

Survivability and Reliability in Fiwi Networking
Βιωσιμότητα και αξιοπιστία της FiWi δικτύωσης

Σωτηριάδου Άννα, mis 613

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας	University of Macedonia
ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα	Master Information Systems
Δίκτυα Υπολογιστών	Computer Networks
Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης	Professor: A.A. Economides

Thessaloniki, 16 January 2014

Abstract

The “last mile” broadband access network that requires lower cost, higher capacity and better flexibility was lately challenged by the explosive growth of bandwidth-intensive applications. To integrate both the technical advantages of PON and wireless access network, Fiber-Wireless (FiWi) broadband access network was suggested to give users access to Internet in a flexible and high-capacity way.

Because FiWi, as a broadband network, is anticipated to handle a large amount of traffic, numerous traffic flows could be interrupted upon network component failure. For this to be avoided, it is essential to enhance the survivability of FiWi. It is widely acknowledged by many research organizations that future broadband access network is required to provide reliable and robust service even in the presence of failure. Consequently, the way in which the survivability of FiWi will be enhanced is a crucial issue and it should be taken in consideration during the future development of FiWi. All these issues are presented in more detail to this paper and there are some references to some remarkable survivability and reliability schemes that researchers have proposed.

Περίληψη

Πρόσφατα, η ραγδαία αύξηση των ευρυζωνικών εφαρμογών επέβαλε μία πρόκληση για το “last mile” δίκτυο ευρυζωνικής πρόσβασης, η οποία απαιτεί χαμηλότερο κόστος, υψηλότερη απόδοση και μεγαλύτερη ευελιξία. Για να συνδυαστούν τα τεχνικά προτερήματα του PON (Passive Optical Network) και του ασύρματου δικτύου πρόσβασης, προτάθηκε το FiWi δίκτυο ευρυζωνικής πρόσβασης, έτσι ώστε να επιτρέψει τους χρήστες να έχουν πρόσβαση σε ένα ευέλικτο και υψηλής χωρητικότητας ίντερνετ.

Ως ευρυζωνικό δίκτυο, το FiWi αναμένεται να κουβαλάει ένα μεγάλο ποσό κυκλοφορίας (traffic), έτσι πολλές ροές κυκλοφορίας μπορούν να διακοπούν σε περίπτωση βλάβης του δικτύου. Επομένως, είναι αναγκαίο να ενισχυθεί η ικανότητα επιβίωσης του FiWi. Είναι ευρέως αποδεκτό από πολλούς ερευνητικούς οργανισμούς ότι το μελλοντικό δίκτυο ευρυζωνικής πρόσβασης θα πρέπει να παρέχει αξιόπιστες και ισχυρές υπηρεσίες, ακόμη και αν υπάρχουν αποτυχίες. Ως εκ τούτου, οι τρόποι ενίσχυσης της «επιβίωσης» (survivability) αποτελεί ένα βασικό ζήτημα και θα πρέπει να ληφθεί υπόψη για τη μελλοντική ανάπτυξη του FiWi. Όλα αυτά τα θέματα παρουσιάζονται με περισσότερη λεπτομέρεια σε αυτή την εργασία. Υπάρχουν κάποιες αναφορές σε κάποια αξιοσημείωτα μοντέλα «επιβίωσης» και αξιοπιστίας που έχουν προταθεί από ερευνητές.

Παρουσίαση θέματος

Η βιομηχανία, το εμπόριο, η ιατρική, η εκπαίδευση, η αστυνομία, η κυβέρνηση, η γεωργία, όλες αυτές οι πτυχές του σύγχρονου πολιτισμού, είναι όλο και περισσότερο εξαρτώμενες από τη διαθεσιμότητα των δικτύων επικοινωνίας. Όσο η δυνατότητες του συστήματος μεγαλώνουν, το ίδιο συμβαίνει και με την αποτυχία του συστήματος.

Έτσι, η δυνατότητα ενός δικτύου να συνεχίσει να λειτουργεί ακόμη και μετά την εμφάνιση οποιασδήποτε αποτυχίας, είναι απαραίτητη στα οπτικά δίκτυα. Όπως τα οπτικά δίκτυα έχουν τη δυνατότητα μετάδοσης ενός μεγάλου όγκου δεδομένων σε υψηλές ταχύτητες, έτσι οποιαδήποτε αποτυχία ή βλάβη, ακόμη και για μικρή διάρκεια, μπορεί να δημιουργήσει σημαντικές απώλειες δεδομένων και εσόδων. Έτσι, η επιβιωσιμότητα των οπτικών δικτύων έχει αποτελέσει βασικό ζήτημα για έρευνα. Πολλές προσπάθειες βρίσκονται σε εξέλιξη για τη βελτίωση της επιβιωσιμότητας των οπτικών δικτύων. Οι περισσότερες αποτυχίες εμφανίζονται συνήθως στους συνδέσμους (link failures).

Η επιβιωσιμότητα του δικτύου μπορεί να οριστεί ως η ικανότητα του δικτύου να συνεχίσει να λειτουργεί σωστά με την παρουσία αποτυχιών σε οποιοδήποτε στοιχείο του δικτύου. Είναι σημαντική προϋπόθεση για οποιοδήποτε οπτικό δίκτυο εξαιτίας της ultra-high χωρητικότητας τους. Μια απλή αστοχία, μπορεί να διαταράξει εκατομμύρια εφαρμογές και να οδηγήσει σε τεράστιες απώλειες δεδομένων και εσόδων τόσο για τους τελικούς χρήστες όσο και για τους διαχειριστές του δικτύου.

Σε γενικές γραμμές υπάρχουν δύο τρόποι για να αντιμετωπιστούν οι αποτυχίες, η προστασία και η αποκατάσταση. Στο πρότυπο προστασίας, κάθε σύνδεση τροφοδοτεί και κατανέμει ορισμένες ποσότητες εφεδρικών πόρων (spare resources) για προστασία, οι οποίοι μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να αλλάξει η πορεία της μεταγωγής κατόπιν αποτυχίας της σύνδεσης. Στο πρότυπο αποκατάστασης, δεν παραχωρούνται εφεδρικοί πόροι σε περίπτωση που χρειαστούν για την προστασία. Μετά από μία αποτυχία, το δίκτυο πρέπει να ψάξει για εφεδρικούς πόρους για να αλλάξει την πορεία κάθε σύνδεσης που έχει αναταραχθεί γύρω από την αποτυχία (around the failure).

Εισαγωγή

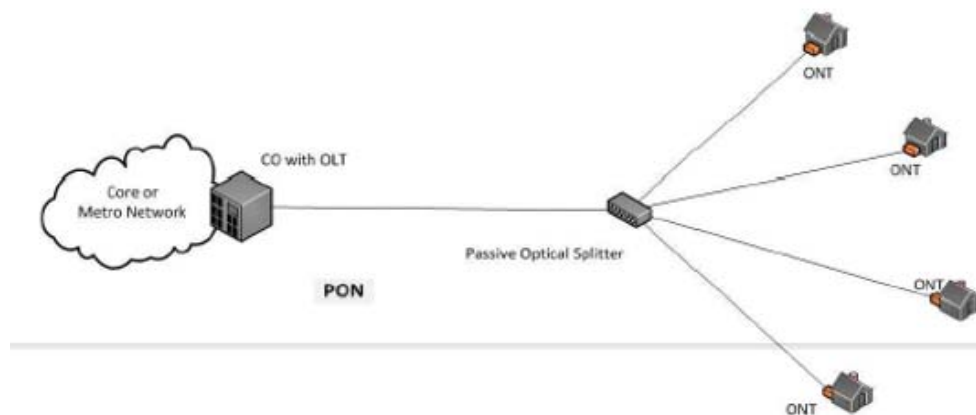
Η ασύρματη σύνδεση οπτικών ινών (Fi-Wi) ή η οπτική ασύρματη σύνδεση (optical wireless) είναι ο συνδυασμός της οπτικής ίνας και της ασύρματης (ραδιοσυχνότητα) επικοινωνίας για την παροχή υπηρεσιών τηλεπικοινωνίας στις ομάδες (clusters) των τελικών σημείων που είναι γεωγραφικά απομακρυσμένα. Είναι ο συνδυασμός των παθητικών οπτικών δικτύων (PONs) και των ασύρματων δικτύων πλέγματος (Wireless Mesh Networks, WMNs).

Τα οπτικά δίκτυα είναι σχεδιασμένα για να παρέχουν μακρινής απόστασης, υψηλού εύρους ζώνης επικοινωνίες με την βοήθεια ασύρματων δικτύων που παρέχουν πανταχού παρούσες, ευέλικτες επικοινωνίες. Χρησιμοποιείται οπτική ίνα, υψηλής χωρητικότητας για να καλύψει τις μακρινές αποστάσεις, και ένας ασύρματος σύνδεσμος χαμηλότερου κόστους μεταφέρει το σήμα του last mile στους κοντινούς χρήστες. Το Fi-Wi δίκτυο μπορεί να υποστηρίξει αρκετούς τύπους επικοινωνίας όπως η upstream, η downstream, και η peer-to-peer (P2P) επικοινωνία. (Win & Pathan 2013)

Οπτική πρόσβαση δικτύου - Optical access network

Το PON είναι γνωστό σαν κυρίαρχη τεχνολογία ευρυζωνικής πρόσβασης, επειδή παρέχει μεγαλύτερη χωρητικότητα εύρους ζώνης, μικρότερη απώλεια μετάδοσης και καλύτερη ανοχή σε παρεμβολές, σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες πρόσβασης, όπως η ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (DSL) και το cable modem. Συνήθως το PON έχει τοπολογία δέντρου. Ένα (OLT) τερματικό οπτικής γραμμής, στην κεντρική υπηρεσία (CO) συνδέεται με πολλαπλές μονάδες οπτικού δικτύου (Optical Network Unit, ONUs), μέσω της οπτικής ίνας τροφοδότη, του απομακρυσμένου κόμβου (RN) για παράδειγμα το σπίτι του συνδρομητή, και των οπτικών ινών διανομής. Το σήμα που μεταδίδεται μέσω του PON, δεν συναντά ποτέ κάποιο ενεργό στοιχείο, έτσι το PON μπορεί να παρέχει πιο σταθερή μετάδοση χωρίς ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.

