

**Πανεπιστήμιο Μακεδονίας**  
**ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα**  
**Δίκτυα Υπολογιστών**  
**Καθηγητής: Α. Α. Οικονομίδης**

**University of Macedonia**  
**Master Information Systems**  
**Computer Networks**  
**Professor: A. A. Economides**

## **Το Internet σε “ τροχιά ” υλοποίησης**

### **Internet on track**



**Παρταλάς Σωκράτης**

**A.M. M 27/11**

**Θεσσαλονίκη**  
**Φεβρουάριος 2012**

**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>3</b>
<b>2. ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ.....</b>	<b>4</b>
<b>3. ΤΡΕΧΟΥΣΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΕΙΣ .....</b>	<b>6</b>
<b>4. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ .....</b>	<b>11</b>
<b>4.1 Επικοινωνία μέσω δορυφόρου .....</b>	<b>11</b>
<b>4.2 Επικοινωνία μέσω 3/3.5g .....</b>	<b>12</b>
<b>4.3 WiMax.....</b>	<b>12</b>
<b>4.4 Radio-over-Fiber .....</b>	<b>13</b>
<b>4.5 Leaky Coaxial Cable (LCX) .....</b>	<b>14</b>
<b>4.6 IEEE 802.11 .....</b>	<b>15</b>
<b>4.7 Trackside radio.....</b>	<b>15</b>
<b>5. ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ.....</b>	<b>16</b>
<b>6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>17</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>19</b>
<b>ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ .....</b>	<b>21</b>

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παρούσα εργασία έχει ως θέμα την παροχή πρόσβασης Internet στους επιβάτες των τρένων ταχείας κίνησης. Πιο συγκεκριμένα γίνεται αναφορά στις προκλήσεις που έχουν παρουσιαστεί με την εισχώρηση του Internet στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων, και την ολοένα αύξηση της ανάγκης των ανθρώπων να είναι συνεχώς συνδεδεμένοι στο Internet. Αυτή η εξέλιξη κινητοποίησε τις εταιρίες σιδηροδρομικών γραμμών , οι οποίες , παρά τις προκλήσεις και τις αντιξοότητες που συνάντησαν, κατάφεραν να υλοποιήσουν στις αμαξοστοιχίες ταχείας κυκλοφορίας τους, τεχνολογίες που επιτρέπουν την σύνδεση των επιβατών τους στο Internet κατά την διάρκεια του ταξιδιού τους. Αυτές οι τεχνολογίες πρόσβασης παρουσιάζονται στην εργασία αυτή, αναλύονται και συγκρίνονται μεταξύ τους .

## **ABSTRACT**

This paper has as a subject providing Internet access to the high speed trains passengers. Specifically has references in the challenges that have been presented from the “intrusion” of the Internet in the daily life of the people, and the increasing need of them for being constantly on line. This progress moved the train operators, who , despite the challenges and the difficulties that confronted , they managed to implement in the trains, technologies that allow the connection of their passengers on line during their trip. These access technologies are presented in this paper, are analysed and are compared between them.

## **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Το Internet είναι σχεδόν παντού. Η διείσδυση των κινητών συσκευών στην καθημερινότητα, υιοθετεί νέες εφαρμογές για ασύρματα δίκτυα, που έχει ως αποτέλεσμα την συνεχή σύνδεση σε αυτά, συμπεριλαμβανομένου και μέσα στα μέσα μαζικής μεταφοράς (M.M.M.). Σύμφωνα με εκτίμηση του Οργανισμού Διεθνών Δεδομένων (International Data Corporation IDC) [Drake et al. ,2010], το εργατικό δυναμικό σε πολλές περιοχές του κόσμου δίνει μεγάλη σημασία στην φορητότητα κατά την ώρα της εργασίας τους.

Μέχρι πρόσφατα στα M.M.M. , και συγκεκριμένα στα τρένα και στα αεροπλάνα, ήταν χώροι όπου οι επιβάτες δεν μπορούσαν να επιτύχουν μεγάλες ταχύτητες στο Internet. Αυτή η εργασία επικεντρώνεται συγκεκριμένα στο δίκτυο παροχής Internet στα τρένα , μιας και καθημερινά όλο και περισσότεροι άνθρωποι δουλεύουν σε απευθείας σύνδεση (on line) ενώ ταξιδεύουν ή κινούνται.

Αρκετές λύσεις έχουν ήδη προταθεί για την παροχή συνεχής σύνδεσης στους επιβάτες υπέρ-ταχείων τρένου. Οι περισσότερες από αυτές τις λύσεις βασίζονται σε ένα συνδυασμό ασύρματων τεχνολογιών όπως δορυφόροι , 3G , WiMax [Wilson ,2005] και WiFi δίκτυα. Μερικές από αυτές τις τεχνολογίες εφαρμόστηκαν, και σήμερα είναι διαθέσιμες σε μερικά σημεία της Ευρώπης όπως στην Βρετανία , όπου τον Ιούλιο του 2004 η εταιρία GNER1 ξεκίνησε να προσφέρει στους επιβάτες μερικών αμαξοστοιχιών της, σύνδεση στο Internet [BBC News, 2004].

Και ενώ υπήρχαν λύσεις που ήταν λειτουργικές σε αρκετές γραμμές τρένων σε όλο τον κόσμο, το εύρος ζώνης (bandwidth)τους ήταν περιορισμένο , εξαιτίας της περιορισμένης χωρητικότητας που παρείχαν οι συνδέσεις μέσω δορυφόρου ή δικτύου 3G , οι οποίες ήταν και ακριβές , αλλά και την ευαισθησία των δορυφόρων στις μεταβολές του καιρού. Γι' αυτό

και η παρεχόμενη ποιότητα της υπηρεσίας δεν μπορούσε να διατηρηθεί σε υψηλά επίπεδα όλη την ώρα .

Οπότε , ο σκοπός αυτής της εργασίας θα είναι η αναζήτηση και η σύγκριση εφαρμογών που θα έχουν ως στόχο να καταστήσουν δυνατή , την παροχή Internet στα τρένα

## **2. ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ**

Η παροχή Internet στους επιβάτες των τρένων αποτελεί μια πρόκληση καθώς , για να υλοποιηθεί αυτή η ιδέα θα πρέπει να ξεπεραστούν αρκετά προβλήματα που δημιουργούνται τόσο από την κατασκευή του ίδιου του τρένου , όσο και από τις ταχύτητες που αναπτύσσει.

