

1415 鉄道におけるIP Mobility

○[電]森 崇 (西日本旅客鉄道(株)) 加川 一夫 (西日本旅客鉄道(株))

[電]石井 順 (西日本旅客鉄道(株))

IP mobility for the railway systems

member Takashi Mori (West Japan Railway Co.) Kazuo Kagawa (West Japan Railway Co.)
member, Jun Ishii (West Japan Railway Co.)

We, technical R&D dept, West Japan Railway Company are trying to realize the 'Unified IP network', which contains various train information such as dispatching orders, telemetries, information for passengers. It had been a dream for long time, but revolution of information technology makes it real. Now, we are trying to serve the 'true IP train' for near future.

キーワード: IEEE802.11b, Mobile IP, ハンドオーバー, IPv6

Keyword: IEEE802.11b, Mobile IP, hand-over, IPv6

1. はじめに

JR 西日本技術部では、昨年から本格的に IP ネットワークとモビリティについて研究を行ってきた。我々の目的は、'沿線のオフィス化' である。本来鉄道においては、沿線作業員や列車乗務員と緊密な情報交換が必要であるが、技術的な障害や金銭的な問題からなかなか進展しない状況にあった。

IP Wireless access の進展により、我々の手の届く範囲に大容量の無線装置が現実のものとなった。これらを活かして、情報伝送の高度化を進めることとした。我々は、沿線に広がるワイヤレスネットワークを「沿線無線WAN」と名づけ、開発を進めている。

2. 開発に至る経緯

2.1 Bluetooth における情報提供試験

一昨年、ひかりレールスターにおいて、Bluetooth を利用した情報提供試験サービスである Bluetooth Launch Trial(BLT)を行い、お客様のニーズを探るとともに技術的な問題点の検証を行った。このシステムは、レールスター8号車内に仮設したイントラネット内の Web サーバーに PDA で Bluetooth を用いてアクセスしてもらい、ニュース、エンターテインメントコンテンツ、各駅の情報、乗り換え情報などを提供した。お客様の反応は予想以上に好評で、常に貸し出し端末が出払っている状態であった。この結果より車内におけるエンターテインメントツールとしてのモバイルツールの可能性が実感できた。

しかしながら、お客様からは、外部接続の要望が多く占め、対処が必要との認識を新たにした。

2.2 移動体への業務系通信手段の不足

近年、お客様の要求レベルは年々シビアになっており、企業としても説明責任が要求されるようになってきた。現在の運行状況はどうか、遅れはどれくらいか、接続はしているかなど各種情報を我々輸送に携わるものが、知らないではすまされなくなりつつある。これは車内で業務に携わる者も同様である。我々は、列車内、沿線のネットワーク広帯域化試験を進めていくこととした。

2.3 技術要素

沿線をネットワーク化していくための技術要素は非常に多岐にわたる。マンマシンインターフェースなど人間工学の部門から、ネットワークセキュリティ、電波伝搬に至るまで各分野の集合体と言える。これらの集合体における技術開発を進めることにより、ネットワークの質的向上が図られる。

今回は、多岐にわたる分野のうち、試験フィールドの紹介、鉄道に関係が深いと思われる鉄道における電波伝播、線区を越えるためのネットワーク手法である Mobile IP 等を中心に説明を行う。

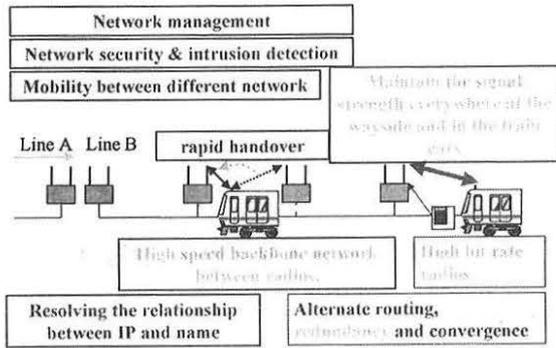


Fig. 1 Technical target for metro wireless network

3. ネットワーク構成の考え方

ネットワークを構成する際、以下のような点に留意した。

(a) 相互運用性の確保

インターフェース点は、規格化したものを使用するか、メーカー独自規格のものにおいても、上位互換のものとした。技術的な先進性だけではなく、相互接続性、運用性を確保しない限り、端末選択の自由度が失われてしまうためである。IF 点においては、100base-Tx イーサネットもしくは IEEE802.11b とした。