Το PON μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου του PON (TDM-PON), πολυπλεξία διαίρεσης μήκους κύματος του PON (WDM-PON) και σε υβριδικά TDM/WDM-PON. (Tsagklas, & Pavlidou, 2011)



Εικ.1. PON Optical Access Network (Τοπολογία δέντρου)

Ασύρματα δίκτυα πρόσβασης - Wireless access networks

Τα ασύρματα δίκτυα πρόσβασης, αποτελούν μία πολλά υποσχόμενη τεχνολογία πρόσβασης και γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής, λόγω της ευελιξίας και της εύκολης εγκατάστασής τους. Τρεις είναι οι κύριες τεχνολογίες που συμπεριλαμβάνονται στα δίκτυα ασύρματης πρόσβασης και αυτά είναι το WiMax, το WiFi και η κινητή τηλεφωνία. Το WiFi χρησιμοποιείται κυρίως στο τοπικό δίκτυο των τελικών χρηστών (UEs). Σε σύγκριση με το WiFi, το WiMax (IEEE 802.16) απασχολεί τον σταθμό βάσης (BS) ως κεντρική υποδομή και υποστηρίζει μόνο την single-hop επικοινωνία.

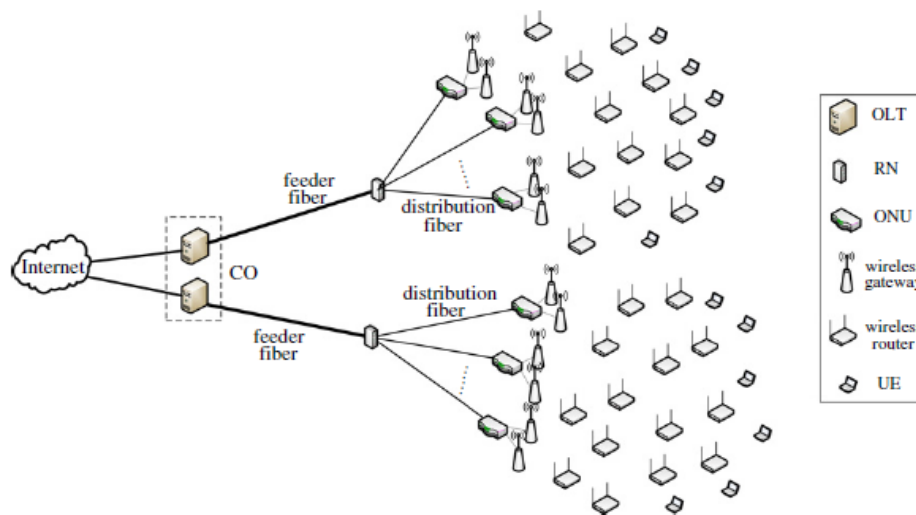
Συγκριτικά με την τεχνολογία οπτικής πρόσβασης, η τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης επιτρέπει στους χρήστες να έχουν πρόσβαση στο ίντερνετ με πιο ευέλικτο τρόπο και απαιτεί χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης. Ωστόσο, η χωρητικότητα του εύρους ζώνης περιορίζεται σημαντικά.

Ασύρματο δίκτυο ευρυζωνικής πρόσβασης - Fiber-Wireless broadband access network

Ως ενσωμάτωση των οπτικών και ασύρματων τεχνολογιών, το FiWi κάνει έναν εξαιρετικό συμβιβασμό μεταξύ των δύο τεχνολογιών πρόσβασης. Συνδυάζει τη μεγάλη χωρητικότητα του εύρους ζώνης και την υψηλή σταθερότητα των οπτικών δικτύων με την ευελιξία και το χαμηλό κόστος εγκατάστασης των ασύρματων. Έτσι το FiWi παρέχει τη δυνατότητα στους χρήστες να απολαύσουν ικανοποιητικές υπηρεσίες ευρυζωνικής πρόσβασης οπουδήποτε, με οποιοδήποτε τρόπο.

Γενικά, το FiWi έχει tree-mesh αρχιτεκτονική. Όπως φαίνεται στην εικ.2, είναι μία τυπική FiWi αρχιτεκτονική, που αποτελείται από δύο τμήματα. Το κάθε τμήμα, περιλαμβάνει, τεχνολογία ασύρματων δικτύων πλέγματος (WMN), στο front-end, και ένα PON (με τοπολογία δέντρου) στο backend.

Σε κάθε τμήμα, κάθε ONU μπορεί να οδηγήσει πολλαπλές ασύρματες πύλες, με ενσύρματη σύνδεση, να ενεργούν ως διεπαφή (interface) μεταξύ του front-end και του back-end. Οι τελικοί χρήστες, οι περισσότεροι εκ των οποίων βρίσκονται σε κτίρια κατοικιών και επιχειρήσεων, μπορούν να συνδεθούν με το FiWi με τη χρήση ασύρματων συσκευών. Συγκεκριμένα, οι τελικοί χρήστες, στέλνουν πρώτα τα πακέτα τους στον πλησιέστερο ασύρματο δρομολογητή. Στη συνέχεια, αυτά τα πακέτα θα διαβιβαστούν από τον ασύρματο δρομολογητή σε μία ασύρματη πύλη, στο ίδιο τμήμα, μέσω ασύρματων multi-hop μονοπατιών. Τέλος, αυτά τα πακέτα θα περάσουν από το back-end PON και θα καταλήξουν στο OLT, όπου θα εισέρχονται στο ίντερνετ. Με αυτόν τον τρόπο, το FiWi δίνει τη δυνατότητα στους τελικούς χρήστες, να έχουν πρόσβαση στο ίντερνετ, με μεγαλύτερη ευελιξία και χωρητικότητα. (Liu, Guo, Gong, Ma, Gong, Zhang, & Yang 2013).



Εικ.2. Μία τυπική FiWi αρχιτεκτονική (περιλαμβάνει δύο τμήματα)

Ζητήματα επιβιωσιμότητας - Survivability Issues

Στο Fiber-Wireless (FiWi) δίκτυο πρόσβασης, το ασύρματο front-end, μπορεί να ξεπεράσει τυχόν προβλήματα και αποτυχίες μόνο του, επειδή η τοπολογία πλέγματος παρέχει εναλλακτικές διαδρομές. Ωστόσο το οπτικό back-end, είναι ευάλωτο στην αποτυχία του δικτύου (network failure) εξαιτίας της τοπολογίας δέντρου. Οποιαδήποτε αποτυχία, στο

οπτικό back-end, μπορεί να προκαλέσει τεράστια απώλεια δεδομένων. Έτσι, η ικανότητα επιβίωσης του FiWi είναι ένα σημαντικό θέμα και ιδιαίτερα η προστασία του οπτικού back-end. (Liu, Song, Ma, Li, & Gong, 2013).

Hybrid PON

Το υβριδικό WDM/TDM παθητικό οπτικό δίκτυο (PON) θεωρείται μία πολλά υποσχόμενη υποψήφια λύση για ευρυζωνικά δίκτυα πρόσβασης με τη δυνατότητα παροχής υπηρεσιών υψηλής ταχύτητας στους συνδρομητές με χαμηλό κόστος ανά μονάδα, αφού συνδυάζει την υψηλή ταχύτητα μετάδοσης της WDM τεχνολογίας με τα χαμηλού κόστους χαρακτηριστικά της TDM τεχνολογίας.

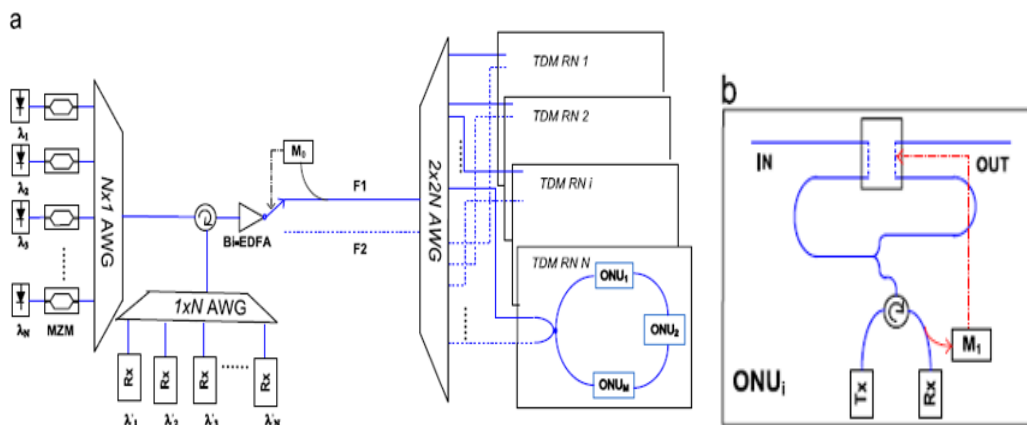
Ωστόσο όπως αναφέρθηκε, η συμβατική αρχιτεκτονική του PON μπορεί να παρέχει μόνο περιορισμένων δυνατοτήτων προστασία, η οποία μπορεί να προκαλέσει τεράστια απώλεια δεδομένων που οφείλεται στην αποτυχία των οπτικών ινών. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η αξιοπιστία ολόκληρου του δικτύου. Βιώσιμα WDM PONs με τοπολογία δέντρου, έχουν πραγματοποιηθεί είτε μέσω των περιοδικών μήκη κύματος ιδιοτήτων των AWGs (Arrayed Waveguide Grating)¹ ή μέσω της αυτοπροστασίας μεταξύ των ομαδοποιημένων ONUs, η οποία απαιτεί οπτικούς μεταγωγείς στα ONUs. Όταν συμβεί μία αποτυχία στις οπτικές ίνες, η μετάδοση στον προβληματικό σύνδεσμο μπορεί να αλλάξει το δρομολόγιο της ως προς τον προστατευτικό σύνδεσμο είτε μέσω AWGs είτε μέσω του του backup ONUs.

Πρόσφατα, αρκετά ενδιαφέροντα συστήματα έχουν προταθεί για την παροχή επιβιωσιμότητας σε υβριδικά WDM/TDM PONs. Μία αξιοσημείωτη πρόταση παροσιάζει την επιβιώσιμη αρχιτεκτονική του δέντρου-δακτυλίου (tree-ring) για υβριδικά WDM/TDM PONs. Συγκεκριμένα, τα ONUs ανακατασκευάστηκαν όταν χρησιμοποιήθηκε η τοπολογία ενός δακτυλίου ανάμεσα σε μία ομάδα από αυτά, στο RN, ώστε να πραγματοποιηθεί αυτόνομη προστασία για το σύνολο του δικτύου. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική μπορεί με επιτυχία όχι μόνο να προστατεύσει μία αποτυχία σε κάθε τροφοδότη ή των οπτικών ινών διανομής, αλλά μπορεί να προστατεύσει και κάθε αποτυχία των οπτικών ινών στους RN δακτυλίους. Επιπλέον, η ενιαία τοπολογία δακτυλίου μπορεί να μειώσει των αριθμό των οπτικών ινών προστασίας, καθώς και το κόστος σε σύγκριση με άλλες προτάσεις.

