείται.

Έτσι λοιπόν και σύμφωνα με τα παραπάνω σημεία αναφοράς δημιουργήθηκαν ανάγκες εξέλιξης των υπάρχων PtMP συστημάτων ώστε να μπορέσουμε να δώσουμε μεγαλύτερο Capacity στους χρήστες, να έχουμε το κατάλληλο Bandwidth όπου και όποτε χρειάζεται, να περάσουμε περισσότερες εφαρμογές και να μπορέσουμε να μπούμε στο InClutter Layer που είναι πιο ευέλικτο και διάφορους άλλους λόγους που θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: PtMP ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΝΕΑΣ ΓΕΝΙΑΣ.

2.1 Εισαγωγή.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε όλα όσα χρειάζεται να ξέρουμε για τα PtMP συστήματα νέας γενιάς, ξεκινώντας με μία γενική επισκόπηση των Small - Cells στα οποία χρησιμοποιούμε αυτά τα συστήματα, βλέποντας τις ανάγκες που δημιουργήθηκαν σε αυτά και είχαν αποτέλεσμα τη δημιουργία καινούριων PtMP συστημάτων.

Μέσω των αναγκών που δημιουργήθηκαν από τα Small - Cells θα περάσουμε στα PtMP συστήματα νέας γενιάς τα οποία θα γνωρίσουμε και θα εξηγήσουμε τις λειτουργίες τους, τις καινοτομίες τους κτλ.

Πιο συγκεκριμένα θα ασχοληθούμε με το Radio κομμάτι και τα χαρακτηριστικά του. Θα δούμε για το υψηλό Capacity που μπορούν να προσφέρουν της νέας γενιάς PtMP συστήματα, καθώς και την υψηλή και σταθερή απόδοση τους. Στο ίδιο κομμάτι θα αναφερθούμε στις καινοτομίες που προσφέρει αυτή η νέα τεχνολογία. Ένα ακόμα πολύ σημαντικό στοιχείο που διαθέτουν είναι η υλοποίηση Quality Of Service (QOS) με έναν μηχανισμό που θα δούμε στη συνέχεια, καθώς και τη προτεραιοποίηση και ταξινόμηση της κίνησης του δικτύου σε Layer 2 και Layer 3 επίπεδο. Τρίτο και επίσης σημαντικό κομμάτι είναι ο συγχρονισμός του δικτύου. Ειδικότερα θα αναφερθούμε στην υλοποίηση και υποστήριξη μηχανισμών συγχρονισμού για απαιτητικές εφαρμογές όπως για παράδειγμα η φωνή.

Επόμενο βήμα είναι να δούμε τις εφαρμογές που έχουν αυτά τα συστήματα. Χαρακτηριστικά, θα δούμε και θα αναλύσουμε κάθε μια εφαρμογή ξεχωριστά καθώς και τον εξοπλισμό που θα χρειαστούμε για καθεμία από αυτές

STREETNODE

2.2 Small - Cells.

Σε αυτό το σημείο θα κάνουμε μια γενική γνωριμία με τα Small - Cells για να μπούμε σίγα σιγά στο κλίμα. Πρόκειται για μια εξελιγμένη μορφή των γνωστών Micro Cell με κάποια παραπάνω χαρακτηριστικά που θα δούμε στη συνέχεια. Είναι μικροί και εύχρηστοι σταθμοί που αφορούν τα δίκτυα 3^{ης} και 4^{ης} γενιάς και χρησιμοποιούνται μόνο στο επίπεδο δρόμου (InClutter Layer) σε σημεία δηλαδή που η κάλυψη από τα Macro Cells(Overlay Layer) είναι δύσκολη. Στη συνέχεια θα δούμε και θα εξηγήσουμε τις απαιτήσεις των Small - Cell.

✓ Αδειοδοτούμενο Φάσμα.

Τα Small - Cell μπορούν να λειτουργήσουν μόνο στο φάσμα το οποίο έχει αγοράσει η εκάστοτε εταιρεία που θέλει να τα χρησιμοποιήσει από την ΕΕΤΤ.

✓ Εγκατάσταση Χαμηλά.

Όπως είπαμε παραπάνω η εγκατάσταση τους γίνεται στο επίπεδο δρόμου. Ειδικότερα χρησιμοποιούνται για να καλύψουν περιοχές – δρόμους που είναι δύσκολη η κάλυψη από το Overlay επίπεδο είτε λόγω υψηλών κτηρίων τριγύρω είτε γιατί θέλουμε να υπάρχει καλύτερη απόδοση κατά μήκος των δρόμων που καθημερινά εξυπηρετούν πολύ κόσμο. Για αυτό το λόγο απαιτείται η εγκατάσταση τους χαμηλά (πχ κολώνες φωτισμού, μπαλκόνια κτηρίων κτλ).

✓ Non Direct LOS (Line Of Sight).

Έχουν την ιδιαιτερότητα να μην απαιτείται η απευθείας οπτική επαφή με άλλους κόμβους διασύνδεσης. Χαρακτηριστικά, στο κλάδο των τηλεπικοινωνιών υπήρχε η πεποίθηση ότι οι συχνότητες που απαιτούνται για να εξασφαλιστεί η απόδοση ανάμεσα σε κόμβους περιοχών που δεν έχουν οπτική επαφή είναι κάτι λιγότερο από 6 GHz. Καταλαβαίνουμε λοιπόν πως στα Small - Cells δεν είναι απαραίτητο το απευθείας LOS καθώς οι ζώνες συχνοτήτων που μπορούν να χρησιμοποιήσουν είναι άνω των 20 GHz, επομένως δε θα υπάρχει πρόβλημα.

✓ Υψηλό Capacity.

Ένα ακόμα πράγμα που απαιτείται στα Small - Cells είναι το υψηλό Capacity που θα μπορέσουν να προσφέρουν. Ενδεικτικά εφόσον μιλάμε για δίκτυα 3^{ης} και 4^{ης} γενιάς σημαίνει ότι θα πρέπει να προσφέρουμε πολύ υψηλό Capacity που αγγίζει στη περίπτωση των Small - Cells τα 250 Mbps στο LTE τουλάχιστον.

✓ **Latency.**

Ένα σημαντικό βήμα εξέλιξης των Small - Cells είναι το πολύ χαμηλό Latency που επιτεύχθηκε. Ο όρος Latency έχει να κάνει με το χρόνο που χρειάζεται ένα πακέτο στο δίκτυο για να ταξιδέψει από τη πηγή έως το προορισμό του και πίσω.

✓ **Management.**

Χρειάστηκε να προστεθεί η δυνατότητα αλλαγής λειτουργίας (PtP, PtMP) με τη χρήση μόνο ενός λογισμικού πράγμα που κάνει τη διαχείριση των Small - Cell πολύ σημαντική. Ένας ακόμη λόγος που χρειαζόμαστε καλό management είναι η εξ αποστάσεως επίβλεψη του δικτύου, σε περίπτωση βλάβης δηλαδή να μπορέσουμε να δούμε τι φταίει χωρίς να μεταβεί στο σημείο κάποιος μηχανικός.

✓ **Invisible.**

Μια σημαντική ανάγκη που προκύπτει είναι πώς θα καταφέρουμε μια τέτοια πλατφόρμα να τη «κρύψουμε» όσο το δυνατόν καλύτερα, ώστε να μη καταλαβαίνει εύκολα ο κόσμος περί τίνος πρόκειται. Πολύς κόσμος δε θέλει να υπάρχουν τέτοιου είδους συστήματα κοντά του λόγω ακτινοβολίας, έτσι η ανάγκη που προκύπτει είναι να γίνει η πλατφόρμα όσο το δυνατόν αόρατη.

✓ **Διαχείριση Bursty Κίνησης.**

Η Bursty Κίνηση είναι η κίνηση κατά την οποία παρουσιάζονται μεγάλες και ξαφνικές αυξομειώσεις, δεν είναι δηλαδή σταθερή. Πιο συγκεκριμένα είναι η κίνηση που ξαφνικά παρουσιάζει Peak και μέσα σε λίγο χρόνο ξαναπέφτει σε φυσιολογικά επίπεδα. Για παράδειγμα όταν σε ένα δίκτυο υπάρχει απλό σερφάρισμα στο διαδίκτυο ήμαστε σε φυσιολογικά επίπεδα κίνησης και ξαφνικά γίνεται μια πολύ μεγάλη αύξησή της λόγω πολλών ταυτόχρονων Downlink. Αυτό είναι ένα μεγάλο στοίχημα και απαιτείται μια τεχνολογία που θα μπορέσει να εξισορροπήσει τη Bursty κίνηση.

Αυτά που μόλις παρουσιάσαμε ήταν οι απαιτήσεις που φέρνουν μαζί τους τα Small - Cells και οι ανάγκες που προκύπτουν ώστε να έχουμε μια τεχνολογία που θα τις καλύπτει όλες και θα προσφέρει ένα γρήγορο και πολύ αποδοτικό δίκτυο.

Σκοπός ήταν λοιπόν να δημιουργηθεί μια τεχνολογία η οποία θα συνδυάζει όλα όσα είπαμε. Αυτή δημιουργήθηκε και θα τη δούμε, αναλύσουμε και χρησιμοποιήσουμε στη συνέχεια.

2.3 Γενική Επισκόπηση StreetNode.

Τι είναι λοιπόν το Πολυσημειακό (PtMP) Ασύρματο Small - Cells Backhaul;

Πρόκειται για μια καινούρια καινοτόμα μικροκυμματική πλατφόρμα που ονομάζουμε StreetNode και η οποία προσφέρεται εξ' ολοκλήρου για εξωτερική εγκατάσταση και είναι ειδικά σχεδιασμένη για εφαρμογές Small-Cells Backhaul κορυφαίων προδιαγραφών που εξυπηρετούν τις ανάγκες των Small-Cells που είδαμε προηγουμένους. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι έχει πολύ μικρό μέγεθος που φτάνει μόλις τα 4 λίτρα όγκου, συμπεριλαμβανομένου και της εσωτερικής κεραίας που διαθέτει και σε συνδυασμό με την πολύ καλή εξωτερική του σχεδίαση μπορεί πολύ εύκολα να τοποθετηθεί μέσα σε ένα αστικό περιβάλλον ακόμα και χωρίς να γίνει εύκολα αντιληπτό. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζουμε τη πλατφόρμα του StreetNode.



Εικόνα 3: StreetNode

Αξίζει να αναφέρουμε ότι η συγκεκριμένη πλατφόρμα διαθέτει δύο τρόπους ασύρματης μετάδοσης. Δύναται λοιπόν να λειτουργήσει και με πολυσημειακό (PtMP) τρόπο αλλά και με μονοσημειακό (PtP). Αυτή η εναλλαγή λειτουργιών είναι πολύ εύκολο να πραγματοποιηθεί καθώς γίνεται μόνο μέσω ενός λογισμικού, έτσι ανάλογα με το ποια λειτουργία θέλουμε κάθε φορά ενσωματώνουμε το κατάλληλο λογισμικό. Θα σταθούμε περαιτέρω στη συνέχεια για αυτές τις λειτουργίες καθώς θα δούμε ότι πρόκειται για μια πολύ σημαντική δυνατότητα.

Οι μάντες συχνοτήτων στις οποίες λειτουργεί το StreetNode είναι 26 / 28 / 32 / 42 GHz και μπορεί να εγκατασταθεί σε πυλώνες φωτισμού δρόμων ή πάνω σε επιφάνειες κτηρίων, σε δρόμους ή ακόμα και πεζοδρόμια, μειώνοντας έτσι το συνολικό κόστος λειτουργίας, στο οποίο περιλαμβάνονται έξοδα ενοικίασης χώρων, συντήρησης εξοπλισμού καθώς και παροχής ρεύματος. Στην εικόνα που ακολουθεί βλέπουμε τη πλατφόρμα πάνω σε έναν πυλώνα φωτισμού μέσα στη πόλη.



Εικόνα 5: StreetNode Σε Πυλώνα Φωτισμού.

Ακόμα η πλατφόρμα StreetNode πληροί όλες τις απαραίτητες προϋποθέσεις για αποτελεσματικό Backhaul δικτύων κινητής τηλεφωνίας 3^{ης} και 4^{ης} γενιάς (3G και LTE), ενώ παράλληλα βελτιώνει την εμπειρία των τελικών χρηστών προσφέροντας τα παρακάτω σύμφωνα με τις ανάγκες των Small – Cells που είδαμε στη προηγούμενη σελίδα:

- Υπερεπαρκή χωρητικότητα και χαμηλό Latency.
- Λειτουργία που σέβεται το αστικό περιβάλλον.
- Υψηλή διαθεσιμότητα δικτύου και υπηρεσιών.
- Ευελιξία στην ανάπτυξη δικτύων.

2.4 Περιγραφή Τεχνολογίας.

Σε αυτό το κομμάτι της διπλωματικής θα ασχοληθούμε όπως είπαμε και στην εισαγωγή με τη λειτουργία του Radio, τη λειτουργία του Ethernet QOS, με το Συγχρονισμό του δικτύου καθώς και με τις καινοτομίες της πλατφόρμας. Αξίζει δε να πούμε ότι με τη καινοτόμα τεχνολογία των PtMP συστημάτων νέας γενιάς επιτεύχθηκε χωρητικότητα από 250 Mbit/s το λιγότερο έως και 540 Mbit/s, πράγμα που σημαίνει πως αυτή η νέα γενιά συστημάτων θα χρησιμοποιηθεί και για δίκτυα LTE που κύριο χαρακτηριστικό τους είναι το υψηλό Capacity. Η πλατφόρμα του StreetNode διαθέτει καινοτομίες σε σχέση με τα μέχρι σήμερα συστήματα οι οποίες κατά κόρον συμπεριλαμβάνονται στο κομμάτι του Radio και τις οποίες θα αναφέρουμε και θα αναλύσουμε ευθύς αμέσως.

2.4.1 Λειτουργικότητα Radio.

Όπως αναφέραμε και στη γενική επισκόπηση της πλατφόρμας το StreetNode διαθέτει μια εσωτερική κεραία με την οποία επικοινωνεί με τους υπόλοιπους κόμβους και πλατφόρμες στη πόλη. Σε αυτή την ενότητα θα δούμε αναλυτικά τους πρωτοποριακούς μηχανισμούς της κεραίας που διαθέτει το StreetNode, τη κυκλική πόλωση που χρησιμοποιεί για τα σήματα που εκπέμπει και δέχεται καθώς και τον μηχανισμό προσαρμογής των Links που διαθέτει και βοηθά τα Links να ανταποκριθούν στις εκάστοτε καιρικές συνθήκες που μπορούν να αντιμετωπίσουν. Ας πάμε όμως να δούμε κάθε μηχανισμό ξεχωριστά.

1. Μηχανισμός Αυτόματης Ευθυγράμμισης Κεραίας.

Στα μέχρι τώρα PtMP συστήματα η ευθυγράμμιση των κεραιών τους γινόταν μέσω του ανθρώπινου χεριού, ανέβαινε δηλαδή ο μηχανικός και ευθυγράμμιζε τη κεραία με την απέναντι προσπαθώντας παράλληλα να βρει και την βέλτιστη επιλογή από ένα πλήθος κεραιών τριγύρω.

Στο StreetNode αυτό πλέον δεν υφίσταται γιατί είναι εφοδιασμένο με έναν εξελιγμένο μηχανισμό ο οποίος σαρώνει αυτόματα τον χώρο τριγύρω και βρίσκει τη βέλτιστη λύση για να εγκαθιδρύσει την επικοινωνία του καθώς και να κάνει αυτόματα την απαραίτητη ευθυγράμμιση με την απέναντι κεραία.

Πιο συγκεκριμένα το StreetNode διαθέτει μια υψηλής απόδοσης κεραία και έναν μοναδικά προηγμένο μηχανισμό συστήματος ελέγχου της περιοχής εκπέμποντας ακτινοβολία και παίρνοντας δείγματα από τα εκπεμπόμενα σήματα των άλλων πλατφόρμων σε περίμετρο 220 μοιρών στο οριζόντιο επίπεδο και 30 μοιρών στο κάθετο ώστε να βρει το βέλτιστο σημείο κεραίας τριγύρω, με τη καλύτερη απόδοση σήματος. Η ευθυγράμμιση της κεραίας βασίζεται σε μετρήσεις λαμβανόμενου σήματος, δηλαδή η κεραία ευθυγραμμίζει στο σημείο που λαμβάνει τη μέγιστη ισχύ του σήματος. Το σημαντικότερο με αυτή τη καινοτομία είναι πως γίνεται αυτόματα χωρίς να χρειάζεται η συνδρομή κάποιου μηχανικού.

Η διαδικασία αυτόματης ευθυγράμμισης της κεραίας εκτελείτε από την πλατφόρμα όταν:

- ✓ Τίθεται σε λειτουργία το σύστημα.
- ✓ Επανεκκινήσετε το σύστημα.
- ✓ Χαθεί το Link επικοινωνίας.
- ✓ Υπάρξει αίτημα από τον διαχειριστή.