Πιο συγκεκριμένα, τα βασικά προβλήματα που δημιουργούνται είναι τα εξής :

- Τα βαγόνια με την κατασκευή τους μπορούν στην απώλεια του σήματος στα ασύρματα δίκτυα [Lannoo *et al.*,2007]
- Είναι περιβάλλον με πολλούς κραδασμούς γεγονός που απαιτεί την μηχανική απομόνωση των συσκευών επικοινωνίας
- Σε μερικά σημεία του τρένου αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες που μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα
- Αποτελεί ένα ηλεκτρικό περιβάλλον που μπορεί να εμποδίσει την μετάδοση του σήματος καθώς είτε υπάρχουν ισχυρά μαγνητικά πεδία (σε συγκεκριμένο τύπο τρένων ) είτε τα τρένα βρίσκονται κοντά σε υψηλές τάσεις (ηλεκτρικά τρένα).
- Υπάρχει ανάγκη για την ύπαρξη εξοπλισμού για ασύρματο δίκτυο με όσο το δυνατόν μικρότερη ανάγκη για συντήρηση. [Beeby , 2006]
- Θα πρέπει να υπάρχει η πρόβλεψη από το δίκτυο επικοινωνιών για τον αριθμό των βαγονιών , καθώς οι σιδηροδρομικές εταιρίες συνεχώς προσθέτουν ή αφαιρούν βαγόνια

➤ Δεν θα πρέπει να παραληφθεί η περίπτωση εισόδου των τρένων σε τούνελ , η οποία θα προκαλέσει πρόβλημα στο ασύρματο δίκτυο καθώς και οι αλλαγές στις συνδέσεις των ραγών του σιδηροδρομικού δικτύου , οι οποίες πιθανόν να προκαλέσουν και αυτές προβλήματα στην επικοινωνία [Laplante & Woolsey, 2003].

➤ Η συχνή αλλαγή (handoffs) στις κυψέλες του ασύρματου δικτύου μπορεί να προκαλέσει απώλεια πακέτων και επαναποστολή πακέτων [De Greve et al., 2005].

➤ Η κίνηση του τρένου περιπλέκει την ποιότητα παροχής της υπηρεσίας (του Internet) εξαιτίας των διαφορετικών ροών κυκλοφορίας των τρένων [Jeney et al. , 2005]

Όλα τα παραπάνω προβλήματα υποδεικνύουν τα 2 κυρίως θέματα με τα οποία πρέπει να ασχοληθούν οι ειδικοί ώστε να γίνει πιθανή η ύπαρξη Internet στα τρένα και αυτά είναι :

- η παροχή (handover) σε όλους τους επιβάτες των τρένων , Internet σε υψηλές ταχύτητες
- η δημιουργία ενός δικτύου που θα παρέχει την δυνατότητα συνεχής σύνδεσης στο Internet

Εάν τα παραπάνω προβλήματα επιλυθούν , τότε θα εμφανιστούν σημαντικές ευκαιρίες διαθέσιμες για την παροχή Internet στα τρένα , εφόσον αυτή η παροχή της τεχνολογίας μπορεί να πραγματοποιηθεί απλά , συνεχόμενα , χωρίς την χρήση κάποιου συγκεκριμένου λογισμικού, και ωφέλιμα , δηλαδή αποδεκτή απόδοση και καθυστέρηση με λίγες διακοπές [Beeby , 2007].

Λύσεις στα παραπάνω προβλήματα μπορούν να δοθούν με την χρήση τεχνολογιών επικοινωνίας τέταρτης γενιάς (4G) , όπως οι : WiMax , IEEE 802.16m και LTE [“Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN),” , 2009] οι οποίες τεχνολογίες θα παρουσιαστούν παρακάτω αναλυτικότερα.

Ήδη οι επιβάτες των τρένων μπορούν να έχουν πρόσβαση στο Internet στους σταθμούς των τρένων διαμέσου δομής κυψελών χωρίς μεγάλες τροποποιήσεις , μόνο με την ύπαρξη μιας κεραίας έξω από το τρένο. Η πρόσβαση αυτή πραγματοποιείται είτε με την χρήση κινητών τηλεφώνων είτε φορητών υπολογιστών που έχουν δυνατότητες multiband και WiFi .

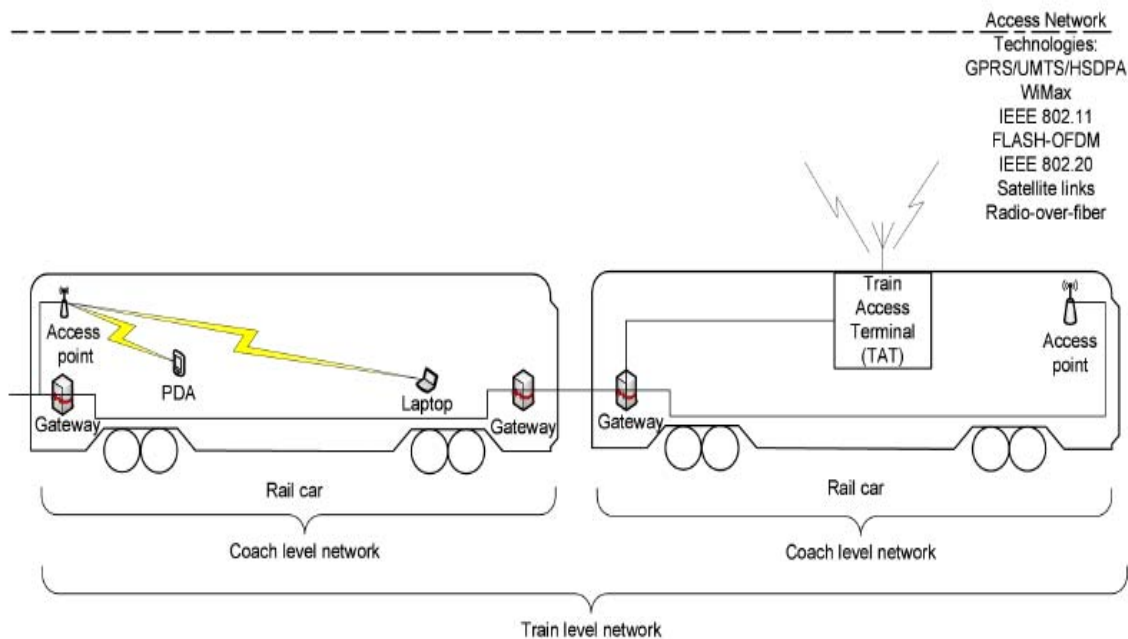
### **3. ΤΡΕΧΟΥΣΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΕΙΣ**

Όπως έχει επισημανθεί από [Fokum & Frost , 2010], όλες οι λύσεις, για την παροχή σύνδεσης Internet στους επιβάτες τρένων, χρησιμοποιούν ένα τερματικό πρόσβασης (access terminal). Συνήθως υπάρχει ένα σημείο εκπομπής του σήματος (hot spot) σε κάθε βαγόνι [Bianchi et al. ,2003], και αποκτούν πρόσβαση σε εξωτερικά δίκτυα διαμέσου ενός τερματικού πρόσβασης. Ένας συνδυασμός από διάφορες τεχνολογίες δικτύων είναι ενσωματωμένες σε αυτό το τερματικό. Κάθε τεχνολογία χρησιμοποιείται ώστε να υπάρχει πρόσβαση κάθε φορά σε ένα δίκτυο υποδομής.