Προτεινόμενη αρχιτεκτονική για βιώσιμα WDM/TDM παθητικά οπτικά δίκτυα. Proposed survivable architecture for WDM/TDM passive optical networks

Η εικ.3 παρουσιάζει στην αριστερά πλευρά ένα OLT, όπου η συνεχούς κύματος πηγή φωτός τροφοδοτείται μέσω ενός διαμορφωτή (MZM στην εικόνα). Τα μήκη κύματος του downstream, παραδίδονται στα TDM RNs μέσω ενός τροφοδότη οπτικής ίνας (F1 ή F2), αφού ενισχύθηκαν από το EDFA, το οποίο είναι ένας ενισχυτής ίνας. Τα F1 και F2 είναι συνδεδεμένα με τις θύρες εισόδου ενός 2x2n AWG, του οποίου οι θύρες εξόδου συνδέονται με το TDM RN μέσω ενός συζεύκτη.

¹ Πολυπλέκτης, που διαμοιράζει το φως σε πολλούς κυματοδηγούς μέσω ενός συζεύκτη αστέρα. Κάθε συνιστώσα του φωτός υπόκειται διαφορετική διαφορά φάσης λόγω διαφορετικού μήκους των κυματοδηγών. Το φως τελικά, ανάλογα με το μήκος κύματος εξέρχεται από τον κατάλληλο κυματοδηγό εξόδου.



Εικ.3. Προτεινόμενη αρχιτεκτονική επιβιωσιμότητας για το WDM/TDM οπτικού παθητικού δικτύου. (α) Σύνθεση του προτεινόμενου δικτύου (β) διάγραμμα του ONU.

Σύμφωνα με την κανονική λειτουργία, τα μήκη κύματος του downstream, θα πρέπει να παραδοθούν μέσω του τροφοδότη της οπτικής ίνας F1. Οδηγούνται στο TDM RN αφού αποπολυπλεκτούν μέσω του $2 \times 2N$ AWG. Εάν αποτύχει μια οπτική ίνα σε οποιοδήποτε σημείο μεταξύ του OLT και του RN TDM, μπορεί να ανιχνευθεί απώλεια ισχύος από τη μονάδα παρακολούθησης (M_0), η οποία ενεργοποιεί έναν οπτικό μεταγωγέα στο OLT και μεταγάγει μήκη κύματος του downstream στο F2, το οποίο χρησιμοποιείται ως διαδρομή προστασίας. Στο RN TDM, το μήκος κύματος του downstream τροφοδοτείται μέσα στον δακτύλιο TDM.

Ένα ONU, όπως φαίνεται στην εικ. 3 (β), αποτελείται από έναν οπτικό μεταγωγέα, έναν οπτικό προσαρμοστή, έναν οπτικό κυκλοφορητή, μία μονάδα παρακολούθησης (M_1), έναν δέκτη και έναν πομπό. Όταν το downstream μήκος κύματος τροφοδοτείται σε ένα ONU μέσω της θύρας εισόδου, ένα μέρος της downstream ισχύς φωτός χάνεται από τον προσαρμοστή για τη λήψη και την ανίχνευση, ενώ η υπόλοιπη ισχύς διέρχεται μέσω του ONU και θα χρησιμοποιηθεί από άλλα ONUs. Η upstream μετάδοση από ένα ONU προστίθεται στον TDM δακτύλιο μέσω του οπτικού κυκλοφορητή. Προκειμένου να αποφευχθεί η σύγκρουση με την upstream μετάδοση, μόνο ένα ONU στον δακτύλιο μπορεί να μεταδώσει upstream δεδομένα, μόνο στο δικό του slot², με βάση το TDM. PON.

Εκτός από την προστασία που παρέχεται έναντι οποιασδήποτε βλάβης οπτικών ιών μεταξύ του OLT και του TDM RN, το δίκτυο μπορεί επίσης να παρέχει προστασία έναντι οποιασδήποτε βλάβης οπτικών ιών στον δακτύλιο TDM σε ένα RN TDM. Σε έναν TDM δακτύλιο, τα ONUs βρίσκονται το ένα μετά το άλλο με δεξιόστροφη (CW) κατεύθυνση, που σημαίνει ότι το ONU_i (για $i = 2, 3, \dots, M-1$) συνδέεται με το ONU_{i+1} μέσω της θύρας εισόδου του, ενώ είναι συνδεδεμένο με ONU_{i-1} μέσω της θύρας εξόδου του, όπως φαίνεται στην εικ. 3 (α). (Qiu & Chan 2013)

² Slot είναι το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο εκπέμπεται ένα πακέτο πληροφορίας και αντιστοιχεί σε κάποιο σταθερό αριθμό bytes.

MPMHN (Maximum Protection and Minimum Hops Number) – MPMFL (Maximum Protection and Minimum backup Fibers Length)

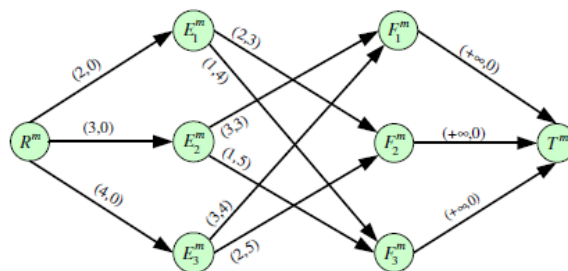
Η πρόταση που παρατίθεται παρακάτω, αναφέρεται στην επιβιωσιμότητα του FiWi, στις αποτυχίες του ONU-επιπέδου και των τμημάτων επιπέδου (segment-level). Αντί για την υψηλού κόστους fiber duplication³ προσέγγιση, προτάθηκε η παρακάτω προσέγγιση που αναφέρεται στην προστασία υψηλής σχέσης απόδοσης-κόστους. Στην ουσία υπάρχουν δύο προβλήματα που χρειάζεται να λυθούν, η ανάθεση εναλλακτικών ONUs και η ανάπτυξη των backup οπτικών ινών.

Από τη μία πλευρά, η ανάθεση εναλλακτικών ONUs βελτιστοποιείται, σκοπεύοντας στη μεγιστοποίηση της προστατευόμενης κυκλοφορίας, και στην ελαχιστοποίηση του αριθμού των ασύρματων hops (MPMHN). Από την άλλη πλευρά η ανάπτυξη των backup οπτικών ινών βελτιστοποιείται, με στόχο τη μεγιστοποίηση τη προστατευόμενης κυκλοφορίας και την ελαχιστοποίηση του μήκους των backup οπτικών ινών (MPMFL).

Τα δύο αυτά προβλήματα, το πρόβλημα της μέγιστης προστασίας και ο ελάχιστος αριθμός των hops (MPMHN), και το πρόβλημα της μέγιστης προστασίας και το ελάχιστο μήκος των backup οπτικών ινών (MPMFL) αντίστοιχα, έχουν διατυπωθεί μαθηματικά. Ένας αποτελεσματικός αλγόριθμος που ονομάζεται βοηθητικό γράφημα βασιζόμενο στην προστασία (AGP) προτείνεται για την επίλυση των MPMHN και MPMFL προβλημάτων, τα οποία μειώνουν το κόστος με το μέγιστο δυνατό μήκος οπτικών ινών.

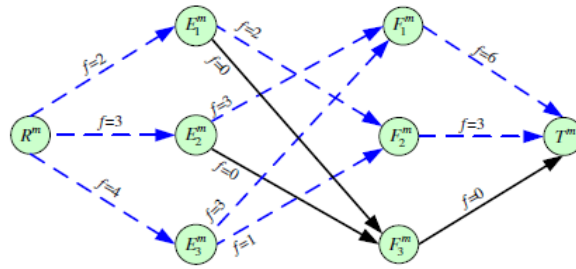
Ο αλγόριθμος AGP

Στον αλγόριθμο AGP, τα προβλήματα MPMHN και MPMFL μπορούν να λυθούν με δύο βήματα. Στο πρώτο βήμα, κατασκευάστηκαν δύο βοηθητικά γραφήματα, το πρώτο για το MPMHN πρόβλημα, ονομάζεται AG-MPMHN και το άλλο AG-MPMFL. Στο δεύτερο βήμα, προτείνεται μία μέθοδος ροής κόστους, (FCR) για να βρεθεί το MCMF σε κάθε ένα από AG-MPMHN και AG-MPMFL. Σε αυτό το σημείο, υπάρχουν πολλές μαθηματικές εξηγήσεις που δεν θα επεκταθούμε σε αυτή την εργασία. Επιπλέον, η μέθοδος FCR δεν απεικονίζεται.

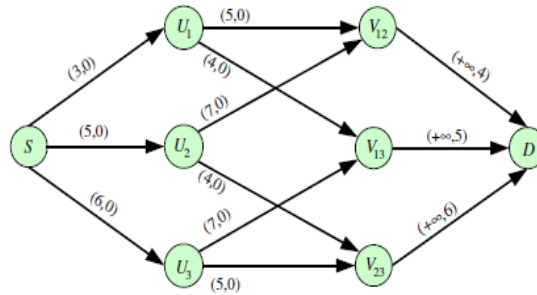


Εικ.4. Απεικόνιση του AG-MPMHN για ένα τμήμα που περιλαμβάνει τρία ONUs

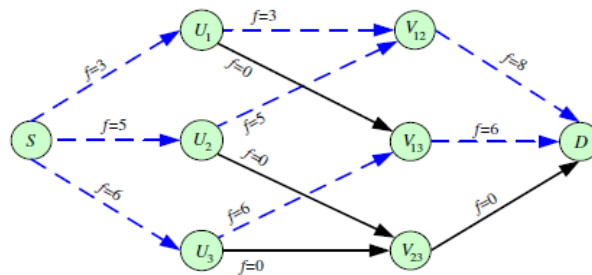
³ Η fiber duplication προσέγγιση, χρησιμοποιείται ευρέως στα PON για να αντιμετωπίσει τις αποτυχίες των οπτικών ινών. Παρόλα αυτά, για να αντιμετωπίσει τις αποτυχίες του ONU-επιπέδου και των τμημάτων επιπέδου απαιτεί υψηλά κόστη.