Εικόνα 6: Αυτόματη Ευθυγράμμιση

Σε αυτό το σημείο θα δούμε αναλυτικά τα βήματα που ακολουθούνται από το μηχανισμό αυτόματης ευθυγράμμισης κεραίας ώστε να βρει τη βέλτιστη επιλογή:

1. Αρχικά ο μηχανισμός αυτόματης ευθυγράμμισης κεραίας σαρώνει όλη τη περιοχή στις μοίρες οριζόντιου και κατακόρυφο επιπέδου που είπαμε προηγουμένως, καταγράφοντας την ισχύ όλων των λαμβανόμενων σημάτων από όλες τις κατευθύνσεις.
2. Η κεραία κατευθύνει τη δέσμη ακτινοβολίας κατά προσέγγιση προς τη κατεύθυνση που λαμβάνει το ισχυρότερο σήμα.
3. Οι κινήσεις των μικροκυμάτων επιτρέπουν την λεπτομερή και με αυξημένη ακρίβεια ρύθμιση της κεραίας σε αυτή με το ισχυρότερο σήμα, όπου είναι και η βέλτιστη θέση.
4. Τέλος το σύστημα κλειδώνει σε αυτή τη θέση και ξεκινάει την επικοινωνία του.

Αξίζει να δούμε και μερικά πράγματα για το σχεδιασμό του μηχανισμού αυτόματης ευθυγράμμισης.

Αυτός ο μηχανισμός που μόλις εξηγήσαμε παρόλο που δεν είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί ασταμάτητα καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της πλατφόρμας, παρά μόνο στις περιπτώσεις που χρειάζεται και προαναφέραμε, είναι σχεδιασμένος να αντέχει ακόμα και σε ακραίες συνθήκες. Ως εκ τούτου ο μηχανισμός είναι σχεδιασμένος όχι μόνο να αντέχει αλλά και να μην χάνει καθόλου της απόδοσης του, σε θερμοκρασίες από -40°C έως και 60°C , περιπτώσεις εισροής νερών ή ακόμα και πυκνής σκόνης.

Τέλος θα αναφερθούμε σε μια ακόμα έξυπνη λειτουργία που είναι εφοδιασμένος αυτός ο μηχανισμός και αναφέρεται στον αισθητήρα θερμοκρασίας που έχει, ο οποίος μπορεί σε περίπτωση πολύ χαμηλής θερμοκρασίας να ενεργοποιήσει κάποιο αλάρμ που θα φτάσει στον διαχειριστή της πλατφόρμας, ο οποίος με τη σειρά του θα προγραμματίσει εξ αποστάσεως τη πλατφόρμα έτσι ώστε να μην έχουμε κάποια επιπλοκή. (π.χ να μειώσει τη ταχύτητα σάρωσης του χώρου από τη κεραία λόγω ψύχους).

2. Κυκλικές Πολώσεις Σήματος.

Μια ακόμα πολύ σημαντική και καινοτόμα λειτουργία που συμπεριλαμβάνεται στο Radio κομμάτι είναι ο τρόπος με τον οποίο διαδίδεται το σήμα από και προς τη πλατφόρμα. Η διάδοση λοιπόν των σημάτων γίνεται με κυκλικές πολώσεις και όχι με γραμμικές που γινόταν μέχρι σήμερα. Αυτή η καινοτομία θα δούμε στη συνέχεια ότι είναι πολύ σημαντική καθώς μιλάμε για επίπεδο δρόμου στο οποίο έχουμε πολλές ανακλάσεις κυρίως από κινητά εμπόδια και όχι καθαρό LOS ή ανακλάσεις σε κτήρια μόνο όπως είχαμε μέχρι σήμερα. Από την επόμενη παράγραφο θα δούμε αναλυτικά τα χαρακτηριστικά της διάδοσης των σημάτων αρχικά με τη γραμμική πόλωση των σημάτων σε επίπεδο δρόμου και εν συνεχεία θα περάσουμε στην καινοτομία της κυκλικής πόλωσης.

✓ Διάδοση Σήματος Με Γραμμική Πόλωση.

Η διάδοση των σημάτων γίνεται στις μέρες μας με γραμμική πόλωση, δηλαδή πολώσεις σε οριζόντιο και κάθετο επίπεδο. Γενικά τα Links στο Small – Cell Backhauling είναι εγκατεστημένα μεταξύ δύο θέσεων στο επίπεδο δρόμου. Καθώς λοιπόν η διάδοση των σημάτων λαμβάνει χώρα σε ανοιχτή έκταση (δρόμοι), η παρουσία σημαντικών ανακλάσεων είναι πολύ πιθανή, είτε αυτές οφείλονται σε κινητά εμπόδια είτε σε σταθερά. Αξίζει να πούμε ότι στο Link δε δίνεται καθόλου κλίση (διαδίδεται ευθύγραμμα), έτσι πιθανότατα επιλέγουμε εμείς οι ίδιοι να υπάρξουν ανακλάσεις σε αντικείμενα (σταθερά αντικείμενα) ώστε το σήμα να φτάσει όσο πιο κοντά γίνεται στο κεντρικό λοβό της κεραίας λήψεως.

• Ανακλάσεις σε σταθερά αντικείμενα.

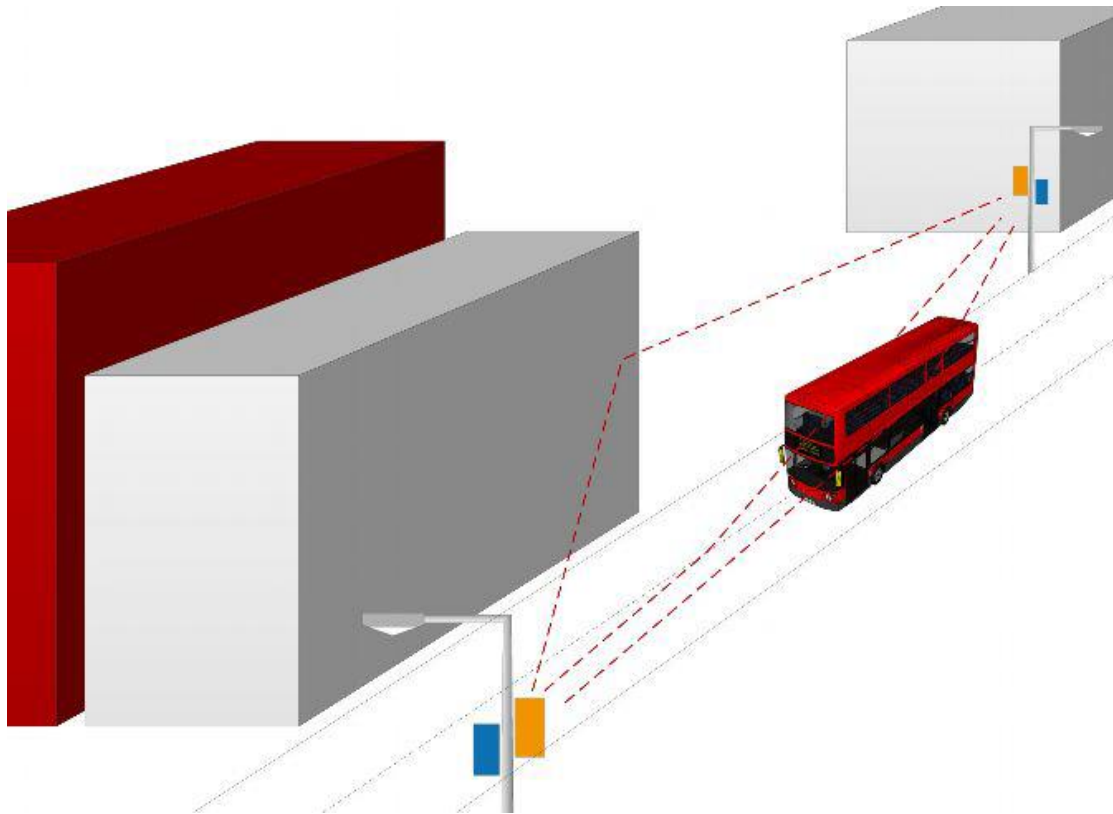
Στο οριζόντιο επίπεδο οι ανακλάσεις που δημιουργούνται συνήθως είναι από τις επιφάνειες των κτηρίων οι οποίες αποτελούνται από τσιμέντο και γυαλί, δηλαδή το ίδιο το κτήριο και τα παράθυρα του. Αυτές οι ανακλάσεις έχουν μικρή επίδραση στην απόδοση του ανακλώμενου σήματος, λόγω μειωμένης ισχύς αυτού. Επίσης πρόκειται για σταθερές ανακλάσεις καθώς είναι σε κτήρια όπως προείπαμε και ως εκ τούτου οι κεραίες λήψεως του σήματος μπορούν να μετριάσουν αυτή τη χαμηλή επίδραση στο σήμα.

• Ανακλάσεις σε κινητά αντικείμενα.

Στο κατακόρυφο επίπεδο τώρα οι ανακλάσεις που δημιουργούνται προέρχονται συνήθως από κινητά αντικείμενα όπως π.χ αυτοκίνητα, λεωφορεία κτλ. δηλαδή μιλάμε για μεταλλικές επιφάνειες και γυαλί κυρίως. Η απόδοση του ανακλώμενου σήματος είναι πιθανό να μειωθεί περισσότερο λόγω της περιοδικότητας του φαινομένου και λόγω της αλλαγής φάσης που προκύπτει.

Στην γραμμική πόλωση των Backhaul συστημάτων το σήμα ακολουθεί ένα κύριο μονοπάτι (Path) με τις ανακλάσεις που δημιουργούνται. Η κεραία λήψεως ενισχύει το ανακλώμενο σήμα, μολονότι η φάση αλλάζει και προκαλεί εξασθένηση.

Ακολουθεί η εικόνα 7 που αναπαριστά τις ανακλάσεις σε κτήρια και λεωφορεία όπως είπαμε μέσω γραμμικής διάδοσης σήματος η οποία στο επίπεδο δρόμου που εξετάζουμε με της ανακλάσεις που δημιουργούνται επιβαρύνει με θόρυβο το λαμβανόμενο σήμα.



Εικόνα 7: Ανακλάσεις Σήματος Μέσω Γραμμικής Πόλωσης

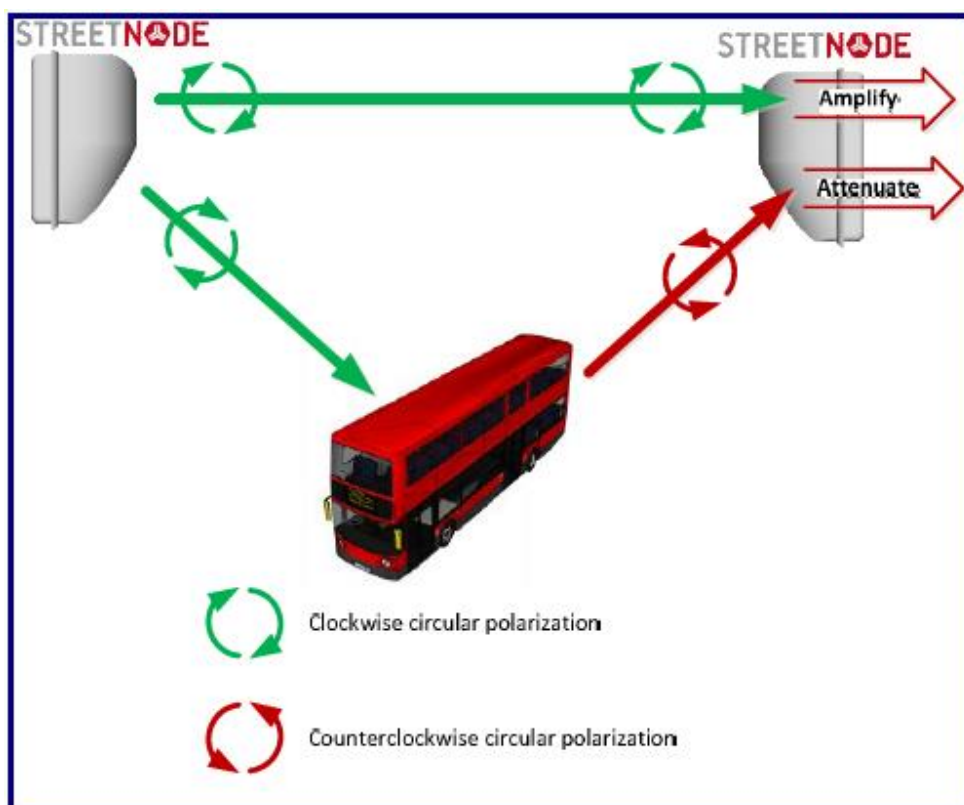
Σε Επίπεδο Δρόμου.

✓ **Διάδοση Σήματος Με Κυκλική Πόλωση.**

Όσα είπαμε ίσχυαν μέχρι σήμερα γιατί πλέον η νέα γενιά των PtMP συστημάτων είναι εφοδιασμένη με τη κυκλική πόλωση η οποία αντιμετωπίζει αποτελεσματικά τα προβλήματα που δημιουργήθηκαν στη γραμμική πόλωση όπως για παράδειγμα η εξασθένηση σήματος από ανακλάσεις σε κινητά αντικείμενα.

Το κύριο «πρόβλημα» που είχαμε με τη γραμμική πόλωση ήταν με τις ανακλάσεις που προέκυπταν από κινητά εμπόδια για αυτό και ήρθε η κυκλική πόλωση. Το διαδιδόμενο σήμα εδώ λοιπόν μεταδίδεται με κυκλικές πολώσεις π.χ η διάδοση του γίνεται δεξιόστροφα όπως η φορά του ρολογιού ή και αριστερόστροφα. Αυτό που αξίζει να δούμε εδώ είναι ότι από τις ανακλάσεις που προκύπτουν σε μεταλλικές επιφάνειες (π.χ λεωφορεία) το σήμα αλλάζει φορά πόλωσης και μεταδίδεται πλέον πάλι κυκλικά αλλά με αλλαγμένη φορά, όπως θα δούμε στην εικόνα που ακολουθεί.

Το ανακλώμενο σήμα φτάνει στην κεραία λήψεως του StreetNode έχοντας αλλάξει αντίστροφα πλέον την πόλωσή του και με μειωμένη ισχύ, επομένως η κεραία λήψεως δε το λαμβάνει υπόψη της και το μηδενίζει. Η κεραία κρατά και ενισχύει μόνο το κύριο εισερχόμενο σήμα που έρχεται από το κύριο Path, το οποίο δεν υποβλήθηκε σε ανακλάσεις και ταυτόχρονα μηδενίζει όλα τα ανακλώμενα σήματα που έρχονται. Αυτό θα το δούμε στην επόμενη εικόνα που βλέπουμε δυο μεταδιδόμενα σήματα, το ένα μεταδίδεται πολωμένο δεξιόστροφα και φτάνει στη κεραία λήψης χωρίς ανακλάσεις και το άλλο υπόκειται σε ανακλάσεις και αλλάζει τη πόλωση του με αποτέλεσμα να το μηδενίζει.



Εικόνα 8: Διάδοση Κυκλικά Πολωμένου Σήματος Με Και Χωρίς Ανακλάσεις.

Το αποτέλεσμα των κυκλικών πολώσεων είναι η χαμηλή εξασθένηση και η υψηλή διαθεσιμότητα των σημάτων, ενώ λόγω αυτών των πολώσεων το σήμα πλέον θα έχει πολύ χαμηλότερο θόρυβο, πράγμα που το κάνει άκρως αξιόπιστο.

Όπως καταλαβαίνουμε λοιπόν η καινοτομία των κυκλικών πολώσεων του μεταδιδόμενου σήματος βελτιώνει την διάδοσή του σε επίπεδο δρόμου, κυρίως στο θέμα των ανακλάσεων πράγμα που μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα λόγω συχνότητας του φαινομένου.

3. Μηχανισμός Προσαρμογής Των Links.

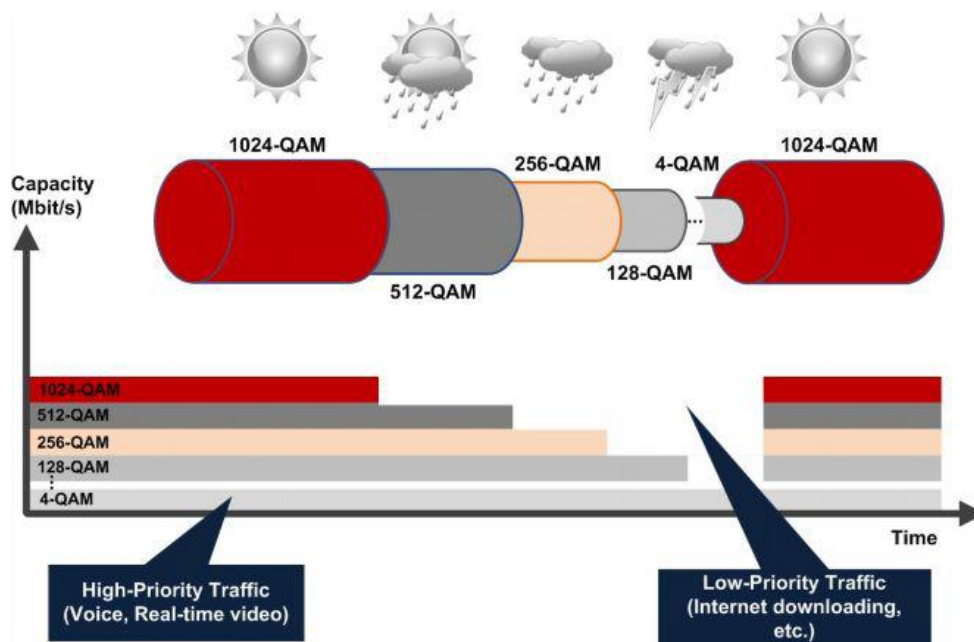
Η πλατφόρμα του StreetNode είναι εφοδιασμένη με ακόμα έναν έξυπνο μηχανισμό που αυτή τη φορά έχει να κάνει με τις συνδέσεις (Links) και τις καιρικές συνθήκες που μπορεί να αντιμετωπίσει.