Στην Εικόνα 1 φαίνεται μια αρχιτεκτονική, για τα δίκτυα υπολογιστών που βρίσκονται πάνω στο τρένο, με σκοπό την παροχή πρόσβασης στο Internet. Αυτή η αρχιτεκτονική χρησιμοποιεί πύλες σε κάθε βαγόνι ώστε να δημιουργήσει ένα επίπεδο δικτύου στο τρένο. Η πρόσβαση σε ευρυζωνικό internet (Broadband Internet) πάνω στο τρένο , παρέχεται από τερματικό πρόσβασης του τρένου (Train Access Terminal ,TAT). Αυτό το τερματικό ,που μπορεί να υποστηρίξει μια ή πολλές διαφορετικού τύπου τεχνολογίες , συνδέεται στο δίκτυο πρόσβασης χρησιμοποιώντας μια κεραία που είναι τοποθετημένη στο εξωτερικό ενός βαγονιού. Το εισερχόμενο σήμα από το τερματικό πρόσβασης του τρένου , μεταφέρεται σε όλες τις πύλες και όλα τα ασύρματα σημεία πρόσβασης σε όλα τα βαγόνι του τρένου. Σε κάθε βαγόνι το IEEE 802.11 [“Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications” , 2007] είναι συνήθως προτεινόμενο , ώστε να παρέχει

συνδεσιμότητα στους επιβάτες, ωστόσο οι επιβάτες μπορούν να συνδεθούν και ενσύρματα μέσα στο βαγόνι , εάν φυσικά παρέχεται αυτή η υπηρεσία. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης της παραπάνω τεχνολογίας είναι τα εξής :

- Το δίκτυο κυψελών (cellular network system) δεν τίθεται υπό πίεση να κάνει μεταβιβάσεις (handoffs) από δίκτυο σε δίκτυο κατά την μετακίνηση του τρένου, για πολλούς χρήστες ταυτόχρονα [Pareit et al. , 2007].
- Το τερματικό πρόσβασης του τρένου, μπορεί να συνδυάσει διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης. Επιπλέον, το τερματικό πρόσβασης του τρένου (TAT) έχει την “ικανότητα” να επιλέξει τα καλύτερα μέσα επικοινωνίας μεταξύ του τρένου και του δικτύου πρόσβασης



**Εικόνα 1:** Αρχιτεκτονική Σύνδεσης στο Internet μεταξύ βαγονιών

Η Εικόνα 2 δείχνει την σύνδεση ενός τρένου με το Internet χρησιμοποιώντας αρχιτεκτονική των 3 επιπέδων. Τα τρία αυτά επίπεδα περιλαμβάνουν τα εξής δίκτυα:

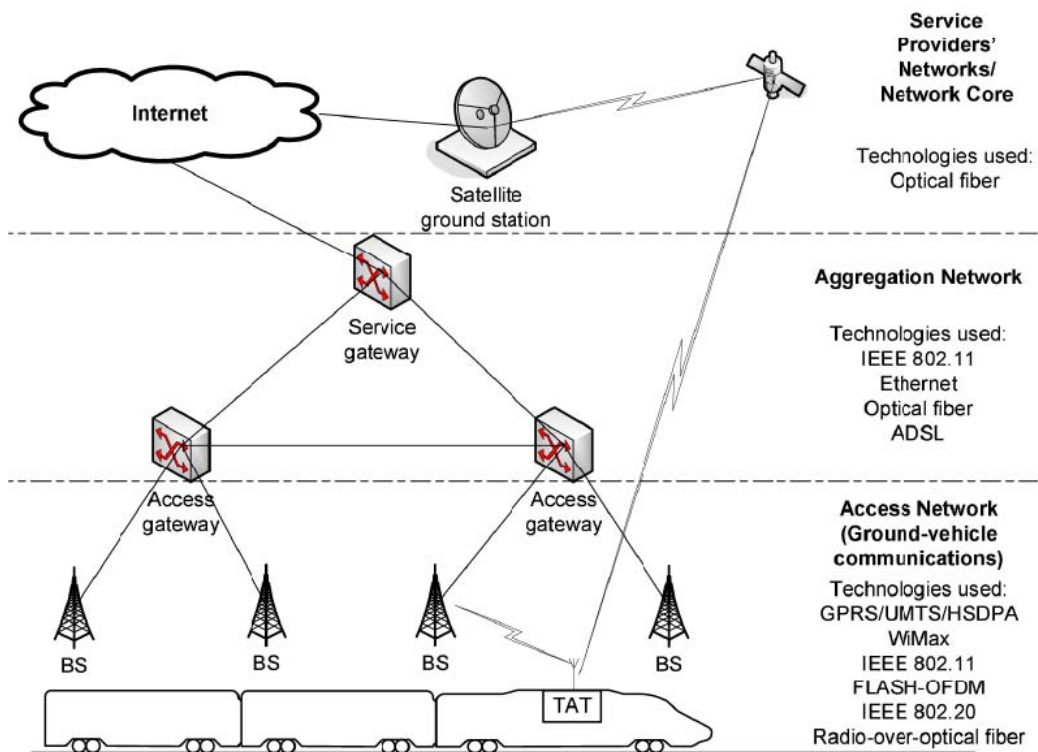
- Δίκτυο πρόσβασης (access network)



- Δίκτυο συγκέντρωσης (aggregation network)
- Δίκτυο παρόχου υπηρεσιών (service providers’ network)

Το δίκτυο πρόσβασης είναι στις ράγες του τρένου και παρέχει την τελευταίο βήμα επικοινωνίας (last hop) για το τερματικό πρόσβασης του τρένου. Είναι ένα ασύρματο δίκτυο με σταθμούς-βάσεις σε όλο το σιδηροδρομικό δίκτυο. Μπορεί να χρησιμοποιήσει τεχνολογίες είτε GPRS [Judge , 2005] [Conti , 2005], UMTS/HSDPA [Sauter , 2007], WiMax [Wilson , 2005], [Judge , 2005], Wi-Fi [Hempel et al. , 2006], FLASH-OFDM [Echensperger , 2007], είτε δορυφορικές συνδέσεις [Conti , 2005], IEEE 802.20 [Zoo et al. , 2004], είτε radio-over-fiber [Lannoo et al. , 2007].

Το δίκτυο συγκέντρωσης βρίσκεται ανάμεσα στο δίκτυο πρόσβασης και σε αυτό του παρόχου υπηρεσιών και συγκεντρώνει κ προωθεί τα δεδομένα στον παγκόσμιο ιστό. Η πύλη πρόσβασης σε αυτή την αρχιτεκτονική , συνδυάζει τα δεδομένα από ένα σύνολο χρηστών μέσα σε ένα τούνελ και τα προωθεί στην πύλη υπηρεσιών. Η πύλη υπηρεσιών εξυπηρετεί ως διεπαφή (interface) μεταξύ των δικτύων συγκέντρωσης κ παρόχου υπηρεσιών. Οι τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προώθηση των δεδομένων είναι : είτε IEEE 802.11 [De Greve et al. , 2006], Ethernet [De Greve et al. , 2005], ADSL [Conti , 2005], είτε οπτικές ίνες [Nomad Digital , 2008].



