

鉄道における移動体 IP 通信網の構成法

鈴木 尚子 関 清隆
(財)鉄道総合技術研究所

鉄道において走行列車を含む移動体 IP ネットワークを構築する場合、一般のモバイルコンピューティング技術だけでは解決できない要求条件や特殊な運用環境がある。本稿ではそれらを整理し、鉄道における IP ネットワークの一構築法を提案する。さらに、このネットワークを構成するために必要な、移動するサブネットワークに対するパケットのルーティング方式と、列車番号のような随時変化する要素を含んだホスト名を解決する方式を提案する。また、提案するシステムを簡略化した環境を構築する実験から、今後の検討課題を抽出した結果を述べる。

Mobile Communication System for Railway

Shoko SUZUKI Kiyotaka SEKI

Railway Technical Research Institute

There are requirements and special operational conditions that are not fully solved by the general-purpose mobile computing technology when constructing an IP network including running trains in railway environments. In this paper, we summarize the requirements and propose a way to construct the IP network. In addition, we propose the methods to perform the routing control of packets for mobile subnetworks and resolve host names which contain variable elements such as train numbers. We also describe further studies extracted from our experiments to construct a simplified network.

1. はじめに

鉄道システムは走行列車や沿線・構内作業者などの移動体を含み、列車運行管理や設備保守、営業活動などの様々な種類のシステムを抱えている。地上系は通信インフラの整備とコンピュータネットワーク化が着々と進んで行くことが想定される一方で、移動体である列車-地上間通信を含むネットワークシステムに

ついては列車の安全運行に関わる鉄道独自の制御システムや、乗務員と指令者の間の音声通話が主体となっているのが現状である。しかし近年発達・普及してきた多様で高性能な無線通信手段は、近い将来鉄道の移動体通信手段として導入され、これまでのシステムと併用されながら更なる伝送容量や回線品質の向上につながると思われる。またインターネット技術である IP をベースとしたネットワークを移動体も含めた鉄道シ

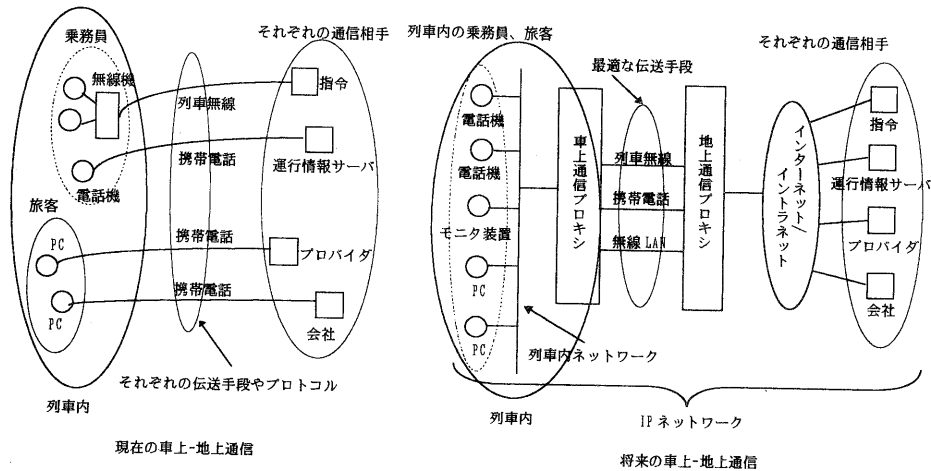


図1 鉄道におけるIPネットワーク

システムにおいて構築することにより、開発、運用コストの削減や新しい営業活動の展開が期待される。本稿では、将来の鉄道ネットワークに要求される条件¹⁾と、それを実現するネットワーク構成案²⁾、及び課題について述べる。

2. 鉄道ネットワークシステム

現在の鉄道システムの概要及び移動体IPネットワークを構築するための課題について、物理的な構成やIPルーティング、名前解決、更にサービスの種類やその要求条件等を考察する。

2.1 列車内機器

列車内には固定据付型の各種制御・モニタ機器、乗務員が携帯する機器、また旅客が持ち込む機器の存在が考えられる。またそれらの機器は1編成の中の1つ以上のネットワークに接続されることが想定される。つまりモバイルコンピューティングとして一般的に想定されている1つのユーザ(端末)が移動して行くのではなく、1つのサブネットが移動して行くのである。