Σε όλες τις ασύρματες συνδέσεις που λειτουργούν σε πολύ υψηλές συχνότητες, τόσο η αποδοτικότητα του αέρα όσο και η διαθεσιμότητα της υπηρεσίας μπορούν να επηρεαστούν από τις κακές καιρικές συνθήκες (έντονη βροχόπτωση, χιόνι κτλ). Μια αποτελεσματική λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η χρησιμοποίηση μιας υπηρεσίας προσαρμογής των Links.

Τι σημαίνει αυτό; Σημαίνει ότι πρέπει να υπάρξει ένας μηχανισμός στη πλατφόρμα που να μπορεί να προσαρμόζει τα Links έτσι ώστε να έχουμε πάντα διαθέσιμη την υπηρεσία ακόμα και σε δύσκολες καιρικές συνθήκες.

Το StreetNode είναι εφοδιασμένο λοιπόν με ένα τέτοιο προηγμένο μηχανισμό, ο οποίος μπορεί ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες να αυξάνει ή να μειώνει δυναμικά τη διαμόρφωση, τη κωδικοποίηση καθώς επίσης και τη μετάδοση της ενέργειας που βασίζετε σε μετρήσεις ποιότητας του Link. Αυτός ο μηχανισμός αυξάνει το κέρδος της κεραίας συνάμα με τη διαθεσιμότητα του Link.

Πιο συγκεκριμένα κατά τη διάρκεια άσχημων καιρικών συνθηκών για παράδειγμα η πλατφόρμα του StreetNode μπορεί αυτόματα να στραφεί σε σταθερές μορφές διαμόρφωσης και όχι να αλλάζει συνέχεια τη διαμόρφωσή της λόγω ανακλάσεων, έτσι ώστε το Link να παραμείνει λειτουργικό και να μη πέσει. Η ποιότητα της υπηρεσίας (QOS) εξασφαλίζει ότι η κίνηση που έχει υψηλή προτεραιότητα (High Priority), όπως για παράδειγμα είναι η φωνή και το Real Time βίντεο, θα παραμείνει ανεπηρέαστη και θα συνεχίζει να δουλεύει σε υψηλά πρότυπα, ενώ η κίνηση χαμηλής προτεραιότητας (Low Priority), όπως το Downlink από το διαδίκτυο θα εξυπηρετείται από την εναπομείναντα χωρητικότητα του συστήματος, όπως θα δούμε και στην εικόνα της επόμενης σελίδας.



Εικόνα 9: Λειτουργία Μηχανισμού Προσαρμογής των Link.

Αξίζει να πούμε πως με αυτόν τον μηχανισμό έχουμε πολλαπλά οφέλη που θα δούμε αμέσως όπως ότι:

1. Κάθε μονάδα StreetNode μπορεί να λειτουργήσει σε διαφορετικές διαμορφώσεις.
2. Ο μηχανισμός αυτός προσφέρει αποτελεσματική χρήση του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων.
3. Επεκτείνει το εύρος χωρίς να χρειάζεται αλλαγή του Link.
4. Προσφέρει κορυφαία Throughputs αέρα καθώς και κέρδος συστήματος.
5. Δίνει τη δυνατότητα συνεχούς παροχής υπηρεσιών.

✓ Bluetooth και Zero Touch Provisioning.

Η πλατφόρμα του StreetNode είναι εφοδιασμένη επίσης με δύο λειτουργίες πολύ σημαντικές. Η πρώτη είναι το Bluetooth Provisioning, κατά το οποίο αφού η μονάδα τοποθετηθεί σε ένα σημείο ο μηχανικός μπορεί να τη ρυθμίσει (PtMP ή PtP λειτουργία) ασύρματα μέσω Bluetooth από ορισμένη απόσταση είτε με Laptop είτε με Tablet. Αφού γίνει και αυτό η δουλειά του μηχανικού τελειώνει και ξεκινάει το Zero Touch Provisioning. Τι είναι αυτό;

Πρόκειται για μια σημαντικότερη λειτουργία της πλατφόρμας που μηδενίζει τη παρουσία του μηχανικού και ονομάζεται Zero Touch Provisioning. Είναι μια λειτουργία κατά την οποία δεν απαιτείται παρουσία του μηχανικού στο πεδίο για να θέσει σε λειτουργία τη πλατφόρμα. Χάρη στις εξελιγμένες δυνατότητες της, αμέσως μετά την εγκατάσταση του καλωδίου παροχής ρεύματος το StreetNode συνδέεται αυτόματα στο δίκτυο εντός ολίγων λεπτών (Plug and play).



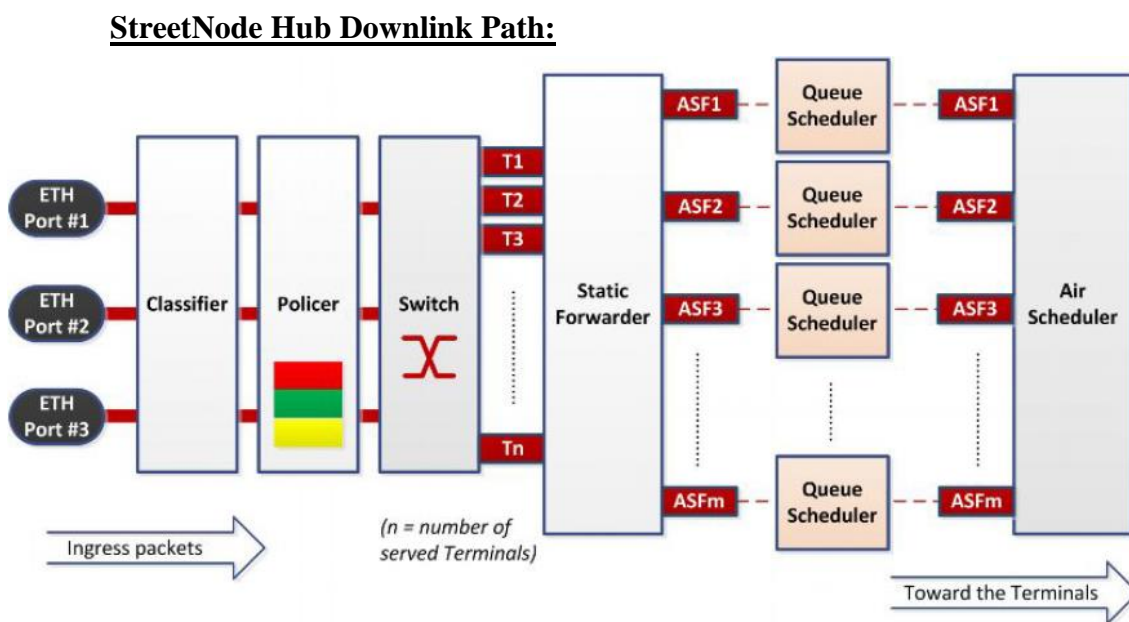
Εικόνα 10: Σειρά Λειτουργιών Ενεργοποίησης του StreetNode.

2.4.2 Quality of Service (QOS).

Περνάμε στο κομμάτι της Ποιότητας Υπηρεσίας, το γνωστό Quality Of Service (QOS), στο οποίο θα δούμε αναλυτικά τον μηχανισμό που χρησιμοποιεί το StreetNode, θα εξηγήσουμε κάθε κομμάτι του ξεχωριστά καθώς και τις δυνατότητες που έχει και θα δούμε ευθύς αμέσως:

1. 8 ουρές κίνησης ανά Air Service Flow (ASF).
2. Ξεχωριστές ουρές προγραμματιστών-scheduler (μια ανά ASF) που το καθένα διαθέτει:
 - 8 Buffers (έναν ανά ουρά).
 - Όριο απόρριψης πακέτων προγραμματιζόμενο από τον χρήστη.
3. Πολλαπλές μεθόδους ταξινόμησης κίνησης.

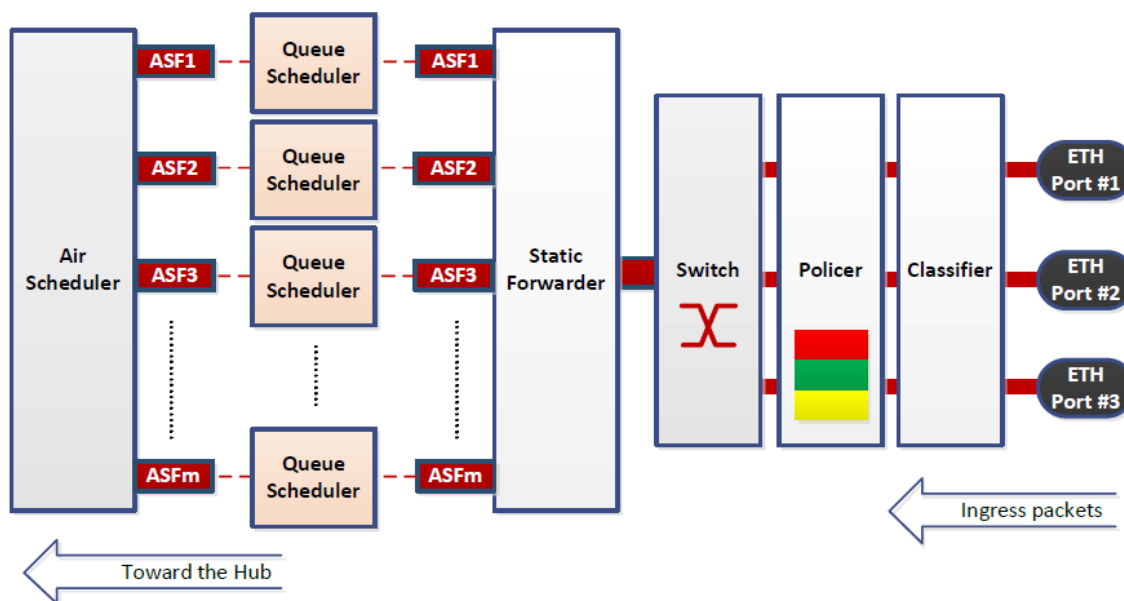
Πάμε να δούμε τώρα στις εικόνες που ακολουθούν τον μηχανισμό QOS που χρησιμοποιεί το StreetNode σε Downlink και Uplink αντίστοιχα και ισχύει για κάθε Hop.



Εικόνα 11: Μηχανισμός QOS του StreetNode στο Downlink.

Ο μηχανισμός για το Uplink διαθέτει τα ίδια χαρακτηριστικά μόνο που η διαδικασία γίνεται ανάποδα όπως θα δούμε στην επόμενη σελίδα.

StreetNode Terminal Uplink Path:



Εικόνα 12: Μηχανισμός QOS του StreetNode στο Uplink.

Ας δούμε αναλυτικά τον μηχανισμό QOS που χρησιμοποιεί το StreetNode:

- **Classifier:**

Το QOS υλοποιεί προτεραιοποίηση (θα τη δούμε στο Queue Scheduler) και ταξινόμηση της κίνησης σε Layer 2 και Layer 3 (DSCP) επίπεδο. Για τη ταξινόμηση το κύριο ρόλο στο μηχανισμό που μόλις παρουσιάσαμε παίζει ο Classifier, ταξινομητής στη γλώσσα μας, που βρίσκεται και στις δύο περιπτώσεις (Uplink, Downlink) στην αρχή του μηχανισμού. Ο Classifier χρησιμοποιείται για να ταξινομεί τα εισερχόμενα πακέτα (έρχονται από τις Ethernet Διεπαφές του StreetNode) σε διακριτές κατηγορίες υπηρεσιών -Classes Of Services (COS)- που θα δούμε παρακάτω:

Classes Of Services (COS)
Interface
Interface και VLAN ID
Interface και P-Bits
Interface, VLAN ID και P-Bits
Interface και DSCP
Interface και IPv6 TC
Interface και MPLS EXP

Πίνακας 1: Πίνακας COS.

Στη συνέχεια θα δούμε τι περιέχεται σε κάθε κατηγορία COS του προηγούμενου πίνακα:

➤ **Interface:**

Σε αυτή τη κατηγορία τοποθετούνται όλα τα Ethernet πακέτα που έρχονται από τις αντίστοιχες πόρτες.

➤ **Interface και VLAN ID:**

Εδώ τοποθετεί την εισερχόμενη πόρτα (τη πόρτα που έρχεται το πακέτο) και το εξωτερικό VLAN ID (ή το εσωτερικό VLAN ID εάν το πλαίσιο έχει διπλή ετικέτα).

➤ **Interface και P-Bits:**

Σε αυτή τη κατηγορία ταξινομείται η εισερχόμενη πόρτα του πακέτου και το IEEE 802.1p VLAN με κεφαλίδα P-Bits (Priority Bits).

➤ **Interface, VLAN ID και P-Bits:**

Ταξινομεί την εισερχόμενη πόρτα και το συνδυασμό τιμών από το VLAN ID και το P-Bits

➤ **Interface και DSCP:**

Εδώ τοποθετεί την εισερχόμενη πόρτα και τη τιμή του DSCP (Differentiated Services Code Point) όπου και είναι η μοναδική περίπτωση που βρίσκεται στο Layer 3 επίπεδο.

➤ **Interface και IPv6 TC:**

Σε αυτή τη κατηγορία μπαίνει η εισερχόμενη πόρτα του πακέτου καθώς και το IPv6 πακέτο κίνησης των 8 Bits.

➤ **Interface και MPLS EXP:**

Στη τελευταία κατηγορία ταξινομεί την εισερχόμενη πόρτα και το MPLS πακέτο της κεφαλίδας EXP Bits.

• **POLICER**

Είναι υπεύθυνο για την ικανοποίηση των απαιτήσεων για τη διαχείριση της παρεχόμενης ποιότητας της υπηρεσίας (QOS) χρησιμοποιώντας τον χρωματικό μηχανισμό, κατά τον οποίον ο Policer μαρκάρει τα πακέτα με ένα χρώμα ανάμεσα στο Πράσινο, Κίτρινο και Κόκκινο. Όπου πράσινο το πακέτο προωθείται και συνεχίζει, όπου Κίτρινο προωθείται αλλά χωρίς πολύ καλή απόδοση και όπου Κόκκινο τα πακέτα κόβονται.

- **MAC Anti-spoofing:**

Όπως ξέρουμε όταν ένα πακέτο στέλνεται σε ένα δίκτυο έχει μια ετικέτα με τη MAC διεύθυνση του αποστολέα για να τον αναγνωρίζουμε. Αυτή η διεύθυνση είναι μοναδική για κάθε «μηχάνημα» και δε μπορεί να αλλάξει. Παρόλα αυτά υπάρχουν εργαλεία που δίνουν την ευχέρεια στο χρήστη να βάλει όποια MAC διεύθυνση θέλει στο πακέτο που στέλνει. Για αυτό το λόγο ο μηχανισμός QOS που χρησιμοποιεί το StreetNode έχει τη λειτουργία MAC Anti-spoofing. Τι είναι αυτό;

Πρόκειται για μια λειτουργία η οποία εξετάζει τις MAC διευθύνσεις όλων των πακέτων που προέρχονται εκτός του StreetNode δικτύου και βρίσκονται προσωρινά στις Ethernet θύρες του. Έτσι τα πακέτα που έχουν ίδιες MAC διευθύνσεις αλλά προέρχονται από διαφορετικές φυσικές πόρτες θα κοπούν.

- **Switch:**

Πρόκειται για ένα Switch σε Layer 2 επίπεδο που εκτελεί τη μεταγωγή των πακέτων μεταξύ της Ethernet θύρας του StreetNode και:

- Της κίνησης ενός StreetNode PtMP τερματικού ή
- Της κίνησης από όλα τα συνδεδεμένα StreetNode PtMP τερματικά (T1...Tn, n= 1 έως 30) σε περίπτωση που έχουμε StreetNode PtMP Hub, όπου συγκεντρώνει τη κίνηση από τα τριγύρω τερματικά.