Εικ.5. Απεικόνιση του MCMF στο AG-MPMHN της εικ.4



Εικ.6. Απεικόνιση του AG-MPMFL για το FiWi περιλαμβάνοντας τρία τμήματα.



Εικ.7. Απεικόνιση του MCMF for the AG-MPMFL της εικ.6.

Βασιζόμενοι στο AG-MPMHN, το πρόβλημα MPMHN μπορεί να λυθεί βρίσκοντας το ελάχιστο κόστος με τη μέγιστη ροή (Minimum Cost Maximum flow, MCMF). Το MCMF αναφέρεται σε μία ροή από την κορυφή πηγής στην κορυφή προορισμού το οποίο έχει το μέγιστο throughput και το ελάχιστο κόστος. Εδώ, το κόστος της ροής υπολογίζεται με την πρόσθεση του κόστους όλων των ακμών που διασχίζεται από αυτή την ροή. Οι διακεκομμένες γραμμές στην εικ.5 απεικονίζουν το MCMF του AG-MPMHN. Το f συμβολίζει το throughput, σε κάθε άκρη. Έτσι στην εικ.5, το MCMF έχει 9 μονάδες throughput και 15 μονάδες κόστους. Παρόμοια, ισχύει και για το AG-MPMFL. (Liu, Guo, Ma, & Hou 2012).

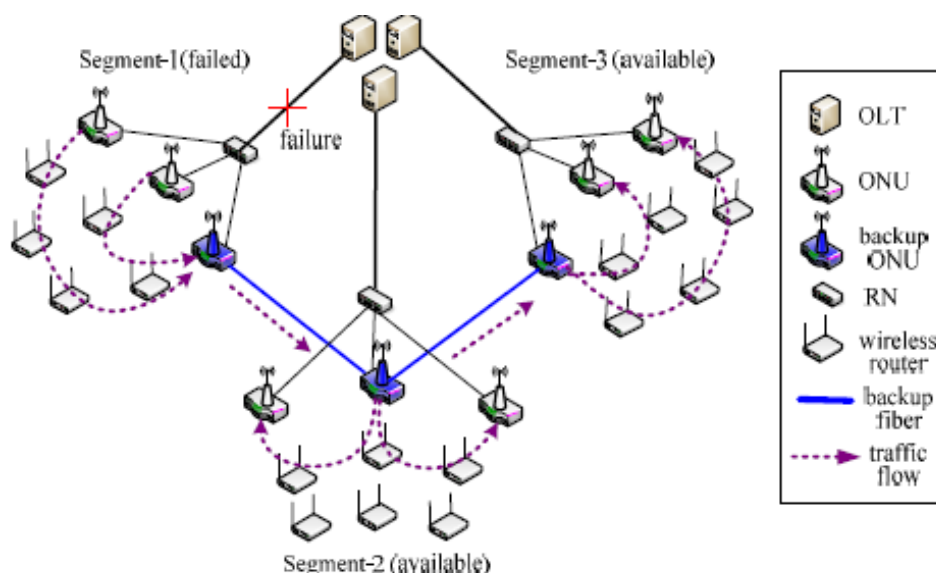
The Optimizing Backup ONUs selection and backup Fibers deployment (OBOF) Scheme

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το back-end του FiWi είναι ευάλωτο σε αποτυχίες εξαιτίας της τοπολογίας δέντρου που έχει. Υπάρχουν λοιπόν κάποιες προτάσεις, στις οποίες δεν θα αναφερθούμε συγκεκριμένα, οι οποίες προστατεύουν το back-end μέσω των εναλλακτικών διαδρομών στο front-end. Αυτές οι προτάσεις, όμως αποτυγχάνουν να αντιμετωπίσουν το

πρόβλημα με επιτυχία, για αυτό το λόγο έχουν προταθεί κάποια μοντέλα⁴. Τα μοντέλα αυτά δεν είναι τόσο αποδοτικά όσο το OBOF μοντέλο που αναφέρουμε παρακάτω, γιατί πρώτον, αγνοούν τη βελτιστοποίηση της επιλογής των backup ONUs, το οποίο καθορίζει την καθυστέρηση αποκατάστασης της κυκλοφορίας που διακόπτεται από την αποτυχία. Δεύτερον, δεν χρησιμοποιείται όσο θα έπρεπε, η υπόλοιπη χωρητικότητα των τμημάτων, για αυτό το λόγο απαιτούνται υψηλά κόστη σε backup οπτικές ίνες.

Σε αυτήν την πρόταση, γίνεται λόγος για ένα σύστημα αποτελεσματικής προστασίας, που ονομάζεται βελτιστοποίηση της επιλογής των backup ONUs και την ανάπτυξη των backup οπτικών ινών (OBOF), για την ενίσχυση της βιωσιμότητας των FiWi εναντίον της τμηματικής αστοχίας. Το OBOF αποτελείται από δύο διαδοχικά στάδια: στο πρώτο στάδιο επιλέχθηκε ένα από τα ONUs ως backup ONU σε κάθε τμήμα. Στο δεύτερο στάδιο, αναπτύσσονται επιλεκτικά, backup οπτικές ίνες ανάμεσα σε backup ONUs έτσι ώστε κάθε τμήμα να είναι συνδεδεμένο τουλάχιστον το ένα με το άλλο.

Αναφέρονται στην οπτική διαδρομή που διασχίζει πολλαπλές backup οπτικές ίνες ως backup-οπτικής διαδρομής. Ένα ζευγάρι τμημάτων, που συνδέονται μεταξύ τους μέσω backup-οπτικής διαδρομής μπορούν να υποβοηθήσουν το ένα το άλλο. Όπως απεικονίζεται στην εικ. 8, υπάρχει ένα FiWi συμπεριλαμβανομένων τριών τμημάτων. Το s1, s2 και s3 δηλώνουν το τμήμα 1, το τμήμα 2 και το τμήμα 3, αντίστοιχα. Αρχικά επιλέγουν ένα ONU σε κάθε τμήμα και στη συνέχεια αναπτύσσουν δύο backup οπτικές ίνες μεταξύ των s1 και s2 και μεταξύ των s2 και s3, αντίστοιχα. Έτσι, τα s1, s2 και s3 υποβοηθούν το ένα το άλλο. Σε περίπτωση που αποτύχει το s1, η κυκλοφορία που διακόπηκε από την αποτυχία αυτή μπορεί να μεταφερθεί στο s2 κατά μήκος των backup οπτικών ινών μεταξύ του s1 και s2, καθώς και το s3 κατά μήκος της backup οπτικής διαδρομής (s1 - s2 - s3). Έτσι, το ποσό της κυκλοφορίας στο s1 που μπορεί να προστατευθεί από τα s2 και s3 εξαρτάται από τη διαθέσιμη υπολειπόμενη χωρητικότητα τους.



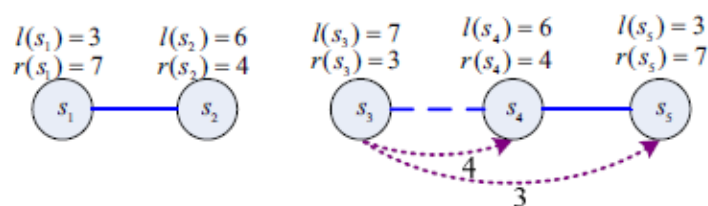
Εικ. 8. Απεικόνιση του OBOF μοντέλου.

⁴ Τα μοντέλα αυτά είναι “Design of survivable hybrid wireless-optical broadband access network”, T. Feng and L. Ruan, και “Reliable and fast restoration for a survivable wireless-optical broadband access network B. Kantarci, H. T. Mouftah

Στο σχήμα OBOF, όταν ένα τμήμα αποτύχει, κάθε ONU σε αυτό το τμήμα αναμένεται να μεταφέρει την κυκλοφορία του στο backup ONU στο ίδιο τμήμα μέσω ασύρματων multi-hop μονοπατιών. Ένας μικρότερος αριθμός ασύρματων hops στο backup ONU σημαίνει λιγότερη καθυστέρηση αποκατάστασης της κυκλοφορίας που διακόπτεται από την αποτυχία. Ως εκ τούτου, η επιλογή backup ONU έχει σημαντική επίδραση στην καθυστέρηση αποκατάστασης που είναι το κύριο κλειδί στο σχεδιασμό της επιβιωσιμότητας.

Στο πρώτο στάδιο του OBOF, δίνεται έμφαση στη βελτιστοποίηση της επιλογής των backup ONUs. Αυτό έχει σαν στόχο την ελαχιστοποίηση του μέσου αριθμού των ασύρματων hops από τα ONUs, που επηρεάζεται από την αποτυχία του backup ONU. Έτσι η καθυστέρηση αποκατάστασης ελαχιστοποιείται.

Στο δεύτερο στάδιο του OBOF, προτείνεται η μέθοδος των απομακρυσμένων backup τμημάτων (RBS), η οποία μπορεί να βελτιώσει τη χρησιμοποίηση της υπόλοιπης χωρητικότητας των τμημάτων, επιτρέποντας τα απομακρυσμένα τμήματα να υποβοηθήσουν. Το κομμάτι αυτής της μεθόδου, επικεντρώνεται στη βελτιστοποίηση της ανάπτυξης των backup οπτικών ινών, με στόχο τη μεγιστοποίηση του ποσού της προστατευόμενης κυκλοφορίας και την ελαχιστοποίηση του κόστους των backup οπτικών ινών. Ο στόχος αυτός αναφέρεται ως το πρόβλημα της μέγιστης προστασίας με το ελάχιστο κόστος (MPMC).



Εικ.9. Τα γειτονικά και τα απομακρυσμένα τμήματα χρησιμοποιούνται για backup. Μέθοδος RBS.