また、IPv4 及び IPv6 以外のプロトコルは使用しないこととした。これにより相互運用性を確保することができる。IPX や NetBIOS など IP 以外のプロトコルは代替が進み、対応せずとも特段問題がないと考えている。ルーティングプロトコルについても、独自規格のものを廃し、OSPF と MobileIP を使用している。

(b) 冗長構成

冗長性を確保するため、経路二重化を原則とした。この際、IEEE802.3d spanning tree protocol を使用し異常が発生した際自動的に経路変更を行うように留意した。

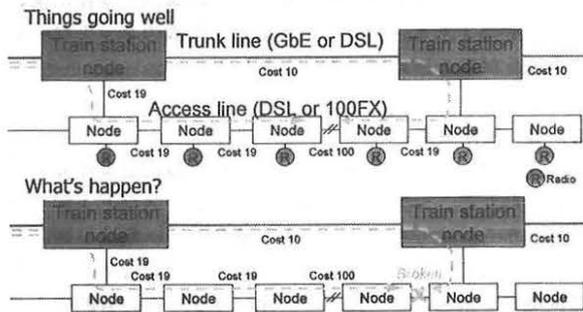


Fig.2 Spanning Tree Protocol convergence

(c) IPv6 への対応

地上ネットワークにおいては、すべて IPv6 と IPv4 のデュアルスタック構成とした。また、ネットワーク機器を接続するとすぐ使用できるように、Router

Advertise を行い、Stateless address auto configuration を実現している。またトポロジ変更により自動対応するため、RIPng によるダイナミックルーティングを行っている。

IPv6 アドレスについては、JR 西日本技術部が /48 のアドレス空間を持ち、グローバル IP による試験を行うことも可能である。外部とのコネクティビティーについては、IPv4 で IPv6 をカプセル化し、トンネル接続を行っている。

4. 試験フィールド

現在、試験フィールドは、JR 宝塚線（福知山線）尼崎～新三田の間 38km で 86 の無線局を設置して試験を行っている。現在、JR 京都・神戸線（東海道本線）新大阪、宮原～芦屋間において試験フィールドの工事中である。

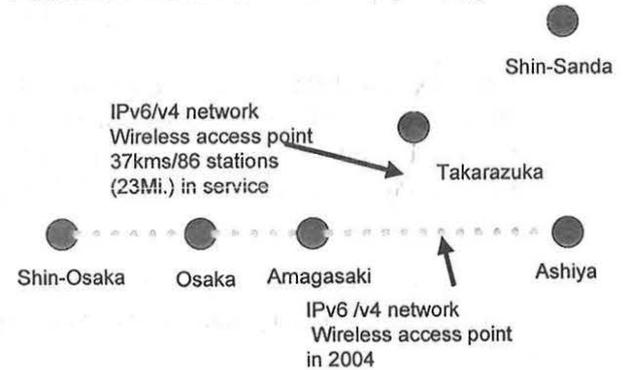


Fig.3 Experimental overview

JR 宝塚線は、8km のトンネル区間、都心、田園をバランスよく含み、各種電波伝播の確認を行うために最適な路線であることから選定した。また、JR 京都・神戸線は当社アーバンネットワークの最重要線区として位置付けられ、列車本数も大変多く、130km/h の運転を行っている線区であるため 2004 年度に試験を行うために取り組んでいる。

