

S5-3. 鉄道におけるIPv6ネットワーク構成と活用

IPv6 Experimental Mobility Network Construction and Development for Railway

○[電]森 崇 (西日本旅客鉄道(株)) 山内 雪路 (大阪工業大学)

加川 一夫 (西日本旅客鉄道(株)) [電]石井 順 (西日本旅客鉄道(株))

Member, Takashi Mori (West Japan Railway Co.) Yukiji Yamauchi (Osaka Institute of Technology)

Kazuo Kagawa (West Japan Railway Co.) Member, Jun Ishii (West Japan Railway Co.)

Abstract:

On this paper we introduce the experimental IPv6 network for the trains and wayside devices. For the fast-moving trains keep in touch to the ground, radio propagation measurement is important to know. We made the signal strength measurement equipment to decide the fixed radio station. We are introducing the IPv6 mobility using Mobile IPv6 to communicate continuously when the mode visits to the foreign link.

キーワード: 電界強度、IPv6、Mobile IPv6、IPsec

Keyword: Radio Signal strength, IPv6, Mobile IPv6, IPsec

1. はじめに

IP ネットワークと高速モビリティを持つ移動体を組み合わせる試みは、非常にポピュラーになってきつつある。但し、鉄道に应用する場合、トンネルなど電波伝搬上、非常に特異な点の存在や、長距離走行に伴う所属するバックボーンネットワークの変化がある。

JR 西日本は、2002 年の 5 月から IP Mobility の試験を行っており、電波伝搬に関する事項、コストの安いバックボーンネットワークや IP ネットワークモビリティに関する事項、機器耐久性に関する事項や IPv6 モビリティに関する事項などを重点的に取り組んできた。今回、その一端を紹介させていただく。

2. 試験システムの概要

移動体と通信を行うため、IEEE802.11b または g 規格の無線 LAN 装置を沿線 500m おきに信号機や踏切の器具箱内に設置した。試験区間は大阪府吹田市から兵庫県神戸市までと、兵庫県尼崎市から兵庫県三田市までの約 60km である。但し前者は工事中であり、後者のみを使用に供している。無線 LAN 装置は相互に DSL または光ネットワークで接続され、駅まで伝送される。駅から次駅までは光または DSL ネットワークで接続されている。

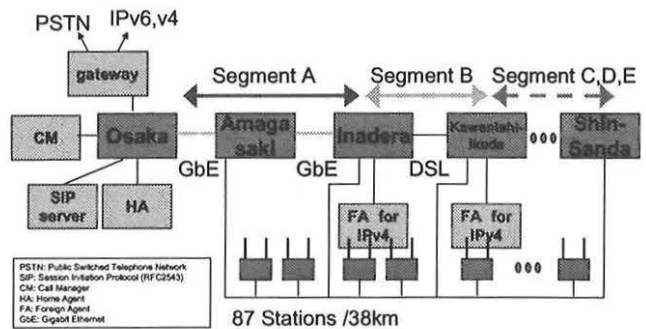


Figure 1 Network structure

また、IP モビリティ試験のため、IPv4 の Home agent や IPv6 の Home agent が大阪に設けられ、IPv4 の Foreign agent が各セグメントに設置されている。VoIP 試験のためのゲートウェイや SIP サーバー、IPv6 動画ストリーミング装置など一般的なアプリケーションだけではなく、踏切の障害を検知するとデータの蓄積をする装置やレール温度計、降水量計など鉄道に密接に関連する装置の IP 化を行っている。

3. 電界強度とエリア

無線システムは、受信機に所要の受信電圧があることが絶対条件である。

しかしながら、無線 LAN を活用した装置においての受信電圧調査は、まったく行われていないのが現状である。せいぜい行われているのは、無線装置内蔵の RSSI(Received

Signal Strength Index)における評価であり、表示される頻度はビーコンパケットの間隔や無線装置の測定間隔に依存する。また、RSSI は定量的な単位で示された値ではなく、機器固有の値である場合が多い。

また、無線 LAN のリンク速度を評価し、位置を決定することが多いが、この方法では段階が 3-4 くらいしかなく、アンテナの方位決定など微妙な角度調整は非常に難しい。