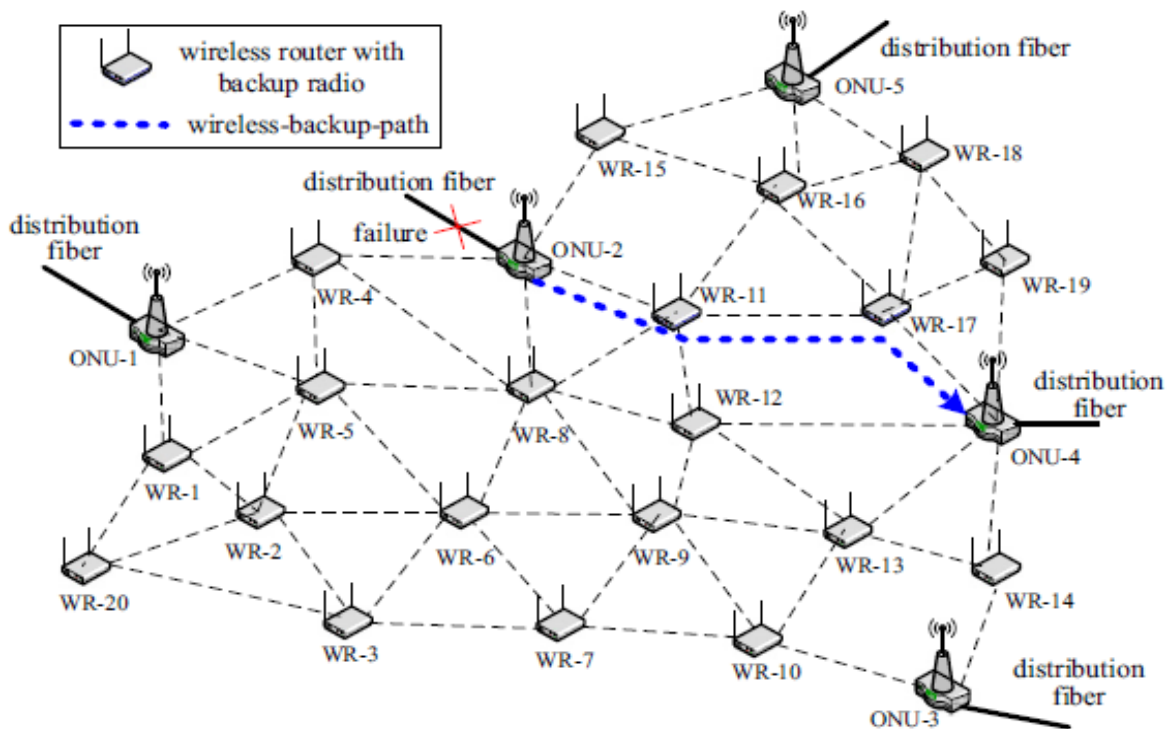
Όπως απεικονίζεται στην εικ. 9, υπάρχουν πέντε τμήματα $s_1 \sim s_5$ στο δίκτυο, και κάθε τμήμα θεωρείται ότι έχει τη χωρητικότητα 10 μονάδων. (Liu, Guo, & Wei 2012).

Backup Radios

Σε αυτήν την πρόταση, οι αποτυχίες χωρίζονται στο οπτικό back-end στο ONU-επίπεδο αποτυχίας, και στο OLT-επίπεδο αποτυχίας ανάλογα με την σοβαρότητα της αποτυχίας. Για να αντιμετωπιστεί η αποτυχία του επιπέδου ONU, επιμερίστηκε σε κάθε ONU ένας partner. Με αυτόν τον τρόπο καθιερώθηκε το ασύρματο back-up μονοπάτι μεταξύ τους. Για να αντιμετωπιστεί η αποτυχία του OLT επιπέδου, συγκεντρώνονται όλα τα τμήματα στο δίκτυο και τοποθετούνται οι backup οπτικές ίνες για την προστασία του δακτυλίου.

Γίνεται πρόταση των πειραματικών αλγορίθμων για την ελαχιστοποίηση του κόστους των backup δεκτών (radios) και το κόστος των backup οπτικών ινών. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αυτής της πρότασης, φανερώνουν ότι οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι, είναι αποτελεσματικοί στην ενίσχυση της επιβιωσιμότητας του FiWi και απαιτούν λιγότερο κόστος από τα προηγούμενα έργα.

Για να αντιμετωπιστεί η αποτυχία του ONU-επίπεδου, επιλέχθηκαν κάποιοι ασύρματοι δρομολογητές και ανέπτυξαν τον κάθε έναν από αυτούς με backup δέκτη. Εγγυάται ότι το κάθε ONU μπορεί να συνδεθεί με ένα partner ONU μέσω του ασύρματου backup μονοπατιού, στο οποίο κάθε ασύρματος δρομολογητής έχει έναν backup δέκτη (radio). Όταν ένα ONU αποτυγχάνει σε ένα επίπεδο, το ONU στο επίπεδο αυτό, μπορεί να μεταφέρει την κυκλοφορία του στον partner ONU μέσω του ασύρματου backup μονοπατιού. Έτσι, κάθε ONU πρέπει να είναι εξοπλισμένο με τις λειτουργίες ανίχνευσης βλάβης και μεταγωγής της κυκλοφορίας.



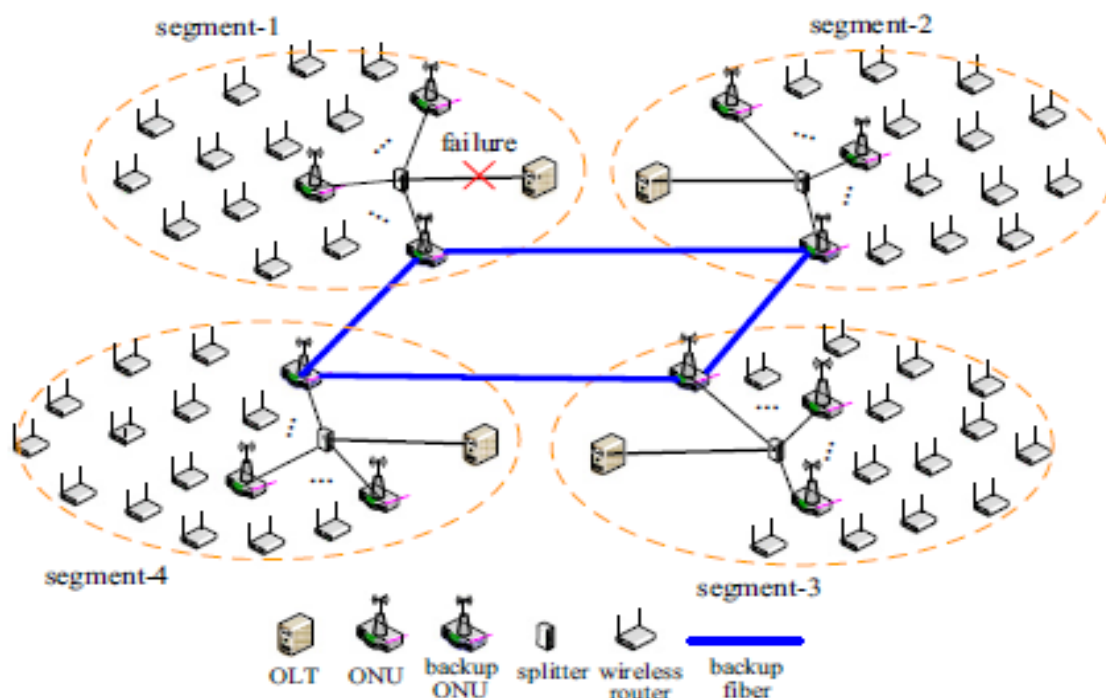
Εικ.10. Απεικόνιση του ασύρματου backup μονοπατιού.

Για να αντιμετωπιστεί η αποτυχία του OLT-επίπεδου, πρώτα ορίστηκε ένα από τα ONUs σε κάθε τμήμα ως backup ONU. Στη συνέχεια, όλα τα τμήματα του δικτύου συγκεντρώθηκαν και τοποθετήθηκαν backup οπτικές ίνες ανάμεσα στα backup ONUs της κάθε ομάδας για να χτιστεί ένας προστατευτικός δακτύλιος. Οποιοδήποτε ζευγάρι τμημάτων στην ίδια ομάδα πρέπει να έχει δύο εναλλακτικά οπτικά backup μονοπάτια μεταξύ τους.

Όταν ένα τμήμα αποτυγχάνει σε ένα επίπεδο του OLT, το σύστημα απόφασης του backup ONU σε αυτό το προβληματικό τμήμα θα μεταδώσει ένα σήμα ελέγχου για να ενεργοποιήσει τον οπτικό μεταγωγέα. Στη συνέχεια, ο οπτικός μεταγωγέας γυρίζει από τον δέκτη 1 στον δέκτη 2, και η κίνηση του προβληματικού κομματιού μεταγύεται στις backup οπτικές ίνες.

Στη συνέχεια, το προβληματικό κομμάτι μεταφέρει την κυκλοφορία του σε οποιοδήποτε άλλο διαθέσιμο κομμάτι στην ίδια ομάδα κατά μήκος των δύο οπτικών backup μονοπατιών στον δακτύλιο προστασίας, ταυτόχρονα. Κατά συνέπεια, η καθυστέρηση για την ανάκτηση της κυκλοφορίας (καθυστέρηση ανάκτησης) μειώνεται σημαντικά. Επιπλέον, το αποτυχημένο τμήμα επιτρέπεται να μεταφέρει την κυκλοφορία του όχι μόνο στα γειτονικά τμήματα, αλλά και στα απομακρυσμένα τμήματα της ίδιας ομάδας. Ως εκ τούτου, οι backup

οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται πιο αποτελεσματικά, πράγμα που βοηθά στη μείωση του κόστους των backup οπτικών ινών. (Liu, Song, Ma, Li, Gong 2013)



Εικ.11. Απεικόνιση ενός cluster με δακτύλιο προστασίας.

Ασύρματη bypass-based προστασία - Wireless Bypass-based protection

Η οπτική προστασία μπορεί να έχει απαγορευτικό κόστος για τα ευαίσθητα οπτικά δίκτυα. Στην προσέγγιση αυτή, δημιουργώντας ασύρματες συνδέσεις μεταξύ των ONUs προτάθηκε μία νέα μέθοδος ασύρματης προστασίας βασισμένη στην παράκαμψη (bypass). Έχει δύο τμήματα, την intra-domain και την inter-domain ασύρματη παράκαμψη.