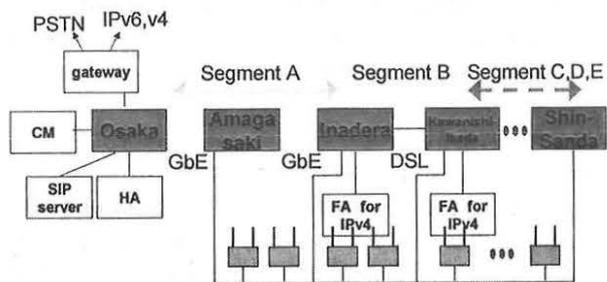


Fig.4 Outline of Network

ネットワーク構成は、各駅を結ぶ駅間回線と、各無線機を結ぶ無線局回線があり、各駅機器室で接続されている。前述したように、異常があった際には、相互補完されるようにルーティングされる。これにより、ループトポロジ中の 1 回線断に対応することが可能である。また、大阪～尼

崎～猪名寺の駅間回線は Gigabit-Ethernet で構築し、それ
 以遠は ADSL で構築している。無線局回線は、100base-FX、
 5.2M の対称型 DSL、5M-512k の ADSL など、比較対照を
 行うために各種機器を敷設し、故障頻度や伝送能力の評価
 を行っている。

5. 沿線機器

沿線には、駅間回線と無線局回線、IEEE802.11b 規格の
 地上無線局が存在する。無線局のアンテナは、明かり区間
 では 12dBi の無指向性アンテナを 2 本、トンネル区間では
 12dBi の八木宇田アンテナを 2 本使用している。これは、
 明かり区間ではダイバシティ効果を狙った結果採用した
 のであり、トンネル区間ではスペースの問題とマルチパス
 を防止するために選択したものである。

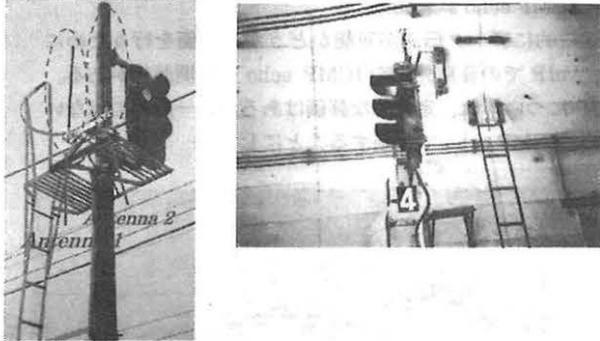


Fig.5 Antenna for surface and tunnel

複数線区に乗り入れることを想定するため、線区分割の
 ためのルータを設けている。IP Mobility 機能を満足させる
 ため、ルータは Foreign Agent (FA), Home Agent (HA)
 の機能を持つものとした。これらにより、列車 IP とルート
 を一致させ、列車がどのネットワークセグメントにいても
 通信可能としている。

通信はネットワーク機器だけではなく、各種サービスを
 提供する機器が必要である。このため、DNS サーバー
 (IPv4/v6)、SIP サーバー、SMTP(IPv4/v6)、POP3 サーバ
 ー、IPv6 ゲートウェイ、SCCP コールマネージャー、PSTN
 ゲートウェイ、Mpeg2 ストリーミング装置や、管理監視の
 ための Wireless 管理装置、ネットワーク監視装置、IDS、
 SMTP ウィルス検知駆除サーバー、脆弱性チェックのため
 のネットワーク攻撃装置や暗号化のための IPSec ルータな
 どを大阪の JR 西日本技術部に設け、直轄管理を行っている。
 コストを抑えるためと管理情報が豊富であることより、ほ
 とんどのサーバーは LINUX カーネル 2.4 系で統一してあ
 る。

6. 車両機器

車両機器は、外部通信用の無線装置、MobileIP に対応す
 るための Mobile Node 代用の Mobile router、客室内無線装
 置からなる。221 系電車を 3 編成改造し、福知山方先頭にア
 ンテナを取り付けている。