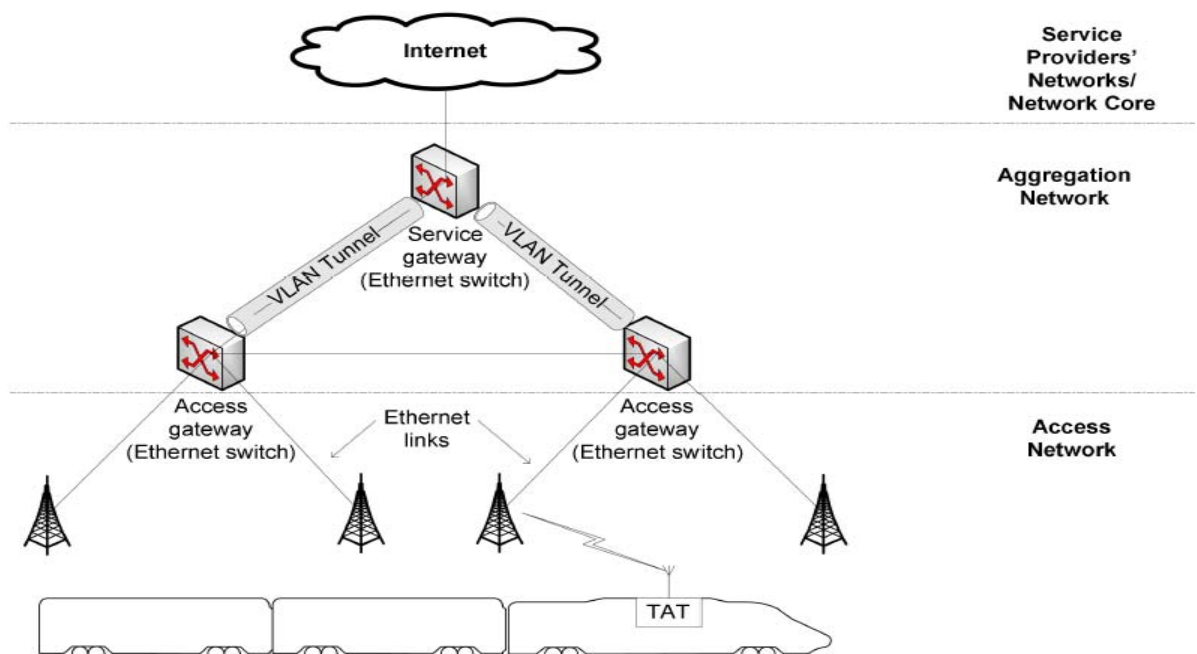
Εικόνα 2: Αρχιτεκτονική για πρόσβαση στο Internet στα τρένα

Μια άλλη αρχιτεκτονική που υποστηρίζει το ευρυζωνικό ασύρματο Internet , είναι αυτή του FAMOUS (FAst MOving USers ) η οποία συνοψίζεται στην Εικόνα 3 . Οι χρήστες , στην παρούσα αρχιτεκτονική, δεν συνδέονται απευθείας στους βασικούς σταθμούς του δικτύου, αντιθέτως, ολόκληρο το τρένο έχει μόνο μια σύνδεση στο δίκτυο πρόσβασης. Αυτή η σύνδεση έπειτα μοιράζεται ανάμεσα σε όλους τους χρήστες του τρένου. Η αρχιτεκτονική FAMOUS θέτει ως δεδομένο ότι η συνεχής σύνδεση στο Internet δεν είναι εγγυημένη για τους χρήστες σε γρήγορα κινούμενα οχήματα, αντιθέτως , μεταπηδούν από μια πύλη εισόδου(access gateway ACW) στην επόμενη[“Rapidly Recovering Ethernet Networks for Delivering Broadband Services on the Train,” , 2005]. Μέσα στο επίπεδο δικτύου συγκέντρωσης (aggregation network) VLANs χρησιμοποιούνται ώστε να ομαδοποιήσουν τους διάφορους βασικούς σταθμούς ενός δικτύου πρόσβασης που θα ικανοποιούν τις δοσμένες ανάγκες κίνησης ενός τρένου[De Greve et al. ,2005]. Ένα άλλο στοιχείο αυτής της

αρχιτεκτονικής είναι η πύλη υπηρεσίας , όπου γίνονται συνδέσεις μεταξύ των παρόχων και του δικτύου συγκέντρωσης.

Η αρχιτεκτονική FAMOUS χρησιμοποιείται στο [Van Quickenbrne et al. , 2006] ώστε να δείξει ότι το ιεραρχικά καλωδιωμένο Ethernet δίκτυο συγκέντρωσης, σε συνδυασμό με δίκτυα ασύρματης πρόσβασης, τεχνολογίας Ethernet, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή ευρυζωνικού Internet σε χρήστες που βρίσκονται σε γρήγορα κινούμενα τρένα. Αυτό ,μπορεί να πραγματοποιηθεί με την χρήση δυναμικών τούνελ (dynamic tunnels). Επιπλέον, η αρχιτεκτονική εξαπλώνεται στο [De Greve et al. , 2006] και [De Greve et al. , 2006] ώστε να υποστηρίξει την υπόθεση όπου αρκετοί κόμβοι φύλλα (leaf nodes) , τα τρένα δηλαδή, απαιτούν συνδεσιμότητα με μειωμένο σύνολο υπηρεσίας πυλών διαμέσου ενός ασύρματου δικτύου.

Τα κριτήρια επιλογής μιας συγκεκριμένης τεχνολογίας δικτύου ανάμεσα στις διαθέσιμες είναι η ποιότητα της σύνδεσης (δύναμη του σήματος), η καθυστέρηση , η απόδοση και το κόστος. Το σημείο διαφοράς μεταξύ των λύσεων βρίσκεται στις διαφορετικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στο τερματικό πρόσβασης καθώς και στον τρόπο που τις συνδέει, ώστε να παρέχει μια συνεχή σύνδεση.