- **Static Forwarder:**

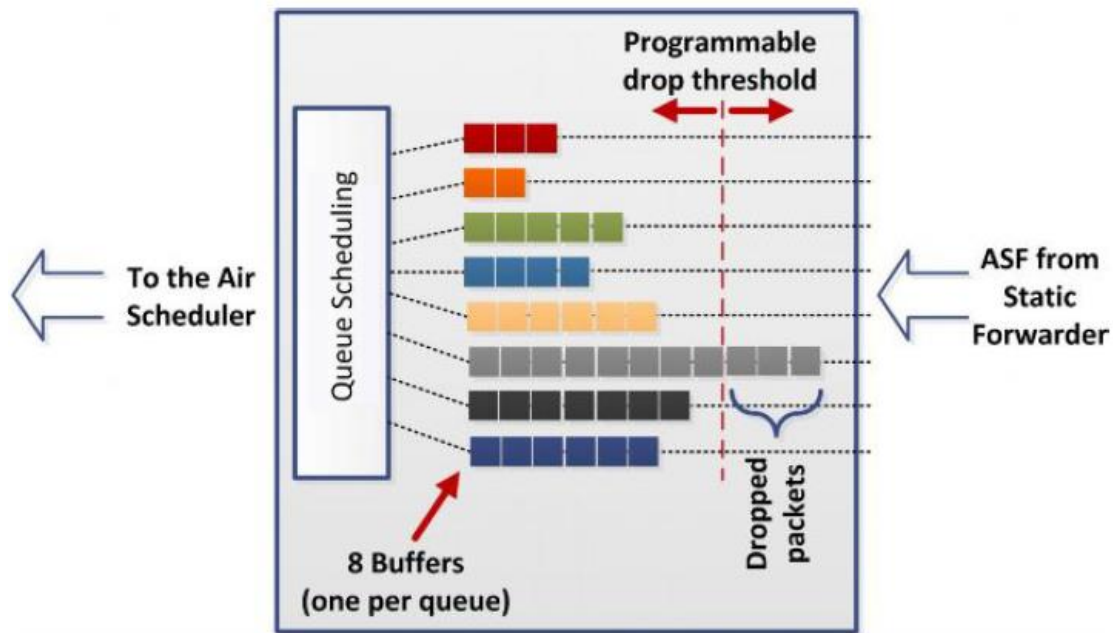
Στη συνέχεια κα όπως βλέπουμε στις εικόνες 10 και 11 παραπάνω περνάμε στο Static Forwarder. Τι κάνει αυτό;

Εγκαθιστά τις ASF (Air Service Flow). Εγκαθιστά έως και 15 ASFs για StreetNode PtMP τερματικά και μέχρι 120 για StreetNode PtMP Hub. Επιτρέπει τον πλήρη έλεγχο για τη κίνηση στον αέρα και παρέχει μεγάλη ευελιξία.

- **Queue Scheduler:**

Δέχεται μια ASF (Air Service Flow) από τον Static Forwarder και προωθεί τα πακέτα σε 8 Buffers, καθένας από τους οποίους υποστηρίζει μια διαφορετική Ethernet COS προτεραιότητα. Το όριο που θα κόβουν οι Buffers τα πακέτα μπορεί να το θέσει ο χρήστης όπου θέλει αυτός.

Ο Queue Scheduler εφαρμόζει ακριβής προτεραιότητες τις οποίες αναθέτει στις ASF πριν αυτές φτάσουν στον Air Scheduler σύμφωνα με τα P – Bits που θα δούμε παρακάτω. Στην επόμενη σελίδα θα δούμε την εικόνα 13 στην οποία αναπαριστάται τη λειτουργία του Queue Scheduler.



Εικόνα 13: Λειτουργία Queue Scheduler Για Κάθε (ASF).

Σημαντικό ρόλο εδώ παίζουν τα P-Bits (Priority Bits) που είναι από 1 έως 7 σύμφωνα με τα οποία γίνεται η προτεραιοποίηση της κίνησης. Όσο πιο κοντά στο 1 είναι το Bit της κάθε κίνησης τόσο πιο μεγάλη προτεραιότητα έχει (1 = Higher Priority, 7 = Lower Priority). Για παράδειγμα η προτεραιοποίηση κίνησης της φωνής σε σχέση με τη Best Effort σε έναν σταθμό, άρα η φωνή θα έχει υψηλότερο P-Bit από τη Best Effort και θα είναι αυτή που θα διατηρηθεί σε περίπτωση που χρειαστεί να πέσουν πακέτα.

- **Air Scheduler:**

Τελευταίο κομμάτι που θα αναλύσουμε είναι αυτό του Air Scheduler. Ο Air Scheduler στο StreetNode Hub παρακολουθεί την εισερχόμενη ASF ουρά από κάθε StreetNode τερματικό και ελέγχει δυναμικά τον αέρα που υπάρχει ανάμεσα στα εξυπηρετούμενα StreetNode τερματικά. Τέλος ο Air Scheduler του StreetNode Hub είναι υπεύθυνο για τη κατανομή του εύρους ζώνης του αέρα και στις δύο κατευθύνσεις, στο Uplink (Τερματικό > Hub) και στο Downlink (Hub > Τερματικό).

Η διαδικασία που ακολουθεί ο Air Scheduler για τη μετάδοση ή τη λήψη πακέτων είναι η εξής:

1. Τα StreetNode τερματικά στέλνουν αίτημα μετάδοσης πακέτων στο StreetNode Hub και παρέχουν πληροφορίες για τη κατάσταση όλων των συνδεδεμένων ASFs.

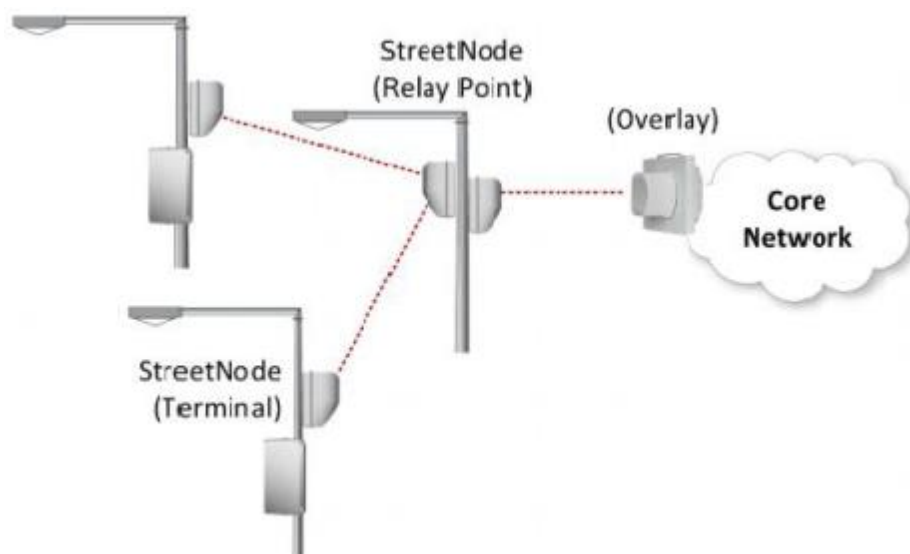
2. Το StreetNode Hub λαμβάνει το αίτημα από όλα τα StreetNode τερματικά που είναι συνδεδεμένα σε αυτό και με τη σειρά του εκτελεί την επεξεργασία και κατανέμει αποτελεσματικά τον αέρα λαμβάνοντας υπόψη:
 - A. Τη φυσική διαμόρφωση από κάθε ζεύξης.
 - B. Τη κίνηση κάθε ASF.
3. Το StreetNode Hub ενημερώνει τα αντίστοιχα StreetNode τερματικά ότι μπορούν να μεταδώσουν τα πακέτα των δεδομένων τους σε συγκεκριμένες χρονοθυρίδες (Timeslots).

2.4.3 Συγχρονισμός Δικτύου.

Σε αυτό το σημείο θα μιλήσουμε για τον συγχρονισμό του δικτύου με τις πλατφόρμες του StreetNode. Θα αναφερθούμε στους τρόπους συγχρονισμού και θα δούμε μια γενική εικόνα για το καθένα.

Ο συγχρονισμός της συχνότητας και της φάσης είναι ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά σε όλες τις γενιές συστημάτων κινητής πρόσβασης.

Ο συγχρονισμός πραγματοποιείται μέσω ενός Packet-Based δικτύου που το κάνει να είναι ένα ελκυστικό χαρακτηριστικό των συστημάτων αυτών. Ο συγχρονισμός πακέτων πρέπει να υποστηρίζεται από όλους τους κόμβους του δικτύου, από τη πηγή μέχρι τη συγχρονισμένη συσκευή όπως θα δούμε στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 14: Συγχρονισμός Small Cell Backhaul δικτύου.

Το StreetNode χρησιμοποιεί διάφορα Packet-Based πρωτόκολλα και μεθόδους με ρολόι οι οποίες παρέχουν συγχρονισμό σε ευρύ (Networkwide) και άκρου προς άκρου (End-to-End) δίκτυα. Σε αυτά περιλαμβάνονται τα:

- Synchronous Ethernet (SyncE)
- IEEE 1588v2 (“PTP” Precision Time Protocol) (Πρωτόκολλο ακρίβειας χρόνου)

Το SyncE και το IEEE 1588v2 εφαρμόζονται ταυτόχρονα στις μονάδες του StreetNode και στη μονάδα του Overlay προσφέροντας συγχρονισμό σε συχνότητα, φάση και χρόνο με βελτιωμένη σταθερότητα. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή για το καθένα:

✓ **Synchronous Ethernet (SyncE).**

Το StreetNode εφαρμόζει το SyncE σύμφωνα με τα πρότυπα της ITU (ITU-T G.8261, ITU-T G.8262 και G.8264) τα οποία καθορίζουν τις πτυχές συγχρονισμού των πακέτων δικτύων και τα χαρακτηριστικά χρονοσυστήματος των:

- Σύγχρονου εξοπλισμού Ethernet με ρολόι (EEC)
- Κανάλι συγχρονισμού μηνυμάτων μέσω Ethernet (ESMC)

Το σύγχρονο Ethernet δουλεύει στο φυσικό επίπεδο (Physical Layer) και παρέχει συγχρονισμό συχνοτήτων που μπορεί να υποστηρίξει έως και 10 Hops στο δίκτυο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι μια από τις διαθέσιμες Gigabit Ethernet διεπαφές που διαθέτει η πλατφόρμα του StreetNode μπορεί να οριστεί ως μία πόρτα που θα δέχεται τον συγχρονισμό ή θα διανέμει το ρολόι αναφοράς. Ενώ η απόδοση του δικτύου δεν εξαρτάται από το φόρτο του θα πρέπει να σημειωθεί πως για να εκμεταλλευτούμε το SyncE απαιτείται κάθε κόμβος στο δίκτυο να υποστηρίζει αυτή τη μέθοδο για να μπορεί να συγχρονιστεί με το ρολόι αναφοράς.

✓ IEEE 1588v2 (“PTP” Precision Time Protocol).

Το πρωτόκολλο ακρίβειας χρόνου – PTP Version 2 είναι ένα πρωτόκολλο συγχρονισμού ρολογιών μέσω ενός Ethernet δικτύου, αναφορικά με τη συχνότητα, τη φάση και το χρόνο. Η κατανομή του ρολογιού γίνεται βάση μιας ιεραρχικής Master – Slave αρχιτεκτονικής και μπορεί να παρέχει ακρίβεια φάσης συγχρονισμού μικρότερη του 1 μs.

Το StreetNode υλοποιεί το IEEE 1588v2 χρησιμοποιώντας ένα Transparent ρολόι (TC) από άκρο σε άκρο. Σύμφωνα με αυτή τη λειτουργία (TC) για τη μεταφορά των πακέτων δαπανείται κάποιος χρόνος, ο οποίος μπαίνει με «ετικέτα» σε καθένα από αυτά τα πακέτα. Στο τέλος της μεταγωγής των πακέτων, η χρονική αυτή διαφορά διορθώνεται στο τελικό άκρο.

2.5 Εφαρμογές StreetNode.

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα δούμε τη περιοχή εφαρμογών τη πλατφόρμας. Πιο συγκεκριμένα θα δώσουμε παραδείγματα εφαρμογών με εικόνες και θα αναλύσουμε τις διάφορες λειτουργίες που μπορεί να εξυπηρετήσει μια μονάδα StreetNode.

Οι παραδοσιακές αρχιτεκτονικές Backhaul, οι οποίες βασίζονται στις ώριμες τεχνολογίες PtMP και PtP, έχουν μικρή πρακτική αξία όταν πρόκειται για εφαρμογές Small - Cell Backhaul, καθώς αποδεικνύεται ότι με τα σημερινά δεδομένα είναι ασύμφορες και ανεφάρμοστες.

Η αποκλειστική χρήση ζεύξεων PtP για παράδειγμα, για τη εξυπηρέτηση όλων των σημείων παρουσίας των Small - Cells, καταλήγει σε πολύπλοκα και δαπανηρά Multi Hop δίκτυα.

Παρομοίως, οι τεχνολογίες NLOS (Non Line Of Sight), αν και δεν παρουσιάζουν τους περιορισμούς των LOS (Line Of Sight) υλοποιήσεων, προσφέρουν μεν ευελιξία στο σχεδιασμό δικτύου, αλλά είναι διαθέσιμες μόνο για συχνότητες κάτω των 6 GHz, όπου το φάσμα είναι δυσεύρετο και οι αδειοδοτήσεις σχετικά ακριβές. Εκτός των άλλων, η διάδοση των NLOS, η οποία βασίζεται στις ανακλάσεις του σήματος, δημιουργεί σημαντικές παρεμβολές μεταξύ των γειτονικών ζεύξεων και μειώνει τις ταχύτητες μετάδοσης σε επίπεδα κάτω από τις ονομαστικές τιμές, κάτι που είδαμε και παραπάνω.

Η πλατφόρμα StreetNode μπορεί να ρυθμιστεί και να δουλεύει σε PtMP ή PtP λειτουργία με τη βοήθεια του ενσωματωμένου λογισμικού. Με αυτό το τρόπο εισάγουμε μία βέλτιστη αρχιτεκτονική δικτύου που αυξάνει σημαντικά τις δυνατότητες διασύνδεσης σε απαιτητικές εφαρμογές τύπου Small - Cells Backhaul, καθώς μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις ίδιες μονάδες σε όλο το Backhaul δίκτυο δουλεύοντας κάθε φορά διαφορετικά (PtMP ή PtP).

Κάθε μονάδα StreetNode λοιπόν μπορεί να ρυθμιστεί και να δουλέψει σαν:

1. **PtMP Τερματικό:** Επικοινωνεί με τα PtMP Hub. Στέλνει τη κίνηση από τη περιοχή ευθύνης του προς το κοντινότερο PtMP Hub ή κατευθείαν στο Overlay hub, αν βρίσκεται στη περιοχή κάλυψης του.
2. **PtMP Hub:** Εξυπηρετεί πολλά PtMP Τερματικά. Συλλέγει τη κίνηση από τα τριγύρω PtMP Τερματικά και τη προωθεί προς το Overlay Επίπεδο (Macro Layer).
3. **PtP Μονάδα:** Χρησιμοποιείται για πιο μακρινές συνδέσεις, είτε πρόκειται για ένα απομακρυσμένο σημείο ή ακόμα και για μία απομακρυσμένη περιοχή Small - Cells που δεν είναι προσβάσιμες από άλλες λύσεις.

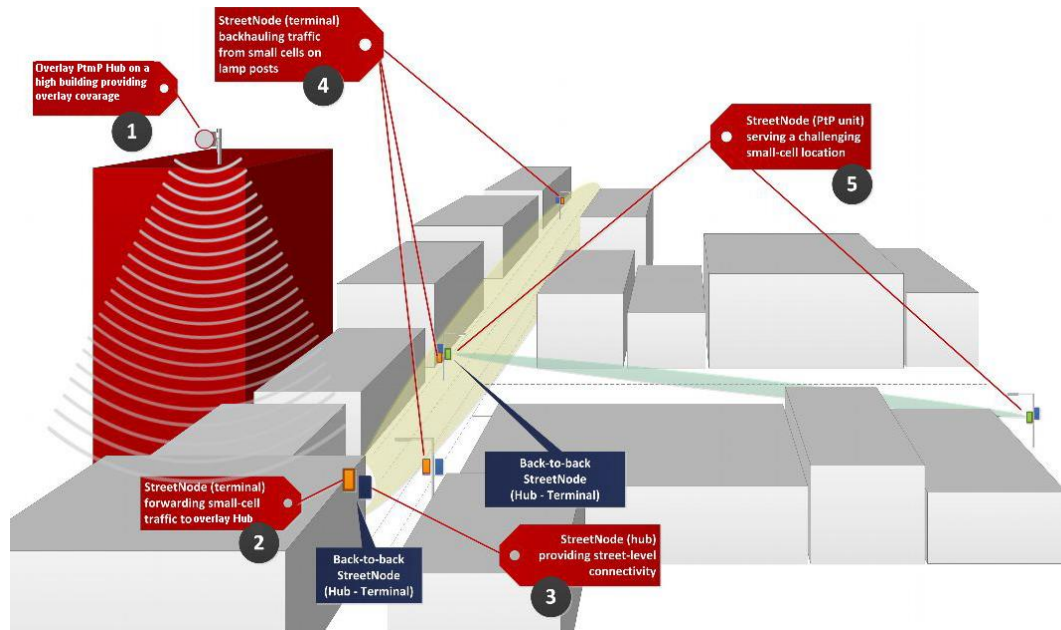
Επιπλέον αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι σε περίπτωση που χρειαστούμε αναμετάδοση της κίνησης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε δύο συνδεδεμένες μονάδες StreetNode (Back To Back) σε μια κολώνα φωτισμού οι οποίες λειτουργούν σαν σημείο αναμετάδοσης (Point Relay) της κίνησης.