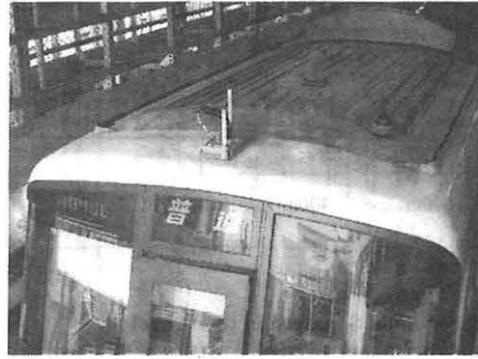


Fig. 6 On board antenna

列車アンテナは本来地上アンテナと同一ゲインのものと
 合わせるほうが送受信のバランスが取れて好ましいが、車
 両限界の問題があり、ハイゲインアンテナでダイバシティ
 効果を実現することが今回できなかった。このため
 5.2dBi のアンテナを採用し、コンパクト化を図った。

7. 電波伝搬

鉄道は、前述したように都心部からトンネルまでいろ
 ろな要素を含んでいる。ここでは、JR 宝塚線の名塩トンネ
 ルと JR 神戸線の電波伝搬調査結果を報告する。

○ 明かり区間の伝搬

下記のデータは、JR 神戸線（東海道本線）立花～甲
 子園口で測定したものである。明かり区間においては、
 定在波によると思われる周期的な電界変動が現れてい
 る。このデータは、ダイバシティ受信を行っていない
 ため、実際のデータでは、改善が期待される。

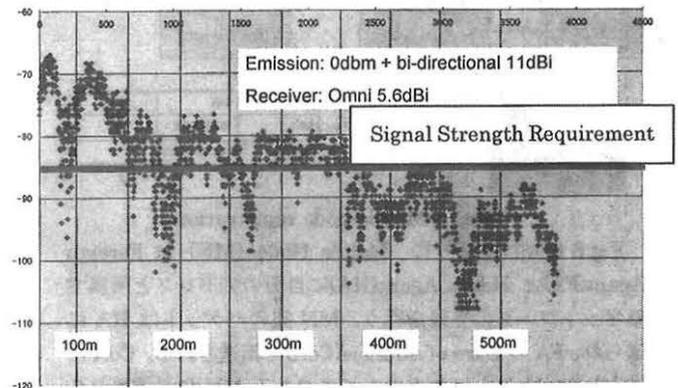


Fig. 6 Signal Strength at urbanized area

-85dBm に最低受信電界強度を設定すると、概ね
 350m 程度がサービスエリアとなるが、実際は若干のマ
 ージンを考慮し、250m 程度で設計を行っている。

○ トンネル内伝搬

トンネルにおいては、JR 宝塚線（福知山線）西宮名
 塩の名塩トンネルで試験を行っている。

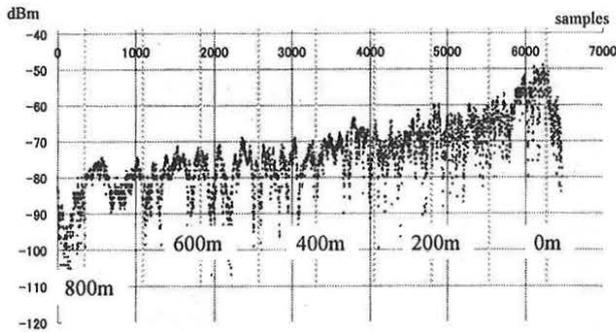


Fig. 7 Signal Strength in the tunnel

明らかに明かり区間と対照しても、電界の落ち込みが少なく、安定電界を確保可能であることが分かる。-85dBm の平均電界地点は送出点から 800m であり、かなり広域なサービスエリアであることが分かる。実際にも、トンネル内でのスループットは明かりに比べても良い結果となっている。また、電界の落ち込みは自由空間伝搬と比べても少ないことが観測されている。

8. Mobile IP

鉄道において、線区をまたがり運転を行うことは日常の光景である。このため、地上のネットワークセグメントが走行するにつれ変わっていくことになる。通常の IP ネットワークにおいては、同一セグメントに属するものでないと通信できない。このため、RFC2002 に規定される IP Mobility support を活用して移動体との通信を行うこととした。