無線 LAN から電波は放射されているのは間違いないのであるから、この電波を受信し、受信電圧を測定することは意味がある。しかしながら、無線 LAN 装置は、不要な電波輻射を避けるため、通信を行っていないときは、ごく 1ms 以下の短いパケットがおおむね 100ms おきに放射されるだけである。この短いパケットを受信し、サンプリングして表示することは可能であるが、沿線において簡単に持ち運び測定することは、機器の重量や電源からの観点からなかなか困難であることが推察される。

このため、無線 LAN 装置のアンテナ位置決定や伝送評価を行うため、1mW の無変調発信装置と受信機をペアで使用し、エリアを決定することとした。この装置は、電波法上の無線装置に当たるため、無線局免許を受けることにより運用を行っている。



Figure 1 2.4GHz Current wave transmitter and receiver

これにより、無線伝搬エリアの決定が非常に簡単に行うことができる。無線 LAN 装置には、各伝送速度における最低受信機入力電圧が規定されていることが一般的である。この電圧にフェージングマージン等を加えたものを所要入力電圧とする。私たちは、今回、0dBm の空中線電力において-85dBm の受信機入力電圧をしきい値としてエリア決定を行った。実際の無線 LAN 装置の空中線電力は 10dBm であるので、実際の無線 LAN 受信機の入力電圧は-75dBm 以上であることになる。これは、所要入力である-92dBm に対して 15dB 以上の余裕を持たせることにより決定している。

4. 沿線 DSL 装置の課題

無線 LAN 装置で送受信すべきパケットは、無線で中継を行う場合を除くと、イーサネットでは伝送される。一般的にインターフェースは 100base-Tx であるが、伝送距離が 100m に制限されている。このため、何らかのブリッジ装置

が必要である。一番単純なのは 100Base-Tx を 100Base-FX の光イーサネットとしてしまうことであるが、バックボーン回線としての機能を期待された光ケーブルは駅と駅間の伝送に使用され、無線 LAN 装置の存在する信号機や踏切ごとに切り分けられていない。このため、既存のメタル回線を活用することとした。

○伝送速度の問題

IEEE802.11g 装置は 54Mbps の伝送能力を持つとされている(実態はどうかという議論はここではしない)。しかしながら 54Mbps の伝送能力を持つ DSL を実現しようとした場合、スペクトルは 30MHz 以上まで達すると予想される。この帯域の完全伝送を実現することは非常に困難であることは想像に難くない。またこのような高速度の対称速度装置は市場に存在しない。このため、速度については 15Mbps をターゲットとし、対称速度 DSL を製作した。

○ 発熱の問題

DSL は、広帯域にてデータ伝送を行うため、スペクトル密度は高くなくとも全帯域をあわせればかなりの出力となる。このため、発熱はネットワーク機器の中でも大きい部類に入る。市販品はおおむね 45℃程度の使用温度設定を行っているが、排熱を工夫し、製作品は 60℃までの使用温度設定を行った。

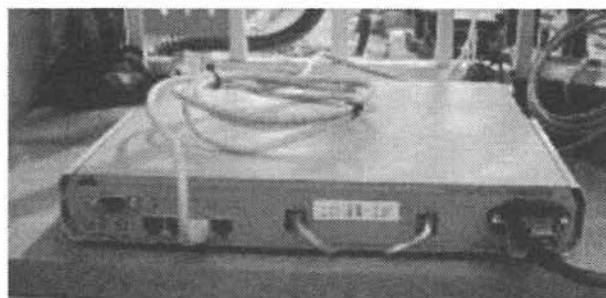


Figure 3 Symmetrical DSL for high temperature

5. 列車搭載装置の課題

列車設備においては、パンタグラフ集電による電源の不安定さや振動など課題が山積している。IP ネットワークモビリティを実現するためには、Mobile Router が必要である。金魚鉢のような温度特性の劣悪な乗務員室に一般的なルータを設置したところ、2年目で多くのものが故障してしまった。振動によるものか、電源によるものか、温度によるものか不明であるが、コンフィグレーションが消えてしまう事象や立ち上がらない事象などが発生した。

このため、ルータについても、排熱を検討し、振動を抑える工夫をしたルータを製作した。電源の不安定さを除去するため、電気二重層キャパシタ (EDLC) を内蔵し、瞬停に備えることとした。