Η ίδια μονάδα StreetNode μπορεί να προσφέρει αποτελεσματική και ευρεία κάλυψη αστικών περιοχών εξυπηρετώντας την πλειοψηφία των Small - Cells χωρίς την ανάγκη υιοθέτησης εναλλακτικών τεχνολογιών με όλους τους περιορισμούς που τις συνοδεύουν. Το δίκτυο μπορεί να επεκταθεί σε "δύσκολα" σημεία δρόμων και να συμπεριλάβει όλα εκείνα τα Small - Cells που δεν έχουν απευθείας οπτική επαφή με το Overlay PtMP Hub (Macro Layer).

Αφού είδαμε τις λειτουργίες μιας μονάδας StreetNode θα περάσουμε στις εφαρμογές της. Θα δούμε διάφορα σενάρια – τοπολογίες που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις ίδιες μονάδες αλλά με άλλες λειτουργίες κάθε φορά στο InClutter επίπεδο.

2.5.1 1^ο Παράδειγμα Εφαρμογής.

Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει ένα σενάριο στο οποίο χρησιμοποιήσαμε μονάδες StreetNode τοποθετημένες σε κολώνες φωτισμού σε PtMP αλλά και σε PtP λειτουργία, για να πάρουμε όλη τη Backhauling κίνηση από αρκετά Small - Cells στο επίπεδο δρόμου.



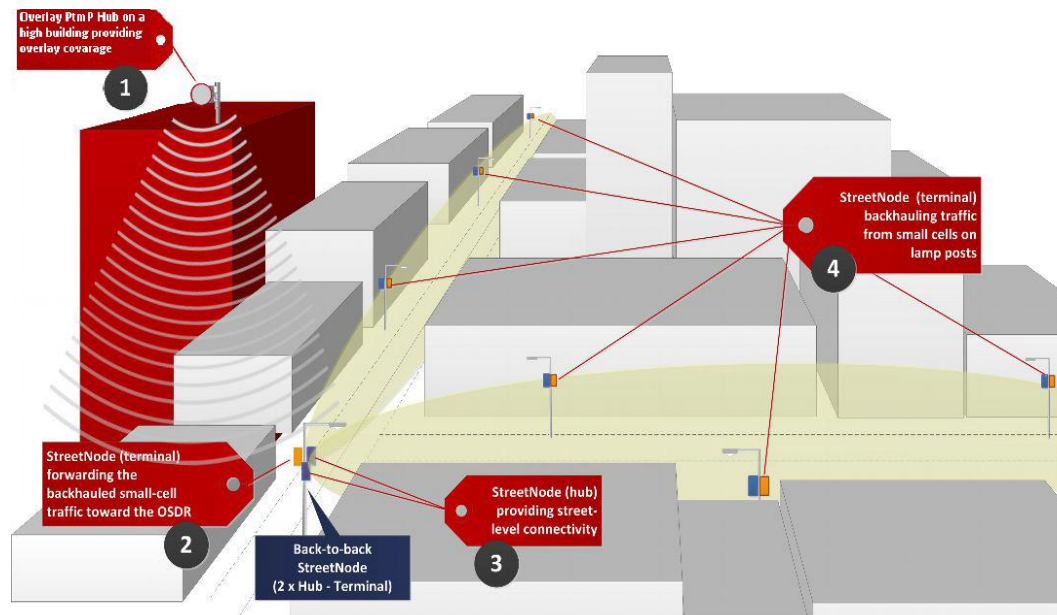
Εικόνα 15: StreetNode τοπολογία με PtMP και PtP Λειτουργία.

Πιο συγκεκριμένα και όπως βλέπουμε στην εικόνα 14 έχουμε ένα Overlay PtMP Hub (1) πάνω στο ψηλότερο κτήριο της περιοχής για να παρέχει κάλυψη αυτής και να εξυπηρετεί αρκετά StreetNode τερματικά (4). Ακόμα έχουμε ένα PtMP τερματικό (2) που είναι συνδεδεμένο Back To Back με ένα PtMP Hub (3) για τη διαμόρφωση ενός Relay σημείου που θα μεταφέρει όλη τη Backhauling κίνηση της περιοχής στο Overlay PtMP Hub (Macro Layer).

Στη τοπολογία μας αυτή έχουμε και μια δύσκολη, μακρινή περιοχή Small - Cell στην οποία τοποθετήσαμε ένα ζευγάρι μονάδων StreetNode σε PtP λειτουργία (5) (ένα στο απομακρυσμένο σημείο και ένα μέσα στο κύριο δίκτυο της περιοχής) για να καταφέρουμε να «φέρουμε κοντά» τη κίνηση από την απομακρυσμένη περιοχή στο υπόλοιπο δίκτυο και εν συνεχεία να πάει και αυτή με τη σειρά της στο Overlay Layer.

2.5.2 2^ο Παράδειγμα Εφαρμογής.

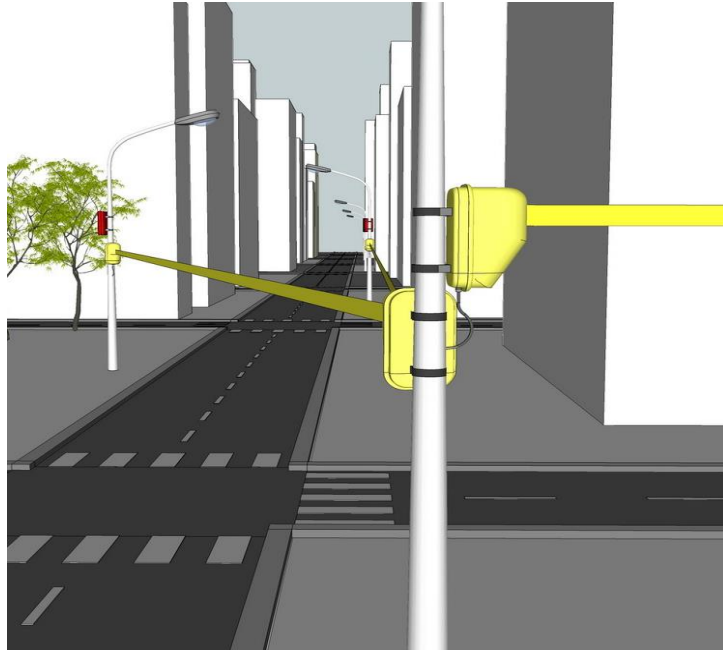
Στο δεύτερο σενάριο μας θα δούμε την εικόνα 16 στην οποία βλέπουμε μια τοπολογία με μονάδες StreetNode πάλι σε κολώνες φωτισμού μόνο σε λειτουργία PtMP αλλά αυτή τη φορά η Backhaul κίνηση που συγκεντρώνουμε για να στείλουμε στο Overlay Layer προέρχεται από δύο κατευθύνσεις.



Εικόνα 16: StreetNode Τοπολογία με Backhaul Κίνηση από Δύο Κατευθύνσεις.

Ειδικότερα σύμφωνα με τη τοπολογία της εικόνας 15 έχουμε πάλι ένα Overlay PtMP Hub (1) πάνω στο ψηλότερο κτήριο της περιοχής για να παρέχει κάλυψη αυτής και να εξυπηρετεί αρκετά StreetNode τερματικά (4). Η διαφορά σε αυτή τη τοπολογία είναι πως έχουμε δύο PtMP Hubs (3) και ένα PtMP τερματικό (2) που είναι συνδεδεμένα Back To Back έτσι ώστε να συλλέξουν και να στείλουν στο Overlay επίπεδο τη Backhauling κίνηση. Γιατί όμως χρησιμοποιήσαμε δύο PtMP Hubs (3);

Χρησιμοποιήσαμε ένα PtMP Hub για κάθε κατεύθυνση. Έχουμε δύο κατευθύνσεις άρα τοποθετούμε δύο PtMP Hubs ώστε καθένα από αυτά να πάρει τη κίνηση από την αντίστοιχη κατεύθυνση και με τη σύνδεση Back To Back με ένα PtMP τερματικό να πάει στο Overlay PtMP Hub. Αν κατεβούμε στο επίπεδο δρόμου για να καταλάβουμε καλύτερα τον τρόπο σύνδεσης των δύο PtMP Hubs θα βλέπαμε την εικόνα που ακολουθεί:

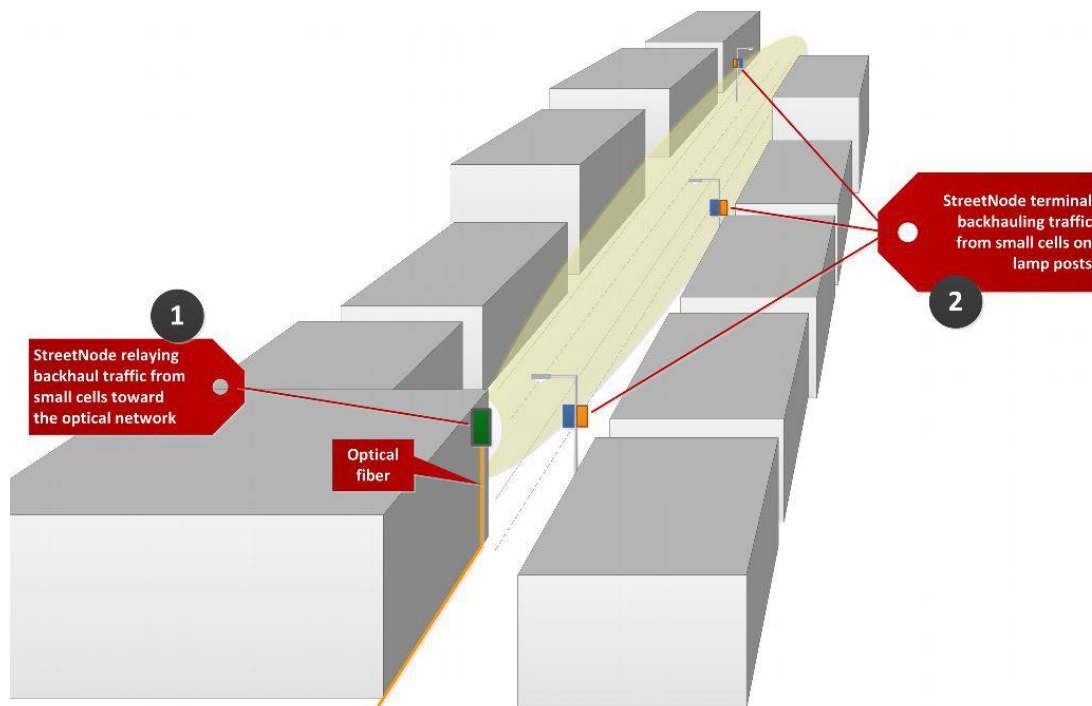


Εικόνα 17: PtMP Hubs Δύο Κατευθύνσεων.

Βλέπουμε ότι κάθε StreetNode Hub εξυπηρετεί κάθε StreetNode τερματικό από την αντίστοιχη κατεύθυνση ξεχωριστά αλλά και ταυτόχρονα. Σκοπός αυτής της εικόνας ήταν αν δούμε πως δουλεύουν τα Hubs στη προκειμένη περίπτωση.

2.5.3 3^ο Παράδειγμα Εφαρμογής.

Τρίτο και τελευταίο σενάριο των μονάδων StreetNode, στο οποίο θα δούμε κάτι διαφορετικό. Πρόκειται για μια τοπολογία στην οποία δε θα χρησιμοποιήσουμε το Overlay επίπεδο και θα δούμε πως η πλατφόρμα StreetNode παρέχει επέκταση του δικτύου σε οπτική ίνα για τη Backhauling κίνηση από Small - Cells σε επίπεδο δρόμου. Ακολουθεί η εικόνα 18 που μας δείχνει τη τοπολογία που στη συνέχεια θα εξηγήσουμε.



Εικόνα 18: StreetNode Τοπολογία με Επέκταση Οπτικής Ύψας.

Αναλυτικότερα βλέπουμε όλα τα PtMP τερματικά που είναι τοποθετημένα σε κολώνες φωτισμού να μεταφέρουν τη Backhauling κίνηση τους από τα Small - Cells σε μια μονάδα StreetNode που λειτουργεί σαν Hub. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η μονάδα του StreetNode μπορεί να συνδεθεί απευθείας με το δίκτυο οπτικών ινών οπού μέσω αυτού μεταφέρει όλη τη Backhaul κίνηση της περιοχής. Το StreetNode επιτρέπει την επέκταση του δικτύου με οπτικές ίνες καθώς μπορεί να συνδεθεί με αυτές εύκολα δίνοντας έναν ακόμα επικερδή τρόπο και στον ελάχιστο χρόνο, καθώς δε χρειάζεται τίποτα άλλο παρά μόνο μια επέκταση της οπτικής ίνας από το δρόμο στη μονάδα του StreetNode και αυτόματα η πλατφόρμα έχει συνδεθεί με όλο το δίκτυο οπτικών ινών τη περιοχή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΙΛΟΤΙΚΟ ΤΕΣΤ ΤΟΥ STREETNODE.

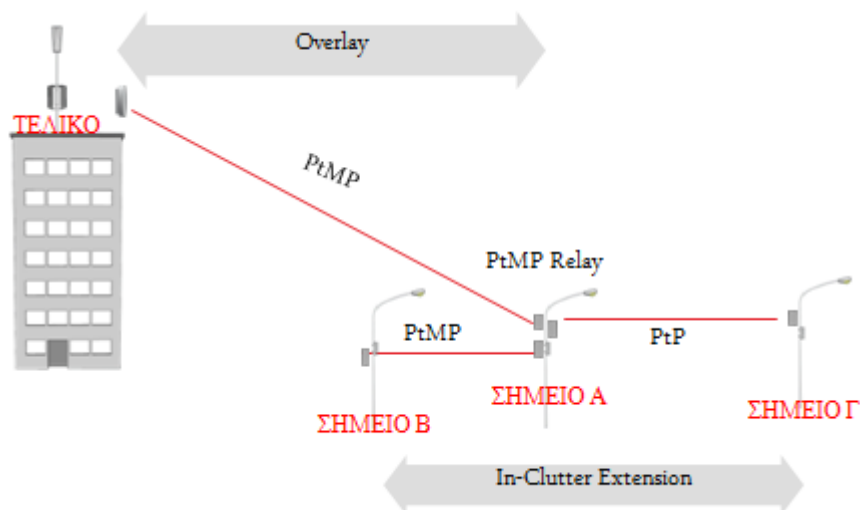
3.1 Εισαγωγή.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε πρακτικά πράγματα για τη πλατφόρμα του StreetNode. Πιο συγκεκριμένα το κεφάλαιο 4 είναι αυτό που θα μας βάλει στην ουσία της πλατφόρμας. Θα δούμε πως ανταποκρίθηκε στη πραγματικότητα το StreetNode μέσω του πιλοτικού που κάναμε. Το πιλοτικό εφαρμόστηκε στη περιοχή της πλατείας Ομονοίας ξεκινώντας τη λειτουργία του τον Αύγουστο του 2014 και τρέχει μέχρι και σήμερα. Θα δούμε αναλυτικά πως και που στήσαμε τις πλατφόρμες μας καθώς και τα αποτελέσματα που πήραμε, τα οποία είναι άκρως έγκυρα καθώς είχαμε σχολαστική παρουσία στο σημείο παρακολουθώντας τη λειτουργία τους. Επίσης θα δούμε τυχόν επιπλοκές, τι δε πήγε καλά και πως διορθώσαμε τα «προβλήματα» που αντιμετωπίσαμε. Τέλος θα προτείνουμε βήματα βελτιστοποίησης που θα θέλαμε να γίνουν και θα τα αξιολογήσουμε ανάλογα.

3.2 Τοπολογία Πιλοτικού.

Όπως είπαμε και στην εισαγωγή του κεφαλαίου το πιλοτικό έτρεξε στην πλατεία Ομονοίας στο κέντρο της Αθήνας. Διαλέξαμε αυτό το σημείο γιατί από εκεί περνούν καθημερινά χιλιάδες άνθρωποι και αυτοκίνητα – λεωφορεία πράγμα που σημαίνει πως ήταν η ιδανική περιοχή για να δοκιμάσουμε τη πλατφόρμα μας όσο αφορά τη κίνηση που θα εξυπηρετούσε, δοκιμάζοντας το Capacity της πλατφόρμας. Ένας πολύ σημαντικότερος λόγος ήταν οι ανακλάσεις που θα δημιουργούνταν από τα χιλιάδες διερχόμενα αυτοκίνητα και λεωφορεία καθημερινώς, πράγμα που σημαίνει πως θα μπορούσαμε να δοκιμάσουμε τη καινοτομία των κυκλικών πολώσεων που χρησιμοποιεί η πλατφόρμα. Τέλος αξίζει να σημειώσουμε πως κατά τη περίοδο που τρέχαμε το πιλοτικό στο κέντρο της Αθήνας έριξε καταρρακτώδεις βροχή, κάτι που μας βοήθησε να δούμε τις αντοχές της πλατφόρμας σε αντίξοες καιρικές συνθήκες καθώς και τον μηχανισμό προσαρμογής των Links (αυξομείωση της διαμόρφωσης).