**Εικόνα 3:** Αρχιτεκτονική FAMOUS για την παροχή πρόσβασης σε ευρυζωνικό Internet στα τρένα

## 4. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

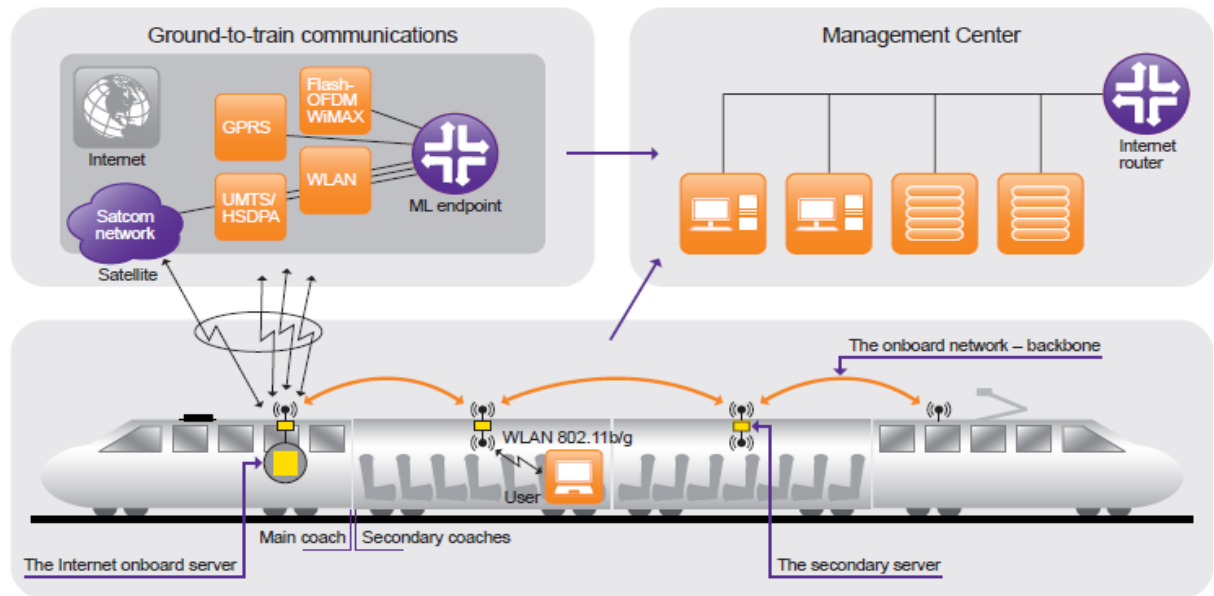
Με την εξέλιξη της τεχνολογίας , έχουν αναπτυχθεί όλο και περισσότερες επιλογές για την παροχή ευρυζωνικού Internet σε χρήστες που βρίσκονται σε γρήγορα κινούμενα οχήματα.

Παρακάτω θα αναπτυχθούν οι τεχνολογίες που εξασφαλίζουν την επικοινωνία διαμέσου

- Δορυφόρου (satellite+gap filler )
- 3/3.5 G
- WiMax
- Radio-over-Fiber
- Leaky Coaxial Cable
- IEEE 802.11
- Tracksid radio

### 4.1 Επικοινωνία μέσω δορυφόρου

Σε αυτή την περίπτωση, ο δορυφόρος χρησιμοποιείται ως κύριος σύνδεσμος με εξωτερικά δίκτυα π.χ. το Internet. Όταν ο δορυφόρος μπλοκαριστεί (για παράδειγμα σε τούνελ) το τερματικό πρόσβασης αλλάζει σε δίκτυο επίγειο (gap filler) το οποίο ουσιαστικά συμπληρώνει την λειτουργία του δορυφόρου, ώστε να συνεχίζει να υπάρχει η σύνδεση με τα εξωτερικά δίκτυα. Αυτή η λύση έχει μελετηθεί σε πολλά projects και υιοθετήθηκε και από την βιομηχανία, όπου και αναπτύχθηκε σε τρένα όπως το TGV στην Γαλλία και το Thalys. Στο TGV χρησιμοποιείται δορυφόρος ως κύριο σύνδεσμο και WiFi με 3G ως gap filler ενώ στο Thalys χρησιμοποιείται μόνο το 3g ως gap filler (Εικόνα 4).



Εικόνα 4 : Παροχή πρόσβασης Internet στο Thalys (THALYS PHOTO,2007)

## 4.2 Επικοινωνία μέσω 3/3.5g

Αυτή η τεχνολογία βασίζεται στην χρήση διαφόρων επίγειων δικτύων ώστε να πραγματοποιηθεί η σύνδεση με εξωτερικά δίκτυα . Ονομάζονται επίγεια δίκτυα οποιαδήποτε 3/3.5 G δίκτυα αναπτύσσονται στην στεριά. Το τερματικό πρόσβασης ενώνει διάφορους συνδέσμους διαφορετικών εταιριών κινητής τηλεφωνίας ώστε να ισορροπήσει την κίνηση που υπάρχει σε αυτές. Δηλαδή, το τερματικό πρόσβασης μπορεί να αντιμετωπίσει την έλλειψη κάλυψης δικτύου του ενός παρόχου κινητής τηλεφωνίας με την βοήθεια ενός άλλου παρόχου που έχει καλύτερη κάλυψη. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει κανένα δίκτυο διαθέσιμο, ένα δίκτυο συμπλήρωσης (gap filler) όπως το Wimax (θα αναλυθεί παρακάτω) μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Τρένα στα οποία έχει εφαρμοστεί αυτή η τεχνολογία είναι το Amtrak στις Η.Π.Α και το GNER και Virgin στην Βρετανία.

## 4.3 WiMax

Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική έχει ήδη χρησιμοποιηθεί σε τρένο, όπως έχει αναφερθεί ήδη , για την παροχή ασύρματου Internet κατά την διάρκεια ταξιδιού με τρένο. Το Wimax

(Worldwide Intoperability for Microware Access) είναι μια τεχνολογία επικοινωνίας για την παροχή υπηρεσιών γρήγορου ασύρματου Internet σε περιοχές που εκτείνονται σε μεγάλη γεωγραφική έκταση. Η ταχύτητα που πρόσφερε αρχικά το 2005 ήταν μέχρι και 4 Mbit/s ενώ το 2011 έχει αγγίξει το 1 Gbit/s για τους σταθμούς των τρένων. Μπορεί να καλύψει την έκταση ενός τοπικού δικτύου (LAN) φτάνοντας σε ακτίνα μέχρι και τα 50 Km. Ανήκει στην 4<sup>η</sup> γενιά τεχνολογίας ασύρματης επικοινωνίας (4G)

Υπάρχει αναφορά ,[Aguado *et al.* , 2008] ,που δηλώνει ότι το wimax μπορεί να υποστηρίξει την σύνδεση στο Internet κατά την διάρκεια κίνησης μέχρι και ταχύτητες που αγγίζουν τα 500 km/h .Επιπλέον , παρέχει την υποστήριξη της ποιότητας υπηρεσίας (QoS).

Επίσης άλλη μελέτη([Chow *et al.* 2009]) έχει δείξει ότι το Wimax μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους σταθμούς και από εκεί, με ένα σύστημα διανομής του σήματος ,με την χρήση κεραίας ,(distributed antenna system DAS) θα διανέμεται το σήμα στους χρήστες . Έτσι μπορεί να καλυφθεί μεγάλη έκταση και με λιγότερες παρεμβολές.