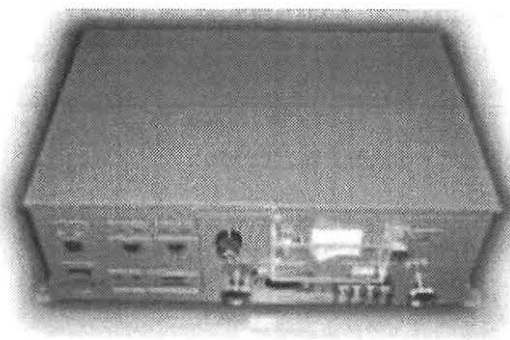


Figure 4 Mobile IP Router for the rolling stock

6. IPv6 の伝送

JR 西日本技術部の IPv6 ネットワークは大きく分けて二つの手法で IPv6 を伝送している。一つは IPv6 をそのまま通す IPv6 ネイティブネットワークである。もう一つは、IPv6 を IPv4 の網の中を通す IPv6 over IPv4 という手法である。前者については自営網のみで構築している大阪圏について採用し、大阪～金沢、大阪～上中、大阪～小浜、大阪～吹田については後者を採用している。これは、既存の事業者 IPv4 網を利用してネットワーク構築を行うためであり、一度に送信できるパケットサイズは小さくなるが、ローカル線に IPv6 を安価に採用できる手法の検討の一環としてこの方法を選択した。

IPv6 においては、IPSec(IP security support)が必須要件となっているが、実際の実装は途上である。かなりの計算パワーを要する IPSec が単機能の IPv6 ノードまで必要とされるかどうかは現在議論が分かれており、Light weighted IPv6 を仕様化しようという動きもある。また、IPSec は、IKE(Internet Key Exchange)やパケットの暗号方式の選択、MAC (Message Authentication Code) の方式選択など、実装によって選択できる方式に差異がある。IPv4 では実装によって共通に使用できるものが増加し、IPSec の相互接続が可能となってきたため、間もなくほとんどの実装で IPv6 においても IPSec の通信が可能になると思われるが、現状ではすべての機器が IPSec for IPv6 というわけではない。

このため、今回は過渡的な手法であるが、IPv4 の ESP(Encapsulating Security Payload)のなかに IPv6 を Encapsulating Payload として通した。すなわち、IPv6 over ESP over IPv4 という手法を用いたことになる。これを Figure 5 で示す。

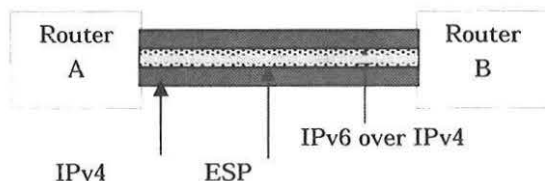


Figure 5 IPv6 over ESP over IPv4 on Osaka-Kanazawa

このような手法を用いると、IPv6 のパケット全体が暗号化され、非常に安全に通信が可能である反面、IPv6 のパケットに ESP ヘッダー、ESP トレーラー、ESP 認証データや IPv6 トンネルエンドポイントの IPv4 アドレスなどペイロードが減少する。このため、効率よく伝送するためには、伝送するパケットサイズを最適化する必要がある。これについては IPv6 の標準仕様である Path MTU Discovery が使えそうであるが、実際は IPv4 トンネルの中で Discovery packet がフラグメントされ、正しい値を検出できなかった。IPv4 において DF(Don't Fragment)フラグを 1 とすると回避できるが、一般の IPv4 伝送において障害が起きるため、この手法はとらないこととし、効率的な伝送は今後検討することとした。

7. 移動体への IPv6 伝送

移動体へ IPv6 の伝送を行うためにはいくつか方法がある。まず、IP mobility support on IPv6(RFC3775)がある。これについては、2004 年 7 月に RFC 化された。これにより 3 年余りの歳月を経て、Mobile IPv6 が規格化されたことになる。

RFC3775 は、BSD、LINUX に一般的に入手できる実装がある。このため試験を行うことは困難ではない。(オペレーティングシステムのカーネルの再構築は必要である。) また、Foreign Link に特別な Agent がいないため、Home Agent と Mobile Node があれば試験可能である。そのため、試験に関するコストは低い。