Σε αυτό το εγχείρημα μας συνδέσαμε 3 σημεία στη πλατεία Ομονοίας στο InClutter Layer (ΣΗΜΕΙΟ Α, ΣΗΜΕΙΟ Β, ΣΗΜΕΙΟ Γ) όπου από το τελευταίο ΣΗΜΕΙΟ θα πηγαίναμε στο τελικό Overlay Layer (Macro Layer) όλη τη κίνηση μας. Ακολουθεί η εικόνα 19 που αναπαριστά ένα σχήμα ώστε να μας βοηθήσει να καταλάβουμε τη γενική τοπολογία.

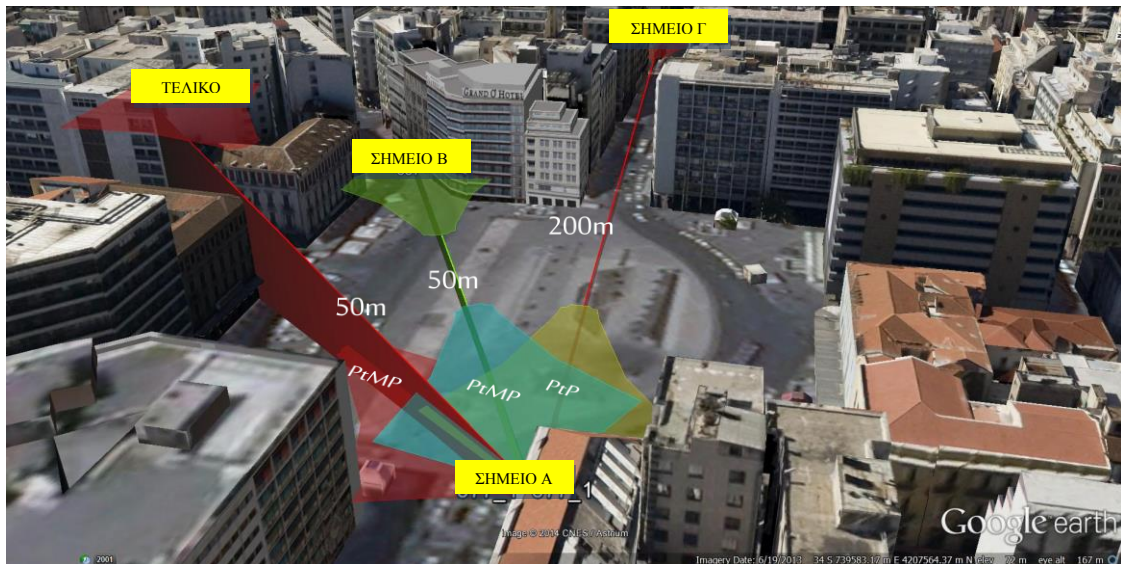


Εικόνα 19: Γενική Τοπολογία Πιλοτικού.

Όπως βλέπουμε για να συνδέσουμε τα 3 σημεία στο InClutter Layer με το τελικό αυτό του Overlay χρησιμοποιήσαμε διαφορετικές λειτουργίες της πλατφόρμας κάθε φορά. Ας δούμε λοιπόν πιο αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με τα σημεία μας.

Το ΣΗΜΕΙΟ Α όπως βλέπουμε είναι το κεντρικό σημείο από το οποίο φεύγει όλη η κίνηση του InClutter επιπέδου και πάει στο ΤΕΛΙΚΟ, όπως καταλαβαίνουμε η κίνηση από το ΣΗΜΕΙΟ Β και το ΣΗΜΕΙΟ Γ πρέπει να πάει στο ΣΗΜΕΙΟ Α και από εκεί να πάει στο ΤΕΛΙΚΟ του Macro Layer.

Στην εικόνα που ακολουθεί στην επόμενη σελίδα θα δούμε μια πανοραμική λήψη από τη πλατεία Ομονοίας στην οποία έχουμε σχεδιάσει τα Link που θα τοποθετήσουμε και αναφέρουμε τις αποστάσεις των σημείων.



**Εικόνα 20: Πανοραμική Λήψη Πιλοτικού Με Αποστάσεις
Και Λειτουργίες Των StreetNode.**

Στη συνέχεια θα δούμε λεπτομέρειες για κάθε σημείο ξεχωριστά, εξηγώντας παράλληλα και την εικόνα που μόλις είδαμε. Ξεκινάμε με το ΣΗΜΕΙΟ Γ:

- ΣΗΜΕΙΟ Γ.

Το ΣΗΜΕΙΟ Γ βρίσκεται στην οδό Αγίου Κωνσταντίνου και πρέπει να συνδεθεί με το ΣΗΜΕΙΟ Α όπως βλέπουμε στην εικόνα παραπάνω όπου βρίσκεται πάνω στη πλατεία Ομονοίας, απόσταση που ανέρχεται στα 200 μέτρα και τη βλέπουμε στην επόμενη εικόνα. Επειδή λοιπόν η απόσταση είναι τόσο χρησιμοποιήσαμε τη πλατφόρμα του StreetNode και τη ρυθμίσαμε να δουλεύει ως PtP τερματικό. Το βλέπουμε στην επόμενη εικόνα:



Εικόνα 21: ΣΗΜΕΙΟ Γ Αγίου Κωνσταντίνου.

- ΣΗΜΕΙΟ Β.

Το ΣΗΜΕΙΟ Β βρίσκεται στην οδό Παναγή Τσαλδάρη και πρέπει να συνδεθεί και αυτό με το ΣΗΜΕΙΟ Α που βρίσκεται πάνω στη πλατεία Ομονοίας, απόσταση που ανέρχεται στα 50 μέτρα, όπου η θέση του φαίνεται στην εικόνα 22 που ακολουθεί. Η απόσταση εδώ είναι αισθητά μικρότερη και έτσι η πλατφόρμα του StreetNode θα ρυθμιστεί ως ένα απλό τερματικό PtMP.



Εικόνα 22: ΣΗΜΕΙΟ Β Παναγή Τσαλδάρη.

- ΣΗΜΕΙΟ Α.

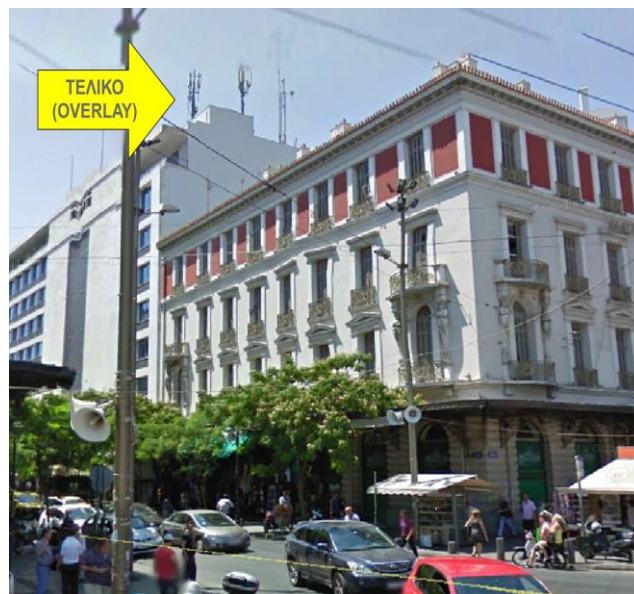
Το ΣΗΜΕΙΟ Α είναι το κεντρικό σημείο για το InClutter επίπεδο όπου θα συνδεθεί με όλα τα σημεία (Β, Γ) και θα μεταφέρει τη κίνηση τους στο ΤΕΛΙΚΟ (Overlay επίπεδο). Η απόσταση μεταξύ του ΣΗΜΕΙΟ Α και του ΤΕΛΙΚΟΥ είναι επίσης 50 μέτρα. Σε αυτό το σημείο θα τοποθετηθούν 3 πλατφόρμες. Η μία σε PtP λειτουργία που δέχεται τη κίνηση από το ΣΗΜΕΙΟ Γ, μια σε λειτουργία PtMP τερματικό για το ΣΗΜΕΙΟ Β και μια τρίτη τελευταία λειτουργώντας σαν PtMP Hub η οποία θα συλλέγει όλη τη κίνηση από τις άλλες δύο ενσύρματα με Ethernet καλώδιο και θα τη στέλνει στο ΤΕΛΙΚΟ σημείο. Το σημείο στο οποίο θα εγκατασταθούν οι 3 πλατφόρμες (ΣΗΜΕΙΟ Α) φαίνεται στην αμέσως επόμενη εικόνα.



Εικόνα 23: ΣΗΜΕΙΟ Α Πλατεία Ομονοίας.

- ΤΕΛΙΚΟ.

Τέλος το ΤΕΛΙΚΟ σημείο (Overlay επίπεδο) στο οποίο θα καταλήξει όλη η κίνηση του InClutter επιπέδου βρίσκεται κάθετα προς τη πλατεία Ομονοίας στην οδό Αθηνάς σε απόσταση 50 μέτρων από τη πλατεία και το ΣΗΜΕΙΟ Α, σε ένα από τα ψηλότερα κτήρια της περιοχής όπως θα δούμε στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 24: ΤΕΛΙΚΟ Σημείο Οδός Αθηνάς.

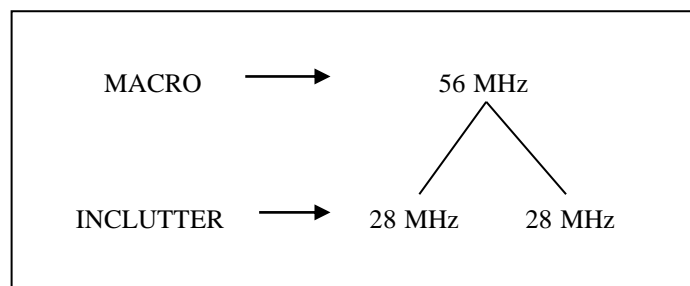
3.3 Πλάνο Συχνοτήτων.

Αφού λοιπόν αποφασίσαμε που θα στήσουμε τον εξοπλισμό μας και πως θα λειτουργεί καθεμία από τις πλατφόρμες μας, σειρά είχε να φτιάξουμε ένα πλάνο συχνοτήτων που θα ανατεθούν σε κάθε σημείο έτσι ώστε να μπορέσουμε να ενεργοποιήσουμε το πιλοτικό.

Στη Cosmote έχει εκχωρηθεί από την ΕΕΤΤ το κανάλι των 56 MHz στη μπάνα των 28 GHz για την ανάπτυξη Δικτύων Σταθερής Ασύρματης Πρόσβασης. Αυτό το κανάλι είναι στα πρότυπα της πλατφόρμας και ως εκ τούτου χρησιμοποιήσαμε αυτό.

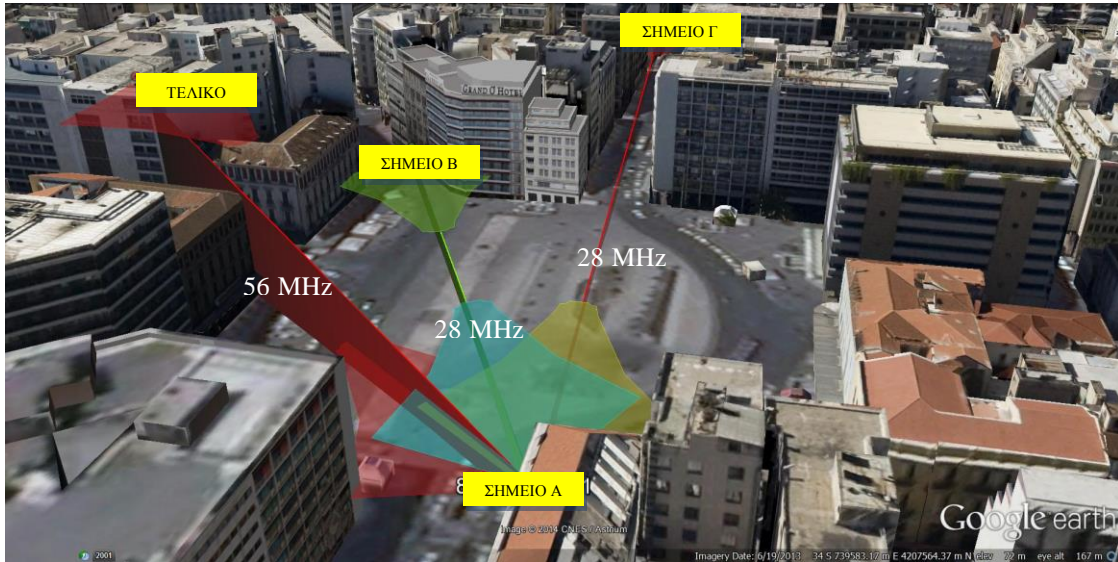
Έτσι λοιπόν σύμφωνα με τα παραπάνω και σε συνάρτηση με το Capacity που θέλαμε να πετύχουμε, αλλά και τον περιορισμό των παρεμβολών λόγω επαναχρησιμοποίησης του καναλιού αυτού καταλήξαμε στο κάτωθι πλάνο συχνοτήτων:

Αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε το υπάρχον κανάλι των 56 MHz στο Overlay Layer γιατί θέλουμε να πετύχουμε υψηλό Capacity, το οποίο εισερχόμενο στο InClutter επίπεδο θα έσπαγε σε δύο κανάλια των 28 MHz έκαστος.



Πιο συγκεκριμένα για τη σύνδεση μεταξύ InClutter επιπέδου (ΣΗΜΕΙΟ Α) και Overlay επιπέδου (ΤΕΛΙΚΟ) θα χρησιμοποιήσουμε το κανάλι των 56 MHz το οποίο θα σπάσει σε δύο κανάλια των 28 MHz, ένα για το PtP Link(200m) από το ΣΗΜΕΙΟ Γ στο ΣΗΜΕΙΟ Α και ένα για το PtMP Link(50m) από το ΣΗΜΕΙΟ Β στο ΣΗΜΕΙΟ Α.

Ας δούμε τώρα την πανοραμική εικόνα που είδαμε προηγουμένους αφού της τοποθετήσαμε τα κανάλια με της συχνότητες τους για να το καταλάβουμε και στη πράξη.



Εικόνα 25: Πανοραμική Λήψη Πιλοτικού Με Συχνότητες Καναλιών.

Αφού λοιπόν αναλύθηκε όλο το πλάνο συχνοτήτων και η τοπολογία του πιλοτικού σειρά έχει να δούμε τα επιθυμητά αποτελέσματα σε σχέση με αυτά που καταφέραμε να πετύχουμε.

3.4 Αποτελέσματα Πιλοτικού.

Εφόσον έχει τοποθετηθεί και ρυθμιστεί σωστά ο εκάστοτε εξοπλισμός σε κάθε θέση από αυτές που προαναφέραμε και αφού έχουμε κάνει και εφαρμόσει το πλάνο συχνοτήτων που μόλις εξηγήσαμε αυτό που μένει είναι να θέσουμε σε λειτουργία και να παρακολουθήσουμε το δίκτυο μας.

Σύμφωνα με το πλάνο συχνοτήτων και τις δυνατότητες της πλατφόρμας σκοπός ήταν να πετύχουμε το μέγιστο δυνατό αποτέλεσμα. Ποιο ήταν αυτό;

Το θεωρητικό αποτέλεσμα λοιπόν που θέλαμε να έχουμε ήταν 1024 QAM διαμόρφωση η οποία θα μας προσφέρει 540 Mbps Capacity. Αυτό το αποτέλεσμα βέβαια θα ερχόταν με σταθεροποίηση πλάνου στα 0 BER.

Modulation	Capacity	BER
1024 QAM	540 Mbps	0

Πίνακας 2: Στόχος Πιλοτικού.

Δε καταφέραμε όμως να πιάσουμε το μέγιστο Capacity, έτσι το αποτέλεσμα που πετύχαμε φαίνεται στον πίνακα 3 που ακολουθεί και θα εξηγήσουμε:

Live Trial Test				
Test Case / Description	Capacity		Modulation	
	DL	UL	DL	UL
1. In Clutter PtP link (28MHz)	180 Mbps	180 Mbps	256 QAM	256 QAM
2. In Clutter PtMP link (28MHz)	170 Mbps	120 Mbps	256 QAM	64 QAM
3. Overlay PtMP link (56MHz)	330 Mbps	300 Mbps	256 QAM	128 QAM

Πίνακας 3: Αποτελέσματα Πιλοτικού Ομονοίας.