#### **4.4 Radio-over-Fiber**

Είναι τεχνολογία όπου το φως διαμορφώνεται από ένα ραδιοσήμα , και μεταδίδεται μέσω ενός συνδέσμου οπτικής ίνας ώστε να διευκολύνει την ασύρματη πρόσβαση. Αυτά τα ασύρματα σήματα μεταδίδονται σε οπτική μορφή μεταξύ ενός κεντρικού σταθμού και ενός συνόλου σταθμών βάσης (base station) πριν γίνει ραδιοσήμα και μεταφερθεί μέσω αέρος. Κάθε σταθμός βάσης είναι προσαρμοσμένος στην επικοινωνία, μέσω ενός συνδέσμου ραδιοσυχνότητας , με τουλάχιστο ένα χρήστη ενός σταθμού-βαγονιού που βρίσκεται σε κίνηση (mobile station), ο οποίος θα βρίσκεται μέσα στο πεδίο συχνότητας του συγκεκριμένου σταθμού βάσης.

Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα όπως η μικρή αποδυνάμωση του σήματος(low attenuation) καθώς το μέσο μετάδοσης είναι η οπτική ίνα, η

απλότητα της αρχιτεκτονικής (low complexity), το χαμηλό κόστος καθώς και το γεγονός ότι η οπτική ίνα επιτρέπει την ανάπτυξη μεγάλων ταχυτήτων που θα είναι δυνατόν να υλοποιηθούν στο μέλλον .

Τα παραπάνω πλεονεκτήματα θέλησε να εκμεταλλευτεί μελέτη ( [Lannoo *et al.* ,2007] ) όπου προτείνεται η χρήση τεχνολογίας Radio-over-Fiber ώστε να πραγματοποιηθεί η παροχή γρήγορου internet σε χρήστες τρένων. Πιο συγκεκριμένα , η τεχνολογία αυτή , σύμφωνα με την μελέτη , θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε σταθμό βάση κατά μήκος της τροχιάς του τρένου, όπου θα δημιουργηθεί ένα δίκτυο με την χρήση κεραίας ως διανομέα σήματος(remote antenna units RAU). Αυτές οι κεραίες θα εποπτεύονται από έναν σταθμό ελέγχου μέσω ενός δικτύου τοπολογίας δακτυλίου (optical ring network) . Για την επικοινωνία από το δίκτυο πρόσβασης στο τρένο, τα δεδομένα θα διαμορφώνονται στον σταθμό ελέγχου και θα στέλνονται μέσω του δικτύου οπτικών ινών σε κάθε κεραία χρησιμοποιώντας μεθόδους πολυπλεξίας ή διαχωρισμού του μήκους κύματος. Για την επικοινωνία από το τρένο στο δίκτυο πρόσβασης , τα δεδομένα θα κρατούνται από την κεραία που βρίσκεται εκείνη την δεδομένη στιγμή πιο κοντά στο τρένο , και έπειτα θα στέλνονται στο δίκτυο πρόσβασης. Στην εικόνα 4 παρουσιάζεται η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική

#### **4.5 Leaky Coaxial Cable (LCX)**

Η αρχιτεκτονική αυτή ονομάστηκε έτσι από το γεγονός ότι αναφέρεται σε ομοαξονικά καλώδια (coaxial cable) στα οποία έχει γίνει μια μικρή σχισμή στο προστατευτικό κάλυμμα ώστε τα ραδιοκύματα να μπορούν να “διαρρέουν” . Υποστηρίζεται ότι ([Ishizu *et al.*,2007] ) η συγκεκριμένη τεχνολογία θα μπορεί να προσφέρει στους επιβάτες των τρένων νέες υπηρεσίες δεδομένων, όπως το internet, με την χρήση μιας νέας συχνότητας μέσα στο LCX .

#### 4.6 IEEE 802.11

Αποτελεί ένα σύνολο από πρωτόκολλα IEEE τα οποία αναφέρονται στις μεθόδους εκπομπής ασύρματων δικτύων. Σήμερα χρησιμοποιούνται ευρέως, και κυρίως οι εκδόσεις 802.11 a, 802.11 b, 802.11 g και 802.11 n. ώστε να παρέχουν ασύρματη σύνδεση σε διάφορους χώρους. Σύμφωνα με μελέτη, [Bianchi *et al.*, 2003], ένας από αυτούς τους χώρους θα μπορούσε να είναι και το τρένο, όπου το τρένο συνδέεται στο Internet μέσω ενός “εξυπηρετητή τρένου” χρησιμοποιώντας δορυφορικούς συνδέσμους. Ο εξυπηρετητής του τρένου πραγματοποιεί την αντίστοιχη δουλειά που κάνει το τερματικό πρόσβασης στην εικόνα 1. Έξω από το τρένο, το IEEE 802.11 χρησιμοποιείται:

- για να συνδέσει όλα τα βαγόνια σε ένα δίκτυο υπολογιστών
- για να παρέχει πρόσβαση στο Internet στους επιβάτες
- για να συνδέει το τρένο στο Internet όταν οι σύνδεσμοι του δορυφόρου δεν συμφέρουν οικονομικά.

#### 4.7 Trackside radio

Είναι τεχνολογία που περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός δικτύου υποδομής (infrastructure network) πλάι στην γραμμή του τρένου που θα παρέχει την συνδεσιμότητα στο τερματικό σύνδεσης. Αυτή η συνδεσιμότητα επιτυγχάνεται με την χρήση μικρού δικτύου κάλυψης ραδιοκυψελών (radio cells)

Από όλες τις παραπάνω τεχνολογίες που προτείνονται ως λύσεις για την παροχή πρόσβασης Internet στους επιβάτες των τρένων, συγκεντρώνονται αυτές που έχουν υλοποιηθεί σε τρένα στον Πίνακα 1. [Maureira, 2011] Μαζί με τα τρένα και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιεί το καθένα, αναγράφονται και οι αποδόσεις τους (throughput), σε ταχύτητα, καθώς και οι καθυστερήσεις τους (latency), στην μονάδα του χρόνου.



Υπηρεσία	Τύπος	Τεχνολογία	Επίδοση
TGV	1	Sat + WiFi + HSPA	2 Mbps/512 Kbps 600-800 ms
Thalys	1	Sat + HSPA	2 Mbps/512 Kbps ?
GNER	1	Sat + HSPA	4 Mbps/1 Mbps 600 / 30-70 ms
Amtrak	2	HSPA	7 Mbps/3 Mbps 30-70 ms
Virgin	2	WiMax + ADSL	2 Mbps 30-70 ms

Τύπος : 1 – Satellite + gap-filler. 2 – 3/3.5G.