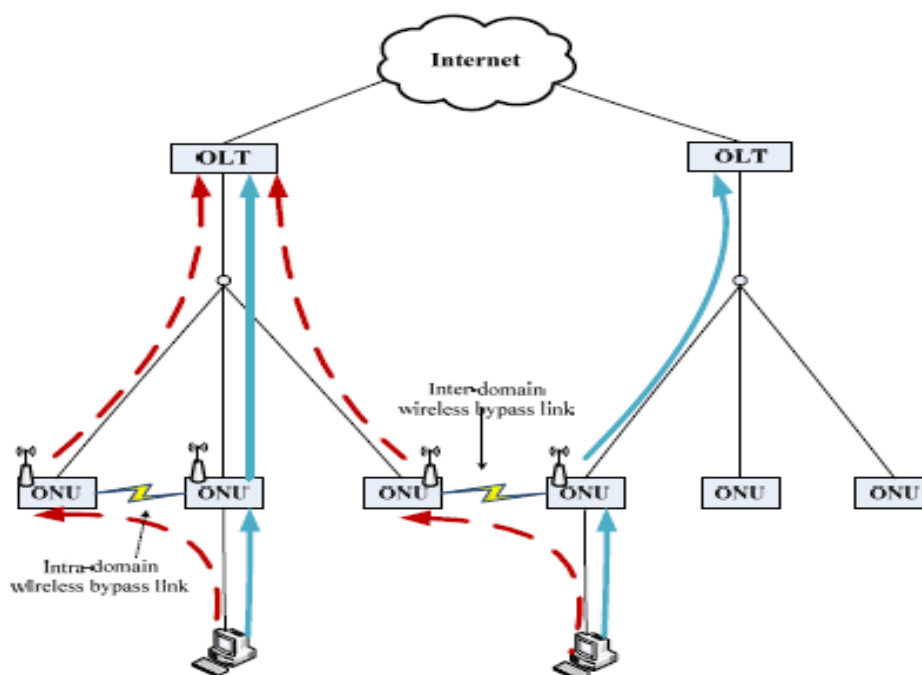
Το μοντέλο επιβίωσης της ασύρματης bypass προστασίας έχει αξιολογηθεί μέσω της ανάλυσης πιθανοτήτων λαμβάνοντας υπόψη τα δύο οπτικά και ασύρματα τμήματα ταυτόχρονα. Επίσης, η σύγκριση της επιβιωσιμότητας με πλήρη οπτική προστασία, φανερώνει ότι η μέθοδος προστασίας βασισμένη στην παράκαμψη (bypass) βελτιώνει την επιβιωσιμότητα. Επιπλέον, σε αυτήν την προσέγγιση, αναλύθηκε ποσοτικά η επίπτωση της πιθανότητας αποτυχίας της σύνδεσης της οπτικής ίνας, οι ασύρματες bypass συνδέσεις, και η ασύρματη bypass απόσταση στην επιβιωσιμότητα δικτύου.

Η εικ.12 δείχνει την αρχιτεκτονική δικτύου της ασύρματης bypass προστασία. Αναπτύχθηκαν intra-domain ασύρματοι bypass σύνδεσμοι για το ONU. Όταν η συνδετική οπτική ίνα διανομής αποτυγχάνει, το ONU μπορεί ακόμη να στείλει μηνύματα στα κανονικά ONUs, τα οποία συνδέονται με τους intra-domain ασύρματους συνδέσμους, και τελικά συνδέεται με το OLT. Αλλά αν ο τροφοδότης της οπτικής ίνας αποτύχει, όλα τα ONUs που ανήκουν σε αυτό τον τομέα PON θα αποτύχουν να συνδεθούν με το OLT.

Μετά από σύγκριση της σύνδεσης δικτύου μίας πλήρους οπτικής προστασίας, μίας intra-domain και μίας inter-domain ασύρματης bypass προστασίας, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η

ασύρματη bypass προστασία κατόρθωσε μεγαλύτερο βαθμό επιβιωσιμότητας από την πλήρως οπτική προστασία. Για ένα δεδομένο αριθμό bypass συνδέσμων, η inter-domain ασύρματη bypass προστασία είχε υψηλότερη συνδεσιμότητα δικτύου από την intra-domain.

Οι ερευνητές έχουν διαπιστώσει ότι η σύνδεση δικτύου σχετίζεται τόσο με την αποτυχία σύνδεσης οπτικών ινών όσο και με των ασύρματων bypass συνδέσμων. Το ONU διαμορφωμένο με περισσότερους ασύρματους bypass συνδέσμους και με μικρότερη bypass απόσταση, επιτυγχάνει μεγαλύτερη επιβιωσιμότητα.



Εικ.12. Η αρχιτεκτονική της ασύρματης bypass-based προστασίας

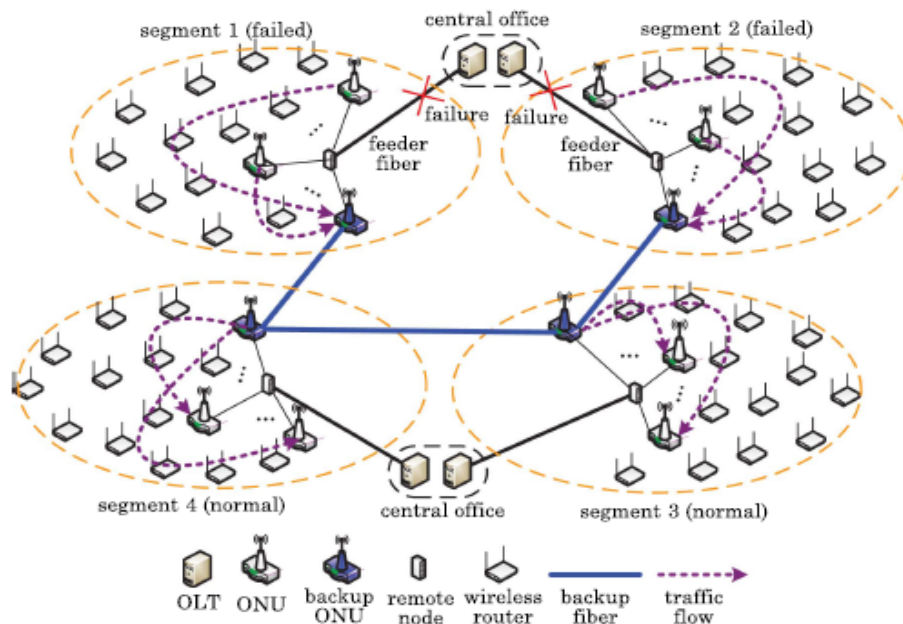
Έχει επίσης βρεθεί, ότι υπάρχει ένα διάστημα για την ασύρματη bypass απόσταση, στο οποίο η σύνδεση δικτύου, μπορεί σπάνια να μειωθεί με την bypass απόσταση να αυξάνεται. Ως εκ τούτου, μπορεί να αναπτυχθεί η bypass απόσταση μέσα σε αυτό το διάστημα με την ανάπτυξη της ασύρματης bypass προστασίας με αντικείμενο την υψηλή σύνδεση δικτύου. (Sun, Shou, Hu, & Guo 2012).

CPB Scheme

Έχει προταθεί, επίσης, ένα σύστημα αποτελεσματικής προστασίας που ονομάζεται cluster-based προστασία (CBP). Στο CBP, διαχωρίστηκαν τα τμήματα του δικτύου σε ομάδες με σκοπό να μειώσουν το overhead για τη διαχείριση της ανάκαμψης της κυκλοφορίας. Στη συνέχεια επιλέγεται ένα από τα ONUs σε κάθε τμήμα ως το backup ONU και αναπτύσσονται backup οπτικές ίνες, μεταξύ των backup ONUs διαφορετικών τμημάτων στην ίδια ομάδα.

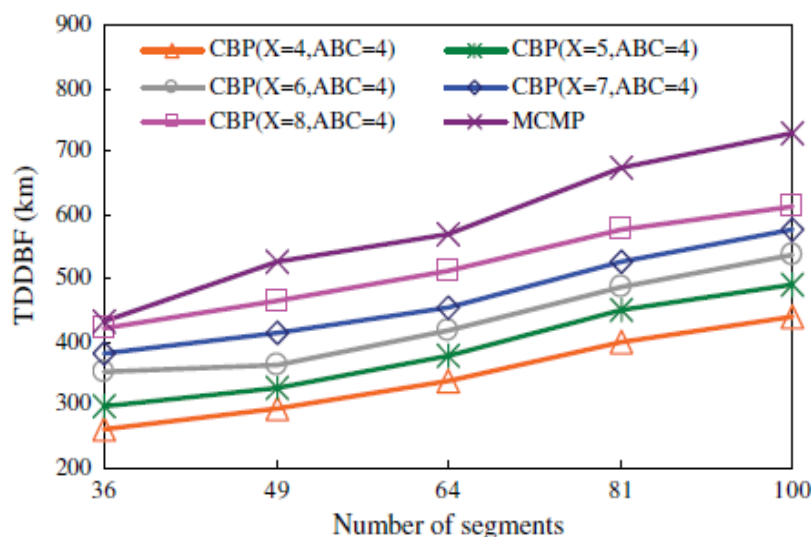
Σύμφωνα με τον περιορισμό για το μέγιστο αριθμό τμημάτων σε κάθε ομάδα, το CBP στοχεύει να προστατεύσει το FiWi ενάντια στις ταυτόχρονες αποτυχίες πολλαπλών τμημάτων με το ελάχιστο κόστος εγκατάστασης backup οπτικών ινών. Προτείνεται μία

ακέραια γραμμική προσέγγιση βασισμένη στον προγραμματισμό και μία πειραματική προσέγγιση για να λύσει την από κοινού βελτιστοποίηση στην CPB μέθοδο των backup ONUs, των τμημάτων του cluster, και την ανάπτυξη των backup οπτικών ινών.



Εικ.13. Απεικόνιση ενός cluster στο μοντέλο CPB

Στην εικ.14 συγκρίνοντας τον MCMP αλγόριθμο, με το CPB scheme, λαμβάνοντας υπόψη κάποια σενάρια, παρατηρούμε ότι το CPB είναι αποδοτικότερο καθώς μπορεί να αντιμετωπίσει ταυτόχρονα την αποτυχία σε οκτώ τμήματα με το μικρότερο κόστος ανάπτυξης των backup οπτικών ινών. Να σημειωθεί ότι το TDDBF χρησιμοποιείται για να μετρήσουμε το κόστος των backup οπτικών ινών. (Guo, Liu, Wang, Hou, & Gong, 2013)



Εικ.14.