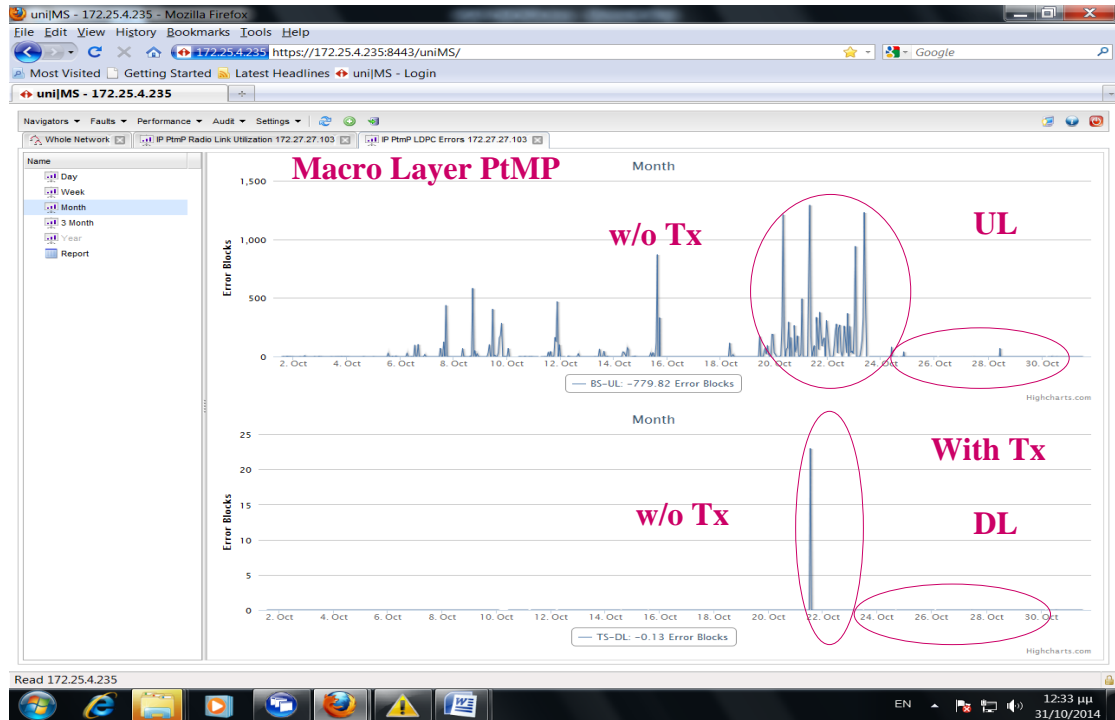
Όπως βλέπουμε από τον πίνακα που μόλις παρουσιάσαμε το Capacity που καταφέραμε να πιάσουμε είναι κατά πολύ μικρότερο από το θεωρητικό που θέλαμε να φτάσουμε. Γιατί όμως συμβαίνει αυτό;

- A. Το βασικό «πρόβλημα» που δημιουργήθηκε ήταν ότι παρόλο τη μελέτη που κάναμε, τα κανάλια που ορίσαμε και τις συχνότητες που δώσαμε είχαμε παρεμβολές του Overlay(Macro) στο InClutter Layer.
- B. Επίσης ένας ακόμα λόγος που δε καταφέραμε να πιάσουμε το αναμενόμενο Capacity ήταν τα κινητά εμπόδια. Όπως καταλαβαίνουμε στη πλατεία Ομονοίας περνούν καθημερινά χιλιάδες αυτοκίνητα, λεωφορεία κτλ, αυτό είχε ως αποτέλεσμα να έχουμε πολλές ανακλάσεις σε αυτά τα κινητά αντικείμενα.

Τι βελτιώσεις πρέπει να κάνουμε λοιπόν για αυτά τα προβλήματα ώστε να πάρουμε μηδενικά λάθη;

Για τη πρώτη περίπτωση που αφορά τις παρεμβολές του Macro στο InClutter Layer αυτό που κάναμε ήταν να μειώσουμε την ισχύ εκπομπής (Tx Power) των InClutter πομπών. Για να καταφέρομε να μειώσουμε την ισχύ εκπομπής μειώσαμε τη διαμόρφωση σε κάθε πομπό και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του Capacity. Έτσι λοιπόν από το βέλτιστο Capacity των 540 Mbps φτάσαμε αισίως στα 330 Mbps του πίνακα 2 παραπάνω.

Η βελτιστοποίηση (μείωση) που κάναμε στην ισχύ εκπομπής (Tx Power) φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί όπου βλέπουμε τον αριθμό των λάθων χωρίς βελτιστοποίηση του Tx Power και τον αντίστοιχο αριθμό με βελτιστοποίηση και αποτέλεσμα τα μηδενικά λάθη.



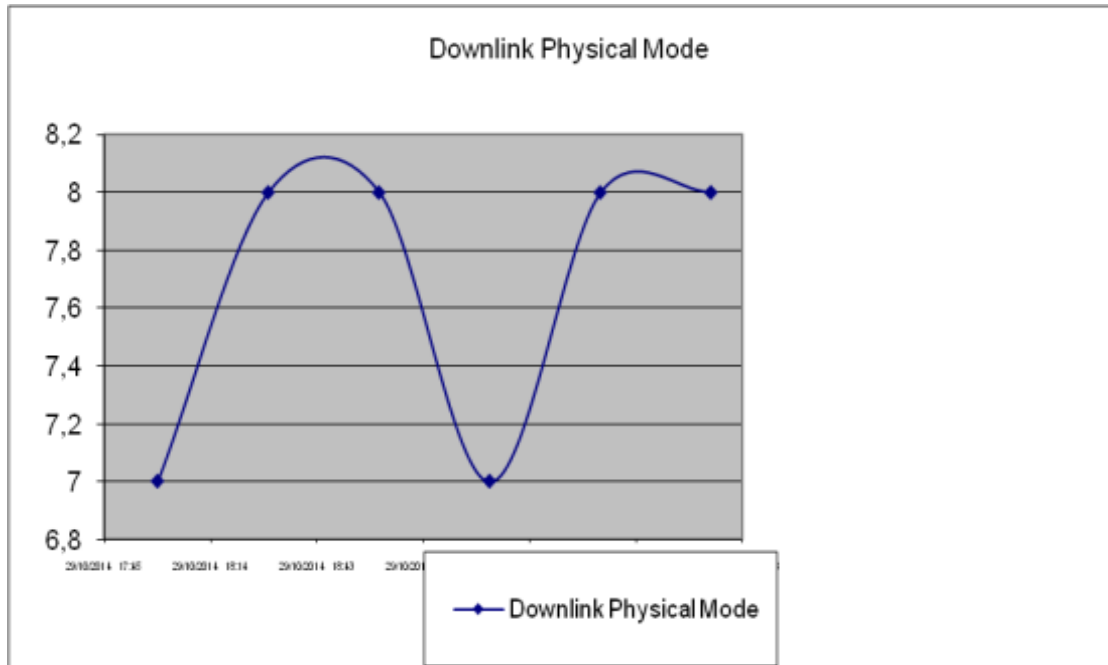
Εικόνα 26: Βελτιστοποίηση Tx Power.

Όπως είπαμε και προηγουμένως το δεύτερο «πρόβλημα» που προέκυψε ήταν αυτό των ανακλάσεων σε κινούμενα αντικείμενα. Όπως έχουμε αναφέρει η πλατφόρμα του StreetNode είναι εφοδιασμένη με ένα μηχανισμό ο οποίος αλλάζει διαμόρφωση όποτε χρειαστεί, είτε οφείλεται σε καιρικές συνθήκες είτε οπουδήποτε αλλού, ώστε να μένει πάντα λειτουργικό το Link και να μη πέφτει.

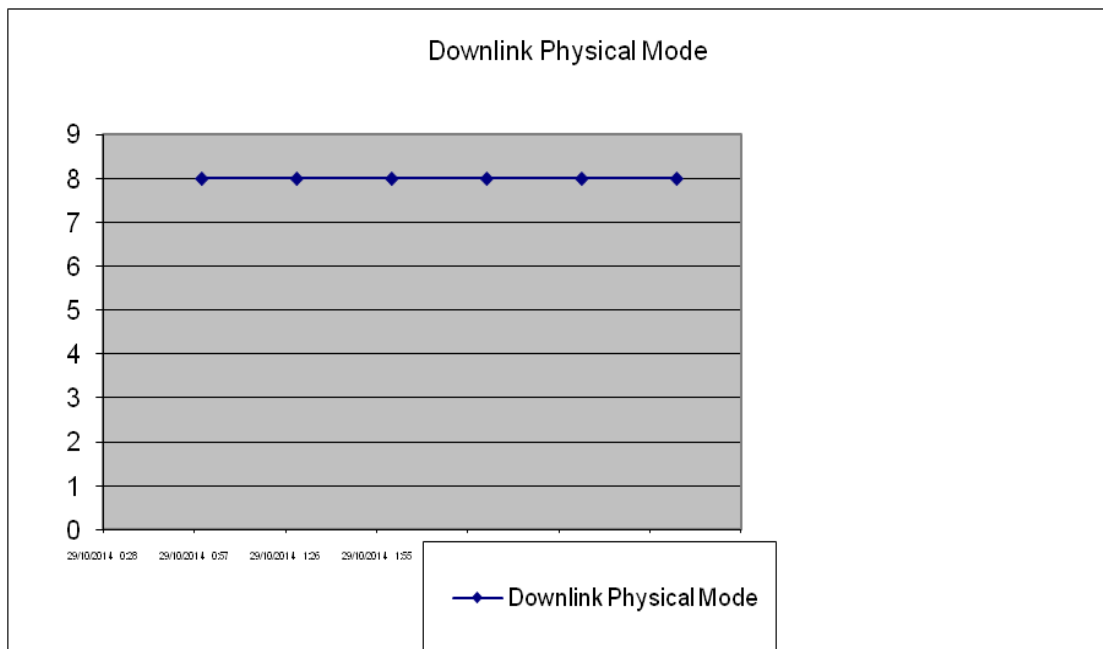
Έτσι λοιπόν σκοπός του μηχανισμού στη συγκεκριμένη περίπτωση ήταν κρατώντας την ίδια ζεύξη, τις ίδιες καιρικές συνθήκες και με τέλεια απόδοση να διατηρήσει τα λάθη στο μηδέν παρόλο τις ανακλάσεις σε κινητά εμπόδια.

Αυτό που κάναμε εμείς λοιπόν ήταν να παρακολουθήσουμε πως συμπεριφέρεται η πλατφόρμα και αν υπάρχουν αλλαγές της διαμόρφωσης ώστε να αποφευχθεί το πέσιμο του Link. Έτσι λοιπόν ορίσαμε ένα Busy Hour πλατείας, το οποίο έχει να κάνει με τη κίνηση της πλατείας σε αυτοκίνητα, λεωφορεία και γενικά οτιδήποτε είδους κινητό εμπόδιο που μπορεί να μας ανακλάσει το σήμα. Αυτό το Busy Hour το ορίσαμε από τις 12:00 πμ – 19:00 μμ όπου κατά το διάστημα αυτό η κίνηση στη πλατεία είναι πολύ αυξημένη.

Ακολουθούν οι εικόνες 27 και 28 οι οποίες αναπαριστούν τα διαγράμματα που πήραμε κατά τη διάρκεια του Busy Hour αλλά και κατά τη διάρκεια της νύχτας έτσι ώστε να δούμε της εναλλαγές των διαμορφώσεων στις πλατφόρμες στο InClutter επίπεδο.



Εικόνα 27: Αλλαγές Διαμόρφωσης Κατά Τη Διάρκεια Του Busy Hour.



Εικόνα 28: Αλλαγές Διαμόρφωσης Κατά Τη Διάρκεια Της Νύχτας.

Αν συγκρίνουμε τα δύο διαγράμματα θα δούμε ότι κατά τη διάρκεια του Busy Hour αλλάζουν οι μηχανισμοί από τις πλατφόρμες συνεχώς τη διαμόρφωσή τους ώστε να κρατήσουν την απόδοση τους σε υψηλά επίπεδα, έτσι ώστε να μην υπάρχουν παρεμβολές από τα κινητά εμπόδια.

Είναι χαρακτηριστικό ότι στο διάγραμμα της εικόνας 26 βλέπουμε τη γραμμή να ανεβοκατεβαίνει συνέχεια που σημαίνει ότι η πλατφόρμα αλλάζει συνεχώς διαμόρφωση κατά τη διάρκεια της ώρας, ενώ στο δεύτερο διάγραμμα της εικόνας 27 βλέπουμε μια ευθεία γραμμή που σημαίνει ότι η πλατφόρμα κράτησε σταθερή τη διαμόρφωση κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Που καταλήγουμε σε ότι έχει να κάνει με την αλλαγή των διαμορφώσεων;

Φτάνοντας στο συμπέρασμα βλέπουμε ότι ο μηχανισμός αλλαγής διαμόρφωσης βοηθάει στο να παραμένει το Link λειτουργικό και το σημαντικότερο είναι ότι διορθώνει τα λάθη που παρουσιάζονται.

Έτσι καταλήγουμε στο ότι το σύστημα αλλαγής διαμόρφωσης διορθώνει τις ανακλάσεις από κινούμενα αντικείμενα (λεωφορεία αυτοκίνητα κτλ) και έτσι μας επιτρέπει να έχουμε να μεν μικρό Capacity αλλά ένα σταθερό και αξιόπιστο Link.

Και αφού εξηγήσαμε για ποιο λόγο το αποτέλεσμα ήταν να πάρουμε μικρότερο Capacity από το αναμενόμενο και πως διορθώσαμε τις παρεμβολές που υπήρξαν μεταξύ του Macro και InClutter Layer, καθώς και πως αντιμετωπίστηκε από τη πλατφόρμα το πρόβλημα των ανακλάσεων στα κινητά αντικείμενα, θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο ένα πλάνο βελτιστοποίησης που σκεφτήκαμε ώστε να κάνουμε τη πλατφόρμα του StreetNode ακόμα πιο ισχυρή.

3.5 Πλάνο Βελτιστοποίησης.

Ύστερα από όσα είδαμε από τα προηγούμενα κεφάλαια καταλήξαμε σε ένα πλάνο βελτιστοποίησης που θεωρούμε ότι θα κάνει ακόμα πιο αξιόπιστη τη πλατφόρμα του StreetNode. Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τα βήματα βελτιστοποίησης που σκεφτήκαμε μαζί με τα αναμενόμενα αποτελέσματά τους.

3.5.1 1^ο Βήμα Βελτιστοποίησης.

Το πρώτο βήμα βελτιστοποίησης που σκεφτήκαμε να κάνουμε έχει να κάνει με τη μείωση των παρεμβολών που είχαμε μεταξύ Macro και InClutter Layer και την ταυτόχρονη αύξηση του Capacity που είναι πολύ σημαντικό για μας. Στο πιλοτικό της Ομονοίας χρησιμοποιήσαμε μια λύση που μπορεί να χαρακτηριστεί ως «μεσοβέζικη». Αυτή ήταν να μειώσουμε τη ισχύ εκπομπής των InClutter πλατφορμών. Αυτό μπορεί να έφτασε τις παρεμβολές σε μηδενικό επίπεδο αλλά χάσαμε σε Capacity καθώς μειώσαμε διαμόρφωση. Αυτό που θέλουμε να πετύχουμε εμείς είναι να έχουμε μηδενικές παρεμβολές σε συνδυασμό με υψηλό Capacity.

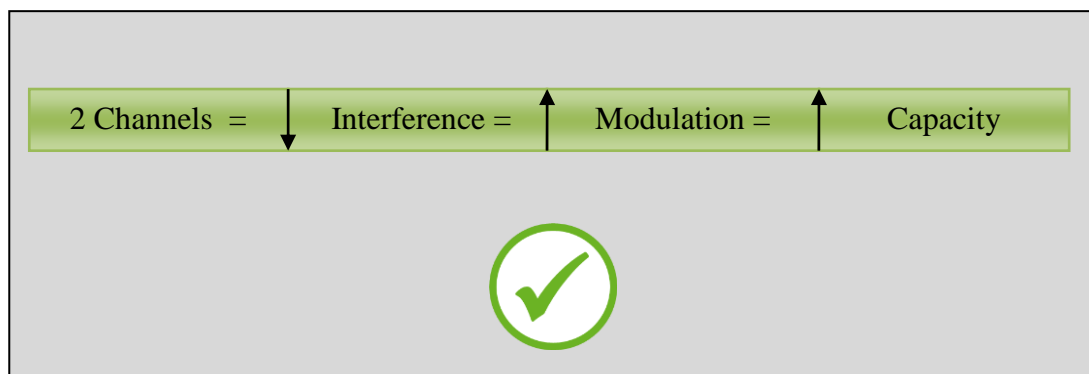
Η σκέψη μας για να το υλοποιήσουμε αυτό είναι να χρησιμοποιήσουμε διαφορετικά κανάλια σε Macro και InClutter Layer. Πώς θα το καταφέρουμε αυτό;

Ανατρέχοντας στο κεφάλαιο με το πλάνο συχνοτήτων θα δούμε ότι χρησιμοποιήσαμε ένα κανάλι 56 MHz στη μπάντα των 28GHz το οποίο θα έσπαγε σε δύο κανάλια των 28 MHz έκαστος στο InClutter επίπεδο. Η σκέψη μας τώρα είναι να χρησιμοποιήσουμε ακόμα ένα επιπλέον κανάλι των 56 MHz αλλά αυτή τη φορά στη μπάντα των 26 GHz. Πώς;

Στο Macro Layer θα εκχωρήσουμε το καινούριο κανάλι των 56 MHz στη μπάντα των 26GHz (εξολοκλήρου για το Macro Layer) και στο InClutter Layer θα τοποθετήσουμε το κανάλι των 56 MHz στη μπάντα των 28GHz χωρίζοντάς το πάλι σε δύο των 28 MHz. Τι θα καταφέρουμε;

Θα καταφέρουμε να μειώσουμε τις παρεμβολές μεταξύ των δύο Layer. Αυτό σημαίνει ότι δε θα χρειαστεί να μειώσουμε την ισχύ εκπομπής των πομπών

στο InClutter επίπεδο, άρα θα έχουμε αυξημένη διαμόρφωση με αποτέλεσμα να παρέχουμε υψηλότερο Capacity οπού ήταν και ο αρχικός μας σκοπός.