? : Δεν υπάρχει κάποια πληροφόρηση

Επίδοση: Αποδόση και καθυστέρηση σύμφωνα με πληροφόρηση από τις εταιρίες

**Πίνακας 1 :** Σύνοψη των τρένων που παρέχουν πρόσβαση στο Internet

## 5. ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

Σύμφωνα με δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε τρένα , όπου χρησιμοποιούνται τεχνολογίες πρόσβασης στο Internet [Fokum & Frost ,2010] , οι μελετητές οδηγήθηκαν σε κάποια αποτελέσματα , τα οποία και παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Οι μεταβλητές που συγκρίθηκαν αφορούσαν τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που επιτυγχάνει η κάθε τεχνολογία καθώς και την μεταπομπή της συχνότητας (handoff frequency). Είναι αυτονόητο πως, όσο πιο υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων παρέχει η αρχιτεκτονική , τόσο καλύτερο για τον χρήστη . Επίσης και η υψηλή μεταπομπή είναι προς όφελος του χρήστη , καθώς κατά την εναλλαγή δικτύων στην διάρκεια της πορείας του τρένου , όσο πιο υψηλή είναι η μεταπομπή συχνότητας , τόσο λιγότερο χρόνο μένει ο χρήστης εκτός σύνδεσης στο δίκτυο.

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ	ΡΥΘΜΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΜΕΤΑΠΟΜΠΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ
IEEE 802.11	Up to 54 Mbps	ΥΨΗΛΗ
WiMax	Up to 42 Mbps	ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΓΙΝΕΙ ΣΧΕΤΙΚΑ ΥΨΗΛΗ
GPRS	Up to 171 kbps	ΥΨΗΛΗ
UMTS (HSDPA)	Up to 2 Mbps	ΥΨΗΛΗ
FLASH-OFDM	Up to 1.5 Mbps	ΥΨΗΛΗ
Satellite	512 kbps (upload), 2 Mbps (download)	ΧΑΜΗΛΗ
Leaky coaxial cable	Up to 768 kbps	ΥΨΗΛΗ
Radio-over-fiber	ΑΓΝΩΣΤΟΣ ΑΛΛΑ ΘΑ ΕΙΝΑΙ ΥΨΗΛΟΣ	ΥΨΗΛΗ
IEEE 802.20	ΘΑ ΕΙΝΑΙ ΥΨΗΛΟΣ	ΥΨΗΛΗ

**Πίνακας 2 :** Κατάταξη των τεχνολογιών πρόσβασης

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω , παρατηρείται ότι , ενώ υπήρχαν αρκετές προκλήσεις, τις οποίες οι επιστήμονες έπρεπε να λάβουν υπόψη , κατάφεραν να αναπτύξουν κάποιες τεχνολογίες οι οποίες κατέστησαν εφικτή την σύνδεση των επιβατών ενός γρήγορου τρένου στο Internet. Αυτές οι τεχνολογίες υλοποιήθηκαν, με αποτέλεσμα ήδη σε κάποια τρένα , τα οποία παρουσιάστηκαν , οι επιβάτες τους να έχουν την δυνατότητα της άμεσης σύνδεσης τους στο Internet. Τα συμπεράσματα από την ανάπτυξη αυτών των μεθόδων που οδήγησαν στην παροχή internet στα τρένα είναι τα εξής :

- Στις περισσότερες τεχνικές υλοποίησης χρησιμοποιείται ένα μονό τερματικό πρόσβασης ανά τρένο, το οποίο μοιράζεται σε όλους τους επιβάτες του τρένου. Τέτοια αρχιτεκτονική μειώνει το handover των συνδέσεων των επιβατών .

➤ Το μονό τερματικό πρόσβασης λειτουργεί καλύτερα όταν συνδυάζονται ένα σύνολο από ασύρματες τεχνολογίες , αντί να βασίζεται σε μια μόνο τεχνολογία. Δηλαδή , μια τεχνολογία χρησιμοποιείται για να παρέχει την συνδεσιμότητα, και όταν αυτή χαθεί , συμπληρώνεται από μια δεύτερη τεχνολογία (gap filler) . Σε αυτόν τον μηχανισμό του δικτύου , θα πρέπει να υπάρχει πάντα μια προτεινόμενη τεχνολογία για την σύνδεση.

➤ Ενώ τα ασύρματα δίκτυα είναι ικανά να λειτουργήσουν στα τρένα , αυτή η τεχνολογία τυπικά δεν χρησιμοποιείται , μιας και το κόστος ανάπτυξης και υλοποίησης τους μπορεί να γίνει πολύ υψηλό , ανάλογα με την ζητούμενη έκταση κάλυψης.

Όσον αφορά προτάσεις για μελλοντική έρευνα, οι εταιρίες των τρένων, συνεχίζουν την αναζήτηση νέων τεχνολογιών ,καθώς επίσης προσπαθούν να συνδυάσουν και τις υπάρχοντες , ώστε να παρέχεται πρόσβαση στο Internet σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο κομμάτι της τροχιάς που ακολουθούν τα τρένα τους, στο μικρότερο δυνατό κόστος. Στόχος τους είναι να συνεχίζουν να είναι ανταγωνιστικοί , παρέχοντας όσο το δυνατόν περισσότερες “τεχνολογικές ευκολίες”, καθώς το τρένο της τεχνολογίας είναι ταχύτατο, και για να το ακολουθήσουν, θα πρέπει να κάνουν γρήγορα μεν , αλλά στρατηγικά σχεδιασμένα βήματα .

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[Aguado et al., 2008] M. Aguado, O. Onandi, P.S. Agustin, M. Higuero and E. Jacob Taquet. WiMax on Rails. IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 3, no. 3, pages 47 \_ 56, September 2008.

[BBC News , 2004] BBC News. (2004, July 6) Rail Users Get Wi-Fi Net Access. News. BBC News. London, United Kingdom. [Online]. Available: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk/news/england/3868585.stm>

[Beeby , 2006] I. Beeby, “Demystifying Wireless Communications for Trains,” Presented at the BWCS Train Communication Systems 2006, London, UK, June 2006.

[Beeby , 2007] I. Beeby, “The Future for Terrestrial Wireless Services for the next Five Years: Myths and Realities for WiFi on Trains,” Presented at the BWCS Train Communication Systems 2007, London, UK, June 2007.

[Bianchi et al. , 2003] G Bianchi, N Blefari-Melazzi, E Grazioni and S. Internet access on fast trains: 802.11-based on-board wireless distribution network alternatives . In Proceedings of 14th IST Mobile & Wireless Communication Summit, pages 15\_18, July 2003. [“Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications” , 2007] *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, IEEE Std. 802.11, 2007.

[Chow et al. ,2009] B. Chow, M. Yee, M. Sauer, A. Ng'Oma, M. Tseng and C. Yeh. Radio-over-Fiber Distributed Antenna System for WiMAX Bullet Train Field Trial . In Proceedings of Mobile WiMAX Symposium (MWS '09), pages 98\_101. IEEE Computer Society, July 2009.