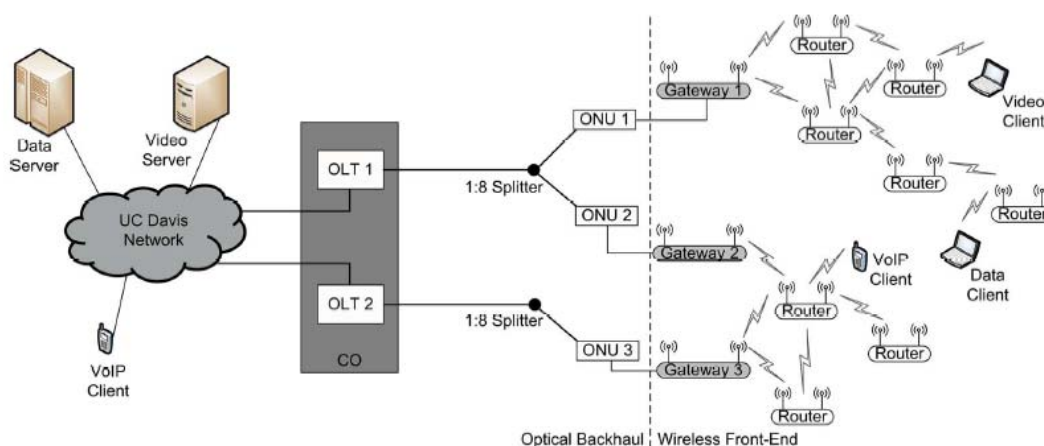
Παθητικά οπτικά δίκτυα νέας γενιάς - NG-PONs

Τα παθητικά οπτικά δίκτυα (PONs) εξελίσσονται σε επόμενη γενιάς PONs (NG-PONs) τα οποία στοχεύουν σε υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων, υψηλή πολυπλεξία καναλιών

μήκους κύματος, υψηλό αριθμό των οπτικών μονάδων δικτύου (ONUs), και εκτεταμένη κάλυψη σε σύγκριση με αυτά που ήδη υπάρχουν. Τα NG-PONs αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις για να παρέχουν το ίδιο επίπεδο επιβιωσιμότητας, όπως τα συμβατικά PONs χωρίς να υπερβαίνουν τον προϋπολογισμό των ευαίσθητων στο κόστος δικτύων πρόσβασης.

Για το σκοπό αυτό, η μερική οπτική προστασία, σε συνδυασμό με τη διασύνδεση ενός υποσυνόλου ONUs μέσω ενός ασύρματου δικτύου πλέγματος (WMN) front-end, είναι ελπιδοφόρα λύση για να καταστήσει τα NG-PONs βιώσιμα με έναν οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Σε αυτή την έρευνα, παρουσιάζεται μία ανάλυση πιθανοτήτων της επιβιωσιμότητας των NG-PONs και των ασύρματων υβριδικών δικτύων οπτικών ινών, λαμβάνοντας υπόψη και την οπτική και την ασύρματη προστασία. (Maier 2012).

Η εικ.15 δείχνει μία πρόσφατη αρχιτεκτονική που βασίζεται στο R&F FiWi δίκτυο και αποτελείται από ένα ενσωματωμένο PON και ένα WLAN-based WMN. (Ghazisaidi, Scheutzow, & Maier, 2011).



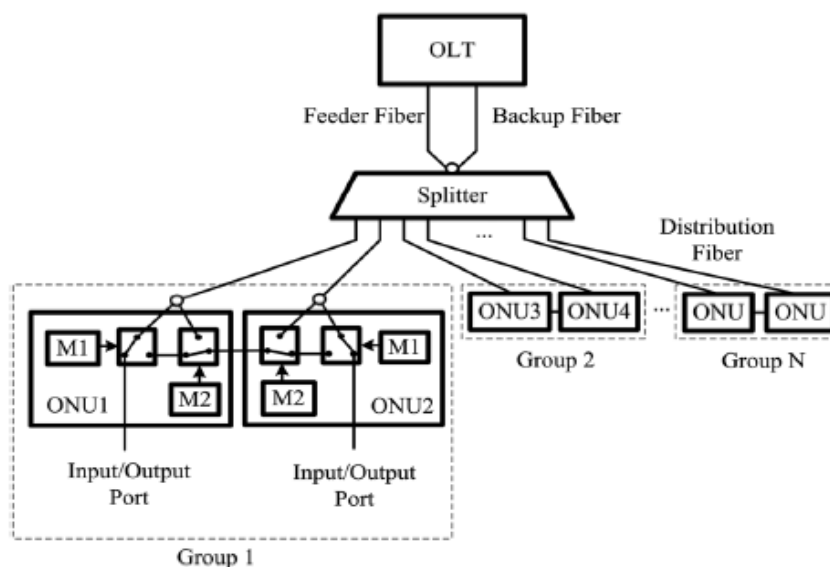
Εικ.15. R&F-based FiWi δίκτυο : US Davis R&F testbed ενσωμάτωση του EPON και WMN.

Μέθοδος ανάκτησης της ποιότητας - A quality of recovery (QoR) method

Σε αυτή την προσέγγιση τα συστήματα επιβιωσιμότητας σε WOBAN (Wireless-Optical Broadband Access Network) αντιμετωπίζονται από μια συγκεκριμένη άποψη για την ποιότητα της μεθόδου ανάκτησης (QOR). Η QOR είναι ένα ολοκληρωμένο μέτρο για την αξιολόγηση των συστημάτων επιβίωσης όσον αφορά τη διαθεσιμότητα, το χρόνο αποκατάστασης και το εύρος ζώνης της backup διαδρομής. Για να εξακριβωθεί η απόδοση των συστημάτων επιβιωσιμότητας από την μέθοδο QOR, πραγματοποιούνται εκτεταμένες προσομοιώσεις, κάτω από διαφορετικές διαμορφώσεις του WOBAN. Κάποια αριθμητικά αποτελέσματα δείχνουν ότι τα intra-domain συστήματα επιβιωσιμότητας και ο συνδυασμός των συστημάτων της ασύρματης και οπτικής προστασίας αποτελούν την καλύτερη επιλογή για ανάκαμψη της αποτυχίας στο WOBAN.

Το ασύρματο σύστημα είναι η δεύτερη επιλογή για τη λύση, η οποία δίνει έμφαση στον έλεγχο του κόστους. Ενώ για τη λύση που δίνει έμφαση στην απόδοση του δικτύου, το σύστημα 1:1 αποτελεί αντίστοιχα τη δεύτερη επιλογή. Το σύστημα 1:N πετυχαίνει τη

χειρότερη αξία του QOR καθώς αυξάνονται οι αναλογίες του splitter. Τα inter-domain συστήματα επιβιωσιμότητας, βελτιστοποιώντας την επιλογή των backup οπτικών μονάδων δικτύωσης και την εγκατάσταση των backup οπτικής ίνας συστημάτων, ξεπερνούν τη μέγιστη προστασία με το ελάχιστο κόστος συστήματος από την άποψη της QOR (Fu, He, Le, Wang, & Quan, 2013).



Εικ.16. Η 1:1 προστασία της δομής του PON

Η εικ.16 δείχνει την προτεινόμενη αρχιτεκτονική δικτύου, που υποστηρίζει $2 \times N$ ONUs. Σε κάθε ONU, δύο οπτικές οθόνες ισχύος ενσωματώνονται στις στρατηγικές θέσεις. Στη διαμόρφωση, το OLT και το splitter συνδέονται από μία οπτική ίνα-τροφοδότη, και με μία επιπλέον οπτική ίνα-τροφοδότη για προστασία. Κάθε δύο γειτονικά ONUs εκχωρούνται σε μία ομάδα. Δύο ONUs σε μια ομάδα συνδέονται με μία επιπλέον οπτική ίνα, έτσι ώστε όταν οι συνδέσεις από έναν ONU στο OLT αποτύχουν, η κυκλοφορία στους προβληματικούς συνδέσμους μπορεί να μεταφερθεί στο άλλο ONU μέσω της επιπλέον οπτικής ίνας. Επομένως, η συγκεκριμένη δομή προστασίας παρέχει 1:1 προστασία και στις δύο πλευρές των ONU και OLT. (Le, He, Zhuang, & Fu, 2012).

Αξιόπιστα FiWi δίκτυα πρόσβασης - Reliable FiWi Access Networks

Αυτή η προσέγγιση, ερευνά νέους τρόπους χρήσης εξαρτώμενων δικτύων πρόσβασης για να δώσει τη δυνατότητα ή να ενισχύσει την αξιοπιστία άλλων κρίσιμων υποδομών, της σημερινής κοινωνίας, κυρίως του έξυπνου δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, αναλύεται η λογική πίσω από το σχεδιασμό ενός δικτύου Uber-FiWi. Τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν μια από τις σημαντικότερες υποδομές ζωτικής σημασίας της σημερινής κοινωνίας.

Τα σημερινά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας με τις παλιές υποδομές γίνονται όλο και πιο αναξιόπιστα και δεν είναι κατάλληλα να ανταποκριθούν στις διακοπές παροχής ηλεκτρισμού. Ζωντανό παράδειγμα το τριήμερο blackout στις Ουάσιγκτον το 2012 εξαιτίας δέντρων που έπεσαν επάνω στις γραμμές ηλεκτρισμού. Ακόμη πιο πρόσφατα, παρατηρήθηκε μακροχρόνιο blackout στη Νέα Υόρκη και στο New Jersey, εξαιτίας του τυφώνα “Sandy”. Το όραμα των μελλοντικών έξυπνων δικτύων, είναι να βελτιωθεί η αξιοπιστία των υφιστάμενων δικτύων

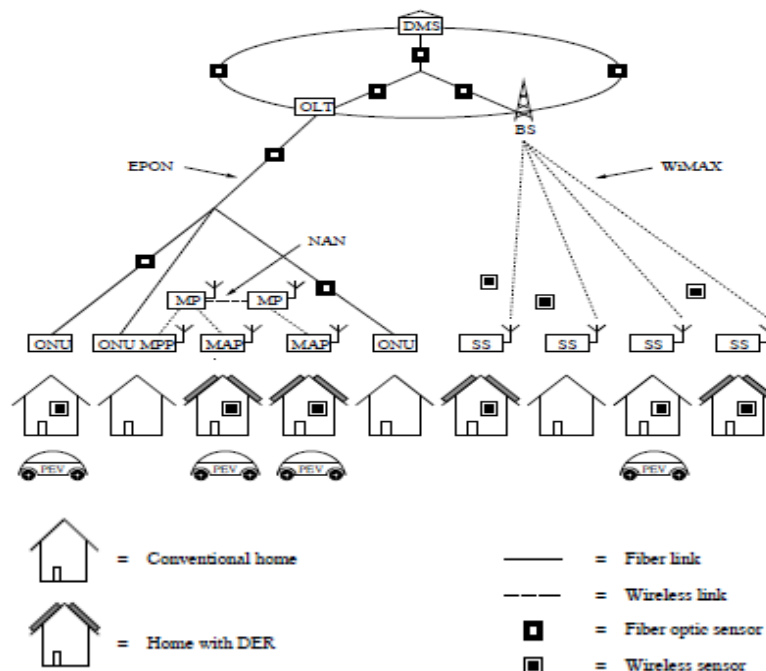
ηλεκτρικής ενέργειας και να προσφέρουν επιπλέον σημαντικά οφέλη. (Maier, Lévesque, & Ivanescu, 2012).