3.5.2 2^ο Βήμα Βελτιστοποίησης.

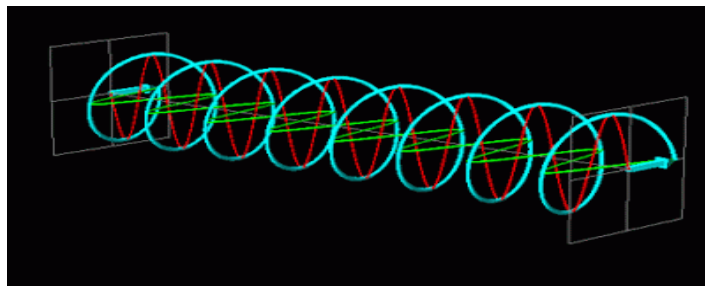
Το δεύτερο βήμα βελτιστοποίησης έχει να κάνει μόνο με το InClutter επίπεδο και την αντιμετώπιση των παρεμβολών σε αυτό. Προσοχή, αναφερόμαστε σε παρεμβολές μεταξύ των InClutter πλατφορμών και όχι μεταξύ του Overlay όπως πριν.

Όπως έχουμε πει η πλατφόρμα χρησιμοποιεί τη τεχνολογία της κυκλικής πόλωσης (είτε αριστερόστροφης, είτε δεξιόστροφης πόλωσης) για τη μετάδοση των σημάτων της. Τι σημαίνει αυτό; Σημαίνει ότι αν οι πλατφόρμες είναι ρυθμισμένες να μεταδίδουν τη κίνησή τους δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα είναι πιθανό να υπάρξουν παρεμβολές μεταξύ τους.

Όπως είδαμε στο κεφάλαιο της κυκλικής πόλωσης παραπάνω μπορούμε να ρυθμίσουμε πομπό και δέκτη να στέλνει και να λαμβάνει αντίστοιχα με την ίδια φορά, με αποτέλεσμα αν ο δέκτης δεχθεί σήμα πολωμένο με την αντίθετη φορά να μη το λάβει υπόψη. Για αυτό το λόγο σκεφτήκαμε να ορίσουμε διαφορετικές πολώσεις σε κάθε πλατφόρμα. Τη μία δηλαδή να την ορίσουμε να μεταδίδει δεξιόστροφα και την άλλη αριστερόστροφα έτσι ώστε στη περίπτωση παρεμβολών ο κάθε δέκτης να μη λάβει υπόψη το παρεμβαλλόμενο σήμα λόγω διαφορετικής πόλωσης. Έτσι θα γλιτώσουμε τυχόν παρεμβολές στο InClutter επίπεδο. Το Ερώτημα που προκύπτει εδώ είναι τι θα γίνει σε περίπτωση ανακλάσεων;

Όπως ξέρουμε το μεταδιδόμενο σήμα στη κυκλική πόλωση αν υποστεί οποιαδήποτε μορφή ανάκλασης αλλάζει πόλωση και φτάνει στον δέκτη με αλλαγμένη φορά πόλωσης και αυτός δε το δέχεται. Αν λοιπόν ένα σήμα πολωμένο δεξιόστροφα υποστεί ανάκλαση θα συνεχίσει τη μετάδοσή του πολωμένο αριστερόστροφα πλέον, επομένως θα έχουμε παρεμβολές στο άλλο κανάλι που είναι ρυθμισμένο να μεταδίδει και να δέχεται σήμα πολωμένο αριστερόστροφα (ή το αντίθετο). Άρα μπορεί με αυτή τη μέθοδο να γλιτώσουμε παρεμβολές από τη μετάδοση των σημάτων άλλα πιθανόν θα υπάρξουν παρεμβολές λόγω ανακλάσεων και κυκλικής πόλωσης (αλλαγή φοράς πόλωσης).

Το αποτέλεσμα σε αυτή τη περίπτωση αλλάζει δυναμικά, σε κάθε περίπτωση δηλαδή ξεχωριστά και θα αξιολογηθεί ανάλογα.



Αυτά ήταν τα βήματα βελτιστοποίησης που μέχρι τώρα έχουμε σκεφτεί να προτείνουμε με βάση τα αποτελέσματα που έχουμε πάρει από το πιλοτικό μας. Παραπάνω βήματα βελτιστοποίησης θα έχουμε όταν το σύστημα σταθεροποιηθεί στο μέγιστο δυνατό Capacity και στη σταθερή μεταγωγή live κίνησης Small - Cells.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ.

4.1 Εισαγωγή.

Αυτό το κεφάλαιο είναι το τελευταίο της διπλωματικής και εδώ θα κάνουμε μια γενική αποτίμηση της νέας τεχνολογίας PtMP συστημάτων σύμφωνα με όσα είδαμε και σε θεωρητικό και σε πρακτικό επίπεδο στα προηγούμενα κεφάλαια. Σε μια καινούρια τεχνολογία που έρχεται στην αγορά δε μπορούν να λείπουν και κάποιοι προβληματισμοί. Έτσι μετά την αποτίμηση της τεχνολογίας που θα κάνουμε σειρά έχει η αναφορά σε μερικούς προβληματισμούς που μας δημιουργήθηκαν για αυτή τη νέα τεχνολογία.

4.2 Αποτίμηση Τεχνολογίας.

Είδαμε αναλυτικά τι μπορεί να μας προσφέρει αυτή η νέα τεχνολογία του StreetNode και αποφασίσαμε να τη δοκιμάσουμε στο κέντρο της Αθήνας από το οποίο θα είχαμε μια ολοκληρωμένη εικόνα για όλες τις δυνατότητες που υποσχόταν ότι είναι εφοδιασμένη αυτή η καινοτόμα πλατφόρμα. Η τοπολογία που στήσαμε υπέστη πολλές ανακλάσεις, κάκιστες καιρικές συνθήκες (ισχυρή βροχή, αέρας κτλ) και μας έδωσε την ευκαιρία να την αξιολογήσουμε κατάλληλα σε όλες τις δυνατότητες της. Ακολουθεί η αποτίμηση που κάναμε για τη τεχνολογία σε διάφορα πεδία:

- **Πεδίο Radio.**

Το πεδίο του Radio είναι ένα πολύ δύσκολο κομμάτι στα ασύρματα δίκτυα καθώς πρόκειται για το βασικό στάδιο μετάδοσης της κίνησης και πρέπει να ανταποκρίνεται στην εντέλεια. Στη προκειμένη περίπτωση πήραμε θετικά στοιχεία από το Radio κομμάτι στις παρακάτω δυσκολίες που υπέστη:

1. Παρεμβολές Λόγω Συχνοτήτων.

Παρόλο που υπήρξαν παρεμβολές λόγω συχνοτήτων δεν ήταν αρκετές για να αποκλείσουμε αυτή τη νέα τεχνολογία και αυτό γιατί εξαλείφθηκαν αμέσως μόλις μειώσαμε την ισχύ εκπομπής με αποτέλεσμα τη ταυτόχρονη μείωση του Capacity βέβαια, αλλά βρίσκοντας εύκολα στη συνέχεια τρόπο να έχουμε υψηλό Capacity με μηδενικές παρεμβολές (βλ. πλάνο Βελτιστοποίησης). Επομένως το πρόσημό που μπαίνει μόνο θετικό θα μπορούσε να ήταν.

2. Ανακλάσεις στο InClutter Επίπεδο.

Ήμασταν σίγουροι ότι θα υπήρχαν ανακλάσεις στο επίπεδο δρόμου όπως υπάρχουν πάντα άλλωστε αλλά μέσω του μηχανισμού εναλλαγής της διαμόρφωσης που διαθέτει η πλατφόρμας και της μετάδοσης σημάτων με κυκλικές πολώσεις ήταν οι λόγοι που καταφέραμε να παραμείνουν λειτουργικά τα Links αλλά και να δουλεύουν σε υψηλές προδιαγραφές. Έτσι και από το κομμάτι των ανακλάσεων πήραμε θετικά στοιχεία.

3. Άσχημες Καιρικές Συνθήκες.

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών που κάναμε στη πλατεία Ομονοίας υπήρξε ισχυρή βροχόπτωση πράγμα που μας ωφέλησε καθώς είδαμε πως ανταποκρίνεται η πλατφόρμα και σε άσχημες καιρικές συνθήκες. Έναν πολύ σημαντικό ρόλο και εδώ έπαιξε ο μηχανισμός αλλαγής διαμόρφωσης ο οποίος κράτησε το Link λειτουργικό. Πιο συγκεκριμένα κατά τη διάρκεια της ισχυρής βροχόπτωσης η διαμόρφωση έπεσε με αποτέλεσμα να έχουμε μηδενικά λάθη.

Έτσι λοιπόν καταλήγουμε ότι η νέα τεχνολογία του StreetNode στο κομμάτι του Radio στάθηκε πολύ καλά και παρόλο τις μικρές παρεμβολές βοήθησε στο να κάνουμε ενέργειες ώστε να τις μηδενίσουμε.

- **Ευκολία στην ανάπτυξη.**

Όπως αναφέραμε και στο κεφάλαιο των εφαρμογών της τεχνολογίας, η καινούρια πλατφόρμα μπορεί να ρυθμιστεί σε πολλές λειτουργίες. Το γεγονός ότι η πλατφόρμα μπορεί να λειτουργήσει σαν PtP, PtMP Hub, PtMP Terminal της δίνει τη δυνατότητα να αναπτυχθεί εύκολα και γρήγορα. Σημαντικό ρόλο εδώ παίζει η ελευθερία που μας δίνεται να τη ρυθμίσουμε όπως θέλουμε και να τη χρησιμοποιήσουμε οπουδήποτε θέλουμε με τη κατάλληλη λειτουργία.

- **Ευκολία στην εγκατάσταση.**

Ένα ακόμα πολύ σημαντικό στοιχείο που μας προσφέρει η πλατφόρμα είναι η ευκολία στην εγκατάσταση της. Ειδικότερα όπως έχουμε πει και στα πρώτα κεφάλαια το μόνο που χρειάζεται είναι να τοποθετηθεί πάνω από το SmC και να συνδεθεί μαζί του με ένα Ethernet καλώδιο από το οποίο τροφοδοτείται με ρεύμα και ταυτόχρονα παίρνει τη Backhaul κίνηση για να τη μεταδώσει. Στη συνέχεια ρυθμίζεται και σαρώνει τον χώρο αυτόματα για να βρει τη βέλτιστη λύση. Όπως καταλαβαίνουμε η εγκατάσταση της μόνο δύσκολη δε μπορεί να θεωρηθεί.

- **Νέα χαρακτηριστικά.**

Υπήρξαν και μερικά χαρακτηριστικά που εφοδιάζονται πρώτη φορά σε τέτοιου είδους πλατφόρμες. Για παράδειγμα η κυκλική πόλωση και το Zero Touch Provisioning.

1. Κυκλική Πόλωση.

Αυτό το χαρακτηριστικό δεν είναι καινούριο αλλά χρησιμοποιείται πρώτη φορά σε τέτοιου είδους πλατφόρμες. Με μία πρώτη ματιά φάνηκε ενδιαφέρον όσο αφορά τα προβλήματα που αντιμετωπίζουμε με τις ανακλάσεις στο επίπεδο δρόμου.

2. Zero Touch.

Μόνο σημαντική εξέλιξη μπορεί να χαρακτηριστεί το γεγονός ότι για να συνδεθεί στο υπόλοιπο δίκτυο το κάνει η πλατφόρμα αυτόματα χωρίς να απαιτείται η παρουσία κάποιου μηχανικού και χρειάζεται μόνο μερικά λεπτά, γεγονός που μας λύνει τα χέρια.

Τα νέα χαρακτηριστικά (Κυκλικές πολώσεις και Zero Touch) στο πεδίο έδειξαν χρήσιμα και σίγουρα μπορούν να κάνουν τη διαφορά στο SmC Backhauling.

4.3 Προβληματισμοί.

Όταν μια καινούργια τεχνολογία εμφανίζεται και δοκιμάζεται σίγουρα δημιουργούνται και κάποιοι προβληματισμοί για τη συνέχεια, πόσο μάλλον στη περίπτωση του StreetNode το οποίο είναι εφοδιασμένο με καινοτόμους μηχανισμούς και λειτουργίες που χρησιμοποιούνται πρώτη φορά σε ένα τέτοιο εγχείρημα. Πάμε να δούμε του προβληματισμούς που δημιουργήθηκαν μετά τη δοκιμή της τεχνολογίας σε πραγματικό περιβάλλον και σύμφωνα με τα αποτελέσματα που πήραμε.

1. Απόδοση Πιλοτικού.

Περιμένουμε καλύτερη απόδοση από το πιλοτικό καθώς το Capacity που πιάσαμε δεν ήταν αυτό που περιμέναμε, λόγω των παρεμβολών που είχαμε και την ανάγκη που προέκυψε να μειώσουμε την ισχύ εκπομπής στο InClutter επίπεδο. Ευελπιστούμε ότι με το πλάνο βελτιστοποίησης που δώσαμε παραπάνω θα φτάσουμε στο αναμενόμενο αποτέλεσμα, παρόλα αυτά ο προβληματισμός μας παραμένει.

2. Κυκλική Πόλωση.

Παρόλο που η κυκλική πόλωση δείχνει θετικά στοιχεία και αφήνει πολλές καλές υποσχέσεις για το μέλλον είναι ένα καινούριο χαρακτηριστικό και δε το έχουμε δει εκτενώς πράγμα που μας προβληματίζει. Θα πρέπει να το δούμε πιο πολύ καιρό και σε διάφορες διαρκείς συνθήκες ώστε να έχουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα.

Ένας ακόμη λόγος προβληματισμού που έχει να κάνει με τη πόλωση των σημάτων είναι το γεγονός ότι στα μέχρι τώρα συστήματα χρησιμοποιούσαμε γραμμικές πολώσεις και το πλάνο συχνοτήτων που κάναμε ήταν με ένα κανάλι σε δύο πολώσεις (οριζόντια και κατακόρυφη). Πλέον έχουμε ένα κανάλι με μία πόλωση (δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη) καθώς τη δεύτερη τη χρησιμοποιούμε για το επιστρεφόμενο σήμα (αλλαγή πόλωσης λόγω ανακλάσεων).

Όσα είπαμε μόλις αποτελούν τους προβληματισμούς μας για τη νέα τεχνολογία του StreetNode οι οποίοι με το πέρασμα του καιρού θα λυθούν καθώς θα δούμε σε βάθος χρόνου αυτό το νέο εγχείρημα και θα πάρουμε τις απαντήσεις μας.



ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ.

EETT: Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων

LMDS: Local to Multipoint Distribution Service

TDM: Time Division Multiplexing

LAN: Local Area Network

SmC: Small - Cells

PtP: Point to Point

PtMP: Point to MultiPoint

LTE: Long Term Evolution

Mbps: MegaBit per Second

QOS: Quality of Service

ETH: Ethernet

VLAN: Virtual Local Area Network

DSCP: Differentiated Services Code Point

P-Bits: Priority Bits

MPLS: MultiProtocol Label Switching

COS: Class of Service

MAC: Media Access Control

ASF: Air Service Slow

ITU: International Telecommunication Union

EEC: Synchronous Ethernet Equipment slave Clock

ESMC: Ethernet Synchronization Messaging Channel

TC: Transparent Clock

PTP: Precision Time Protocol

SyncE: Synchronous Ethernet

LOS: Line Of Sight

NLOS: Non Line Of Sight

UL: UpLink

DL: DownLink

BER: Bit Error Rate

QAM: Quadrature Amplitude Modulation

GHz: GigaHertz

MHz: MegaHertz

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ERICSSON, «ERICSSON Review,» *Non-Line-Of-Sight Microwave Backhaul*, p. 1, 22 2 2013.
- [2] B. Mitchell, «About Tech,» [Ηλεκτρονικό]. Available: http://compnetworking.about.com/od/speedtests/a/network_latency.htm. [Πρόσβαση 2015].
- [3] Intracom - Telecom, «www.intracom-telecom.com,» Intracom - Telecom, 2014. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.intracom-telecom.com/gr/products/wireless_network_systems/small_cell/streetnode.htm. [Πρόσβαση 2014].
- [4] Intracom - Telecoms, «StreetNode System,» σε *StreetNode Small - Cell Backhauling Solution*, Παιανία, Αττική, 2014, pp. 16-18.
- [5] R. Santitoro, «Bandwidth Profiles for Ethernet Services,» *Metro Ethernet Forum*, Νοέμβριος 2004.
- [6] Intracom - Telecoms, «StreetNode System,» σε *StreetNode Small - Cell Backhauling Solution*, Παιανία, Αττική, 2014, pp. 21-24.
- [7] Intracom - Telecoms, «StreetNode System,» σε *StreetNode Small - Cell Backhauling Solution*, Παιανία, Αττική, 2014, pp. 32-33.
- [8] Intracom - Telecoms, «StreetNode System,» σε *StreetNode Small - Cell Backhauling Solution*, Παιανία, Αττική, 2014, pp. 9-12.
- [9] Intracom - Telecom, «Cosmote STRN Trial 28GHz,» Παιανία, Αττική, 2014.
- [10] Μ.-Λ. Ζούρα, «PtMP Wireless for Small Cell Backhaul Applications,» Παιανία, Αττική, 2014.