必要な物品は上述した機器と Mobile Node が Home Link に到達したことを通知する、Home Agent Advertise ができる装置が必要である。(これは一般の Router Advertisement ができる装置には機能がない場合が多いため注意が必要である。) この機能がない場合は、Mobile Node が Home Link に帰ってきたことが認識できず、Home Link での通信ができなくなることがある。

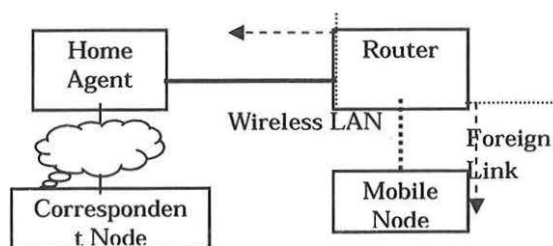


Figure 6 Minimum structure of Mobile IPv6

このように規格化された Mobile IPv6 であるが、Mobile Node 認証を IPSec で行うことになっている。(RFC3776 で必須機能である。) ただし、実際問題として実装されているかどうかはまだ別問題であるといわざるを得ない。(2004 年秋には Usagi Project にてリリースされるといわれている。) 現状では、どんな Mobile Node が来ても認証なしで通信できる状態は好ましくないため、絶対必要な機能であ

ることは間違いない。ただし、認証に IPSec のような重たいプロトコルを使うことについては異論もある。(MD5 を使用する動きもある。)

また、鉄道などのノードを大量に搭載する移動体は、Network Mobility (NEMO) が必要である。ネットワーク全体が移動し、一度に Foreign Link に移動する特性を生かした場合、一つ一つのノードが Mobility をもつ方法は誤りであり、NEMO による方法が好ましい。IPv4 では NEMO は独自規格でしかない。IPv6 において NEMO は Internet Draft となり、規格化の動きがある。この規格化には、交通機関+IPv6 の命運がかかっていると考えている。

8. IPv6 のアプリケーション

現在、JR 西日本技術部においては、Everything on IPv6 を目標にアプリケーションの IPv6 化を行っている。技術部のサーバー類はすべて IPv6 化を行っている。DNS や SMTP はなど基本的なサービスの IPv6 化は 2001 年に終了している。次の目標として踏切監視 IPv6 化を行っている。

(1) 小浜線におけるカメラ監視

ローカル線でもコストアップなしに IPv6 化を進めるモデルケースとして、小浜線上中付近を IPv6 化した。上中駅周辺 1.5km に亘り、IEEE802.11b 無線 LAN でアクセスすると、IPv6 のアドレスが自動的に与えられ、Point to Point の通信が可能になる。

このネットワークを活用し、踏切の画像監視を行っている。障害物検知装置や非常ボタンが押された場合、前後 10 秒間データをサーバーに送出するようにしている。



Figure 7 Railway crossing observation via IPv6

Fig. 7 は、踏切の障害物検知装置を踏切遮断していない際に動作させ、画像伝送を行った例である。

(2) JR 宝塚線における踏切状態監視

JR 宝塚線では、踏切の動作確認として、リレー接点の状態取得と IPv6 による状態転送を行っている。リレー接点をノードに入力し、ノードの持つ WEB サーバーにおいて踏切状態を転送する試験を行っている。



Figure 8 IPv6 Node controller for railway crossing

9. 終わりに

今回、移動体と電波伝搬、IPv6 との関係について述べさせていただいた。IPv6 の Mobility を実現するための手法の一端を紹介させていただくとともに、実験システム構築の紹介をさせていただいた。IPv6 の列車モビリティでは、列車全体のネットワーク移動についての検討を進める必要があり、この私用も検討が進みつつある。IPv6 が鉄道にも活用される日を早期に到来させ、鉄道の高品質化に貢献したい。

10. 参考文献

- (1) 森、山内、加川、石井：鉄道における IP mobility 試験、電子情報通信学会大会 2004, B-15-28
- (2) 森、山内、加川、石井：鉄道における移動体 IP ネットワーク試験、電気学会大会 2004, D410-C3 3-080
- (3) T. Mori, Y. Yamauchi, K. Kagawa, J. Ishii: "Experimental IP Mobility System for Railway Trains", International Conference on Electrical Engineering 2004 (ICEE2004), OC6-5