Το όραμα των έξυπνων δικτύων - Vision of Smart Grid

Το όραμα αυτό σχετίζεται με την υιοθέτηση εξελιγμένης ανίχνευσης, παρακολούθησης, ενημέρωσης και τεχνολογιών επικοινωνίας, για να παρέχουν καλύτερη απόδοση δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Προϋποθέτει τη συμμετοχή των πελατών και την υποστήριξη ενός ευρύ φάσματος πρόσθετων υπηρεσιών στους καταναλωτές.

Το έξυπνο δίκτυο θα συμβάλει στην αντιμετώπιση των αυξανόμενων ανησυχιών για τις κλιματικές αλλαγές και των εκπομπών αερίων διοξειδίου του άνθρακα με την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τον έλεγχο της κατανάλωσης ενέργειας πιο αποτελεσματικά, σύμφωνα με την οποία τα σπίτια θα διαδραματίσουν καιρίο ρόλο. Δεδομένου ότι στο μέλλον τα PEVs θα λειτουργούν κυρίως σε σπίτια, θα είναι η τοποθεσία του μεγαλύτερου αριθμού των καταναλωμένων συσκευών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, π.χ., ανεμογεννήτριες, ηλιακοί συλλέκτες, και κυψέλες καυσίμων. Το έξυπνο δίκτυο μετατρέπει το παραδοσιακό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, συντονίζοντας την αλληλεπίδραση μεταξύ των PEVs και των διανεμηθέντων ενεργειακών πόρων (DERs) στα σπίτια.

Στην εικ.17 απεικονίζονται, σπίτια συνδεδεμένα με έξυπνες επικοινωνιακές υποδομές δικτύων είτε μέσω του IEEE 802.3ah EPON με προαιρετικές αναβαθμίσεις WDM ή μέσω του IEEE 802.16 WiMAX. Σε ημιαστικές και αγροτικές περιοχές με μικρή πυκνότητα πληθυσμού, χρησιμοποιείται το WiMAX λόγω των χαμηλότερων λειτουργικών και κεφαλαιουχικών δαπανών του (λειτουργικά έξοδα) σε σχέση με το EPON. Επιπλέον, οι ερευνητές αναπτύσσουν ένα WLAN-based γειτονικής περιοχής πλέγμα δικτύου (NAN) βασισμένο σε υψηλό throughput επόμενης γενιάς IEEE 802.11n/ac WLAN και IEEE 802.11s WLAN τεχνολογίες. (Maier, 2011)



Εικ.17. Uber-FiWi αρχιτεκτονική δικτύου

Επίλογος

Η επιβιωσιμότητα αποτελεί ένα πολύ σημαντικό θέμα στα οπτικά δίκτυα. Έχει αποκτήσει μεγάλη σημασία, εξαιτίας των υψηλών ταχυτήτων και μετάδοσης της χωρητικότητας που παρέχονται από τα οπτικά δίκτυα. Αρκετή ερευνητική εργασία έχει γίνει στην επιβιωσιμότητα διαφορετικών τύπων δικτύων. Δύο είναι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την επιβιωσιμότητα, η προστασία και η αποκατάσταση. Κάθε μία από αυτές τις μεθόδους έχουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους όπως έχει συζητηθεί παραπάνω.

Τέλος, το πώς να ενισχυθεί η επιβιωσιμότητα των FiWi δικτύων, παίζει σημαντικό ρόλο στις μέρες μας. Είναι χρήσιμο για τα μελλοντικά δίκτυα ευρυζωνικής πρόσβασης, να παρέχουν αξιόπιστες και σταθερές υπηρεσίες. Με εκτεταμένα πειράματα, οι παραπάνω επιστήμονες, έχουν αποδείξει την αποδοτικότητα των μοντέλων τους. Ως εκ τούτου οι προτάσεις που αναφέρονται παραπάνω αποτελούν αποτελεσματικά και υποσχόμενα μοντέλα για βιώσιμα FiWi δίκτυα ευρυζωνικής πρόσβασης.

Βιβλιογραφία

- Aurzada F., L'evesque M., Maier M., & Reisslein M. (2013). FiWi Access Networks Based on Next-Generation PON and Gigabit-Class WLAN Technologies: A Capacity and Delay Analysis (Extended Version). Retrieved from: <http://arxiv.org/abs/1311.0902>
- Ghazisaidi N., & Maier M. (2011). Fiber-Wireless (FiWi) Access Networks: Challenges and Opportunities. *IEEE Network*, 25, 36-42. doi: 10.1109/MNET.2011.5687951
- Ghazisaidi N., Scheutzow M., & Maier M. (2011). Survivability Analysis of Next-Generation Passive Optical Networks and Fiber-Wireless Access Networks. *IEEE Transactions on Reliability*, 60, 479-484. doi: 10.1109/TR.2011.2134210
- Guo L., Liu Y., Wang F., Hou W., & Gong B. (2013). Cluster-Based Protection for Survivable Fiber-Wireless Access Networks, *Journal of optical communication and networking* 5, 1178-1194. doi: <http://dx.doi.org/10.1364/JOCN.5.001178>
- Fu M., He M., Le Z., Wang W., & Quan B. (2013). Performance evaluation of the survivability schemes in WOBAN: a quality of recovery (QoR) method. *Int. J. Commun. Syst.* doi: 10.1002/dac.2707
- Le Z, He M, Zhuang Y., Fu M. (2012). Quality of Recovery (QoR) Analysis for the ONU Protection in WOBAN. Retrieved from: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-32427-7_7#page-1
- Liu Y., Guo L., & Wei X. (2012). OBOF: A Protection Scheme for Survivable Fiber-Wireless Broadband Access Network. *Communication (ICC)*, 6225-6229. doi: 10.1109/ICC.2012.6364693
- Liu Y., Guo L., Gong B., Ma R., Gong X., Zhang L., & Yang J. (2013). Green survivability in Fiber-Wireless (FiWi) broadband access network. *Optical Fiber Technology*, 18, 68-80. doi:10.1016/j.yofte.2011.12.002
- Liu Y., Guo L., & Wei X. (2012). Optimizing Backup Optical-Network-Units Selection and Backup Fibers Deployment in Survivable Hybrid Wireless-Optical Broadband Access Networks. *Journal of Lightwave Technology*, 30, 1509-1523. doi: 10.1109/JLT.2012.2188498
- Liu Y., Guo L., Ma R., & Hou W. (2012). Auxiliary graph based protection for survivable Fiber-Wireless (FiWi) access network considering different levels of failures. *Optical Fiber Technology*, 18, 430-439. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.yofte.2012.06.008>
- Liu Y, Guo L, Zhang L. (2012). Optimizing Backup Resource Configuration in Survivable Fiber-Wireless Access Network Considering Failure Probability. *ACP*. doi: <http://dx.doi.org/10.1364/ACP.2012.AS1D.5>
- Liu Y., Song Q., Ma R., Li B., Gong B. (2013). Protection based on backup radios and backup fibers for survivable Fiber-Wireless (FiWi) access network. *Journal of Network and Computer Applications*, 36, 1057-1069. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2013.01.014>

- Maier M. (2011). Reliable Fiber-Wireless Access Networks: Less an End than a Means to an End. *Reliability, IEEE Transactions*, 60, 479-492. Retrieved from: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6529851>
- Maier M. (2011). Survivability Techniques for NG-PONs and FiWi Access Networks. *Communications (ICC)*, 6214-6219. doi: 10.1109/ICC.2012.6364982
- Maier M., Ghazisaidi N., & Reisslein M. (2009). The Audacity of Fiber-Wireless (FiWi) Networks. *ICST*, 16-35. Retrieved from: <http://mre.faculty.asu.edu/MaGR08.pdf>
- Maier M., & Ghazisaidi N. (2010). QoS Provisioning Techniques for Future Fiber-Wireless (FiWi) Access Networks. *Future Internet*, 2, 126-155. doi:10.3390/fi2020126
- Maier M., Lévesque M., & Ivanescu L. (2012). NG-PONs 1&2 and Beyond: The Dawn of the Über-FiWi Network. *Network IEEE*, 26, 15-21. Retrieved from: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6172270>
- Mohan N., Wason A., & Sandhu P. (2013). Trends in Survivability Techniques of Optical Networks. *International Journal of Computer Science and Electronics Engineering (IJCSEE)*, 1, 352-355. Retrieved from: <http://www.isaet.org/images/extraimages/P413305.pdf>
- Qiu Y., & Chan C. (2013). A novel survivable architecture for hybrid WDM/TDM passive optical networks. *Optics Communications*, 312, 52-56. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.optcom.2013.09.005>
- Ragheb A., & Fathallah H. (2011). Performance Analysis of Next Generation-PON (NG-PON) Architectures. *High Capacity Optical Networks and Enabling Technologies (HONET)*, 339-345 doi: 10.1109/HONET.2011.6149766
- Sun H., Shou G., Hu Y., & Guo Z. (2012). Survivability Analysis of Wireless Bypass-based Protection for Passive Optical Network. *Communication Technology*, 88-92. Retrieved from: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractKeywords.jsp?arnumber=6511194>
- Tsagklas T., & Pavlidou F. (2011). A Survey on Radio-and-Fiber FiWi Network Architectures. *Cyber Journals: Multidisciplinary Journals in Science and Technology, Journal of Selected Areas in Telecommunications (JSAT)*, 18-24. Retrieved from: <http://newton.ee.auth.gr/pavlidou/papers/J081.pdf>
- Win H., & Pathan A. (2013). On the Issues and Challenges of Fiber-Wireless (Fi-Wi) Networks. *Journal Engineering*, 1-11. doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/645745>