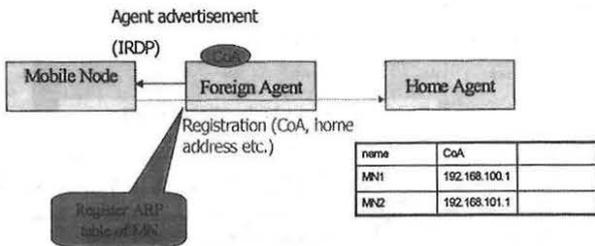


Fig. 8 Mobile node registration

Fig.8 に挙げたように、Mobile Node (MN) は Foreign Agent(FA)と Home Agent(HA)に自分のアドレスと所属するネットワークの登録を行う。MN 宛のパケットは HA に送られ、FA の Care of Address(CoA)に転送される。CoA に送られたパケットは本来のあて先である MN に送信される。

列車との通信の場合、MN が複数ある場合が考えられる。このとき、個別の MN がネットワーク登録を行うと、線区を列車が移動した際、一度にたくさんの MN が登録要求を行い、効率の悪化を招く。このため、MN の代わりに Mobile Router (MR)を設け、MR のホームアドレスを FA に、ホームアドレスと CoA を HA に登録する方式をとっている。この方式をとったときのパケットの流れを Fig. 9 に示す。

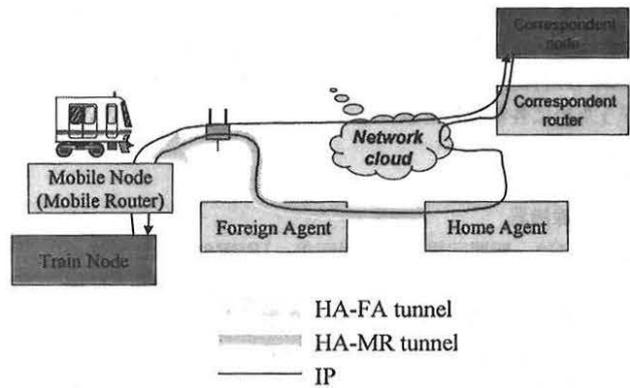


Fig.9 MR-FA-HA packet stream

9. ICMP echo 試験結果

連続的にデータ伝送が可能かどうかの評価を行うためには、VoIP での音声評価や ICMP echo の時間評価がある。VoIP については、定量的な評価はあるが、一般的ではないため、ICMP echo で評価することにした。

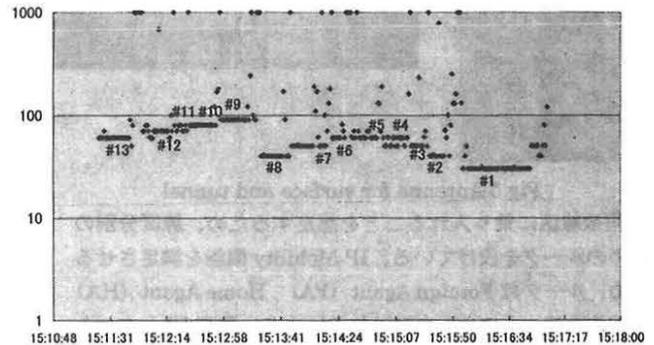


Fig. 10 ICMP Echo reply time from Train to Osaka

上記は 13 局の無線局を切り替えていった結果である。これにより連続的にハンドオーバーが可能となっているのが観察される。タイムアウトが連続して起こっている #12 と #13 の間の地点は電界が弱いためであり、現在は基地局を増設し解消している。VoIP においても通常の電話と変わらず通話可能であったことを付記しておく。

10. 終わりに

JR 西日本技術部では、今後とも IP ネットワークの応用に関する技術開発を進め、便利な鉄道、信頼される鉄道を目指し努力していく所存である。今後ともご指導ご鞭撻をお願いしたい。

11. 参考文献

Mori, T. Kagawa, K. Ishii, J.: Broadband IP Network For Running Trains, Proceedings of International Symposium on Speed-up and Service Technology for Railway and Maglev Systems 2003, JSME No.03-205 pp94-99, 2003