[Conti, 2005] J. P. Conti, “Hot Spots on Rails,” *Communications Engineer*, vol. 3, no. 5, pp. 18–21, Oct./Nov. 2005.[24] M. Sauter. (2007, July 16) 3G and HSDPA Internet Access On A High Speed Train. Blog. [Online]. Available: <http://mobilesociety.typepad.com/mobilelife/2007/07/hsdpa-internet-.html>

[De Greve et al., 2005] F. De Greve et al., “FAMOUS: A Network Architecture for Delivering Multimedia Services to FAst MOving Users,” *Wireless Personal Communications*, vol. 33, no. 3-4, pp. 281–304, 2005.

[De Greve et al., 2006] “Design of Wireless Mesh Networks for Aggregating Traffic of Fast Moving Users,” in *MobiWac '06: Proc. 4th ACM Int'l Workshop on Mobility Management and Wireless Access*. Terromolinos, Spain: ACM Press, Oct 2006, pp. 35–44.

[Drake et al. 2010] S. Drake, J. Ja\_e and R. Boggs. Worldwide Mobile Worker Population 2009-2013 Forecast. IDC Market Analysys Report - Excerpt (English Edition), June 2010.

[Echensperger, 2007] H. Echensperger, “Railnet: High-Speed Internet on High-Speed Trains,” Presented at the IET Seminar: Broadband on Trains, London, United Kingdom, Feb. 2007.

[Fokum & Frost , 2010] Daniel T. Fokum and Victor S. Frost. A Survey on Methods for Broadband Internet Access on Trains. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 12, no. 2, pages 171\_185, April 2010.

[Hempel *et al.*, 2006] M. Hempel *et al.*, “A Wireless Test Bed for Mobile 802.11 and Beyond,” in *IWCMC '06: Proc. 2006 Int'l Conf. Wireless Communications and Mobile Computing*. Vancouver, BC, Canada: ACM, 2006, pp. 1003–1008.

[Ishizu *et al.* ,2004] K. Ishizu, M. Kuroda and K. Kamura. SSTP: an 802.1s extension to support scalable spanning tree for mobile metropolitan area network. In *Proceedings of the Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'04)*, volume 3, pages 1500\_1504. IEEE Computer Society, December 2004.

[Ishizu *et al.*, 2007] K. Ishizu *et al.*, “Bullet-train Network Architecture for Broadband and Real-time Access,” in *12th IEEE Symposium on Computers and Communications, (ISCC 2007)*, Aveiro, Portugal, July 2007, pp. 241–248.

[Jeney *et al.*, 2005] G. Jeney *et al.*, “Communications Challenges in the Celtic-BOSS Project,” in *7th Int'l Conf. Next Generation Teletraffic and Wired/Wireless Advanced Networking*, ser. Lecture Notes in Computer Science, Y. Koucheryavy *et al.*, Eds., vol. 4712. Springer, 2007, pp. 431–442.

[Judge , 2005] P. Judge. (2005, Apr. 3) 100 mph WiMax hits the rails to Brighton. News. TechWorld. United Kingdom. [Online]. Available: <http://www.techworld.com/mobility/features/index.cfm?FeatureID=1351>

[Lannoo *et al.*, 2005] B. Lannoo *et al.*, “Extension of the Optical Switching Architecture to Implement the Moveable Cell Concept,” Presented 35at the ECOC 2005: Proc. 31st European Conference on Optical Communication, vol. 4, Glasgow, United Kingdom, Sep 2005, paper Th 1.4.3, pp. 807–808.

[Lannoo *et al.* , 2007] B. Lannoo *et al.*, “Radio-over-fiber-based Solution to Provide Broadband Internet Access to Train Passengers,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 45, no. 2, pp. 56–62, Feb. 2007.

[Laplante & Woolsey, 2003] P. A. Laplante and F. C. Woolsey, “IEEE 1473: An Open-Source Communications Protocol For Railway Vehicles,” *IT Professional*, vol. 5, no. 6, pp. 12–16, November/December 2003.

[Maureira, 2011] Maureira J.C. (2011). Internet on rails (Doctoral dissertation)

[Nomad Digital.2008] Nomad Digital. (2008, May 21) U.S. First for Nomad Digital: WiFi provided free for all rail passengers. Press Release. Nomad Digital. Newcastle, United Kingdom. [Online]. Available: [http://www.uknomad.com/news\\_details19.html](http://www.uknomad.com/news_details19.html)

[Pareit *et al.*, 2007] D. Pareit *et al.*, “QoS-enabled Internet-on-train network architecture: inter-working by MMP-SCTP versus MIP,” in *7<sup>th</sup> International Conference on ITS Telecommunications (ITST '07)*, Sophia Antipolis, France, June 2007, pp. 1–6.

[“Rapidly Recovering Ethernet Networks for Delivering Broadband Services on the Train,” , 2005] “Rapidly Recovering Ethernet Networks for Delivering Broadband Services on the Train,” in *LCN’05: The 30<sup>th</sup> IEEE Conf. Local Computer Networks*. Sydney, Australia: IEEE Computer Society, Nov 2005, pp. 294–302.

[“Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN),” , 2007] “Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN),” ETSI, Sophia Antipolis, France, Tech. rpt TR 25.913, Jan 2009, version 8.0.0 Release 8.

[Van Quickenborne *et al.*, 2006] F. Van Quickenborne *et al.*, “Managing Ethernet Aggregation Networks for Fast Moving Users,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 44, no. 10, pp. 78–85, Oct. 2006

[Wilson , 2005]B. Wilson. (2005, Oct. 26) Rail Internet Access Picks Up Speed. News. BBC News. London, United Kingdom. [Online].Available:  
<http://news.bbc.co.uk/2/hi/business/4363196.stm>

[Zou *et al.*, 2004] F. Zou *et al.*, “IEEE 802.20 Based Broadband Railroad Digital Network - The Infrastructure for M-Commerce on the Train,” in *The Fourth Int’l Conf. Electronic Business - Shaping Business Strategy in a Networked World (ICEB)*, Beijing, China, 2004, pp. 771–776.

## **ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ**

<http://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX>. WIKIPEDIA , The Free Encyclopedia  
αναρτήθηκε από : <http://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Radio\\_over\\_Fiber](http://en.wikipedia.org/wiki/Radio_over_Fiber). WIKIPEDIA , The Free Encyclopedia  
αναρτήθηκε από : [http://en.wikipedia.org/wiki/Radio\\_over\\_Fiber](http://en.wikipedia.org/wiki/Radio_over_Fiber).

[http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11s](http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11s) WIKIPEDIA , The Free Encyclopedia  
αναρτήθηκε από : [http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11s](http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11s)

Παροχή πρόσβασης Internet στο Thalys (THALYS PHOTO,2007) [Εικόνα 4]. (2007).  
αναρτήθηκε από : <http://www.nokiasiemensnetworks.com>