また列車は途中駅で分割・併合があり、それぞれの編成内のネットワークをどのレイヤで終端するのが適

切かという問題がある。更に地上とのアクセス点(無線通信装置)が、例えば分割によって2つ以上に、併合によって最低1つに、というような変化をする可能性がある。

列車内のホストの指定方法についても、ユーザやアプリケーションからは列車番号とホスト名の組(これを組ホスト名とここでは呼ぶ)などで指定するのが好ましいが、列車番号は行路によって変化するため、結果的に同じ物理機器が違う組ホスト名となり、通常のDNSをそのまま利用し難いことが考えられる。

2.2 地上設備

鉄道の地上システムとしては、列車の運行や保守に関するもの、座席予約や旅行商品に関するもの、基幹業務に関するものなどがある。鉄道通信ネットワークとしては主として音声通話用の鉄道電話、沿線電話等と、データ交換用のX.25パケット網などが存在するが、最近ではIPベースのいわゆるイントラネットの構築が行われたり、インターネットとの接続も増えてきている。今後は、多くのシステムの使用するネットワークはIPネットワークとなり、そこには走行列車を含めた多数のホストやサブネットワークが接続されることが想定される。

鉄道において IP ネットワークを構築するために考慮すべき点は、地上あるいは車上の個々のホストがモバイルに対応した特別なプロトコルを実装したり、ハードウェアを必要としないことである。

2.3 車上-地上間通信手段

現在、列車と地上との通信手段としては列車無線等があり、乗務員と指令員との間で主に音声通話用利用されている。また乗務員が携帯電話を用いて運行情報を入手したり座席予約を行う場合もあり³⁾⁴⁾、ユーザやアプリケーションごとに違う通信手段やプロトコルが使われている(図1左)。今後も通信手段として駅停車時における PHS や無線 LAN、ミリ波⁵⁾を使ったスポット的通信や次世代携帯電話システムの活用等、様々な特徴を持ったものが複数利用できる環境が整ってゆることが予想され、いつ・どの通信手段を使ったら良いのかをユーザやアプリケーションに意識させずにサービス品質やコストを勘案して最適な通信路を自動的に確保することが望まれる(図1右)。

しかし選択する通信手段によってはアクセスポイントが駅単位程度に変更されるため、IP のルーティング問題が発生する。移動体 IP 通信としては Mobile IP⁶⁾が考えられるが、旅客が持ちこむ PC も含む、対象ホスト全てに実装する必要がある、これを前提としない IP ネットワーク構築が求められる。

2.4 利用者サービスと要求条件

ITS では 9 つの開発分野とそれに付随する 21 の利用者サービスがまとめられており、ナビゲーションシステムのような情報提供サービスから自動車の自動走行まで様々な種類の情報通信が想定されている。ここでは鉄道システムにおける利用者サービスについて、特に対列車通信を必要とする利用者サービスの主な種類とその要求条件を表1に示す。

表1 対列車における利用者サービスと要求条件

| 要求条件/ 利用者サービス | リアルタイム | オンデマンド | 高信頼性 | セキュリティ | ブロードキャスト |
|------------------|--------|--------|------|--------|----------|
| インターネット | × | ○ | × | △ | × |
| 運行情報、 目的地情報 | △ × | ○ | × | × | ○ × |
| 商品販売 | × | ○ | △ | ○ | × |
| 検札 | △ | × | △ | ○ | × |
| 車両機器モニタ | △ | △ | △ | △ | × |
| 危険アラーム | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 運転指令 | ○ | ○ | ○ | ○ | △ |
| 自動運転 | ○ | ○ | ○ | ○ | × |

利用者サービスとしては列車内で旅客が ISP や会社のサーバにアクセスして Web やメールを利用するインターネットアクセス、鉄道会社が主に旅客に提供する運行情報や目的地情報提供、車内での指定券や旅行商品の販売、改札の通過情報を列車上に送ることによる検札の省力化、車両機器の動作状態等の地上での監視、危険や異常が走行現場付近で発生した場合の情報収集とアラーム、乗務員への運転指令の伝送、列車の自動運転のための制御情報伝送などが考えられる。これらのサービスに対する通信要求条件について、必須である(○)、必須ではないが可能な限り満たされることが望ましい(△)、必要ない(×)に分類した。要求条件には挙げなかったが、大きな回線容量を必要とする画像データや大量のファイル転送などが必要なアプリケーションも考えられる。これらを踏まえて、IP ネットワークの構築を考慮する必要がある。

3. 提案システム構成

2章において鉄道システムの現状と、鉄道に IP ネットワークを構築する際の課題をいくつか挙げた。この章では、そのうちの IP パケットのルーティング方法、適切な通信手段選択及びホスト名の指定を解決するためのネットワーク構成方法を提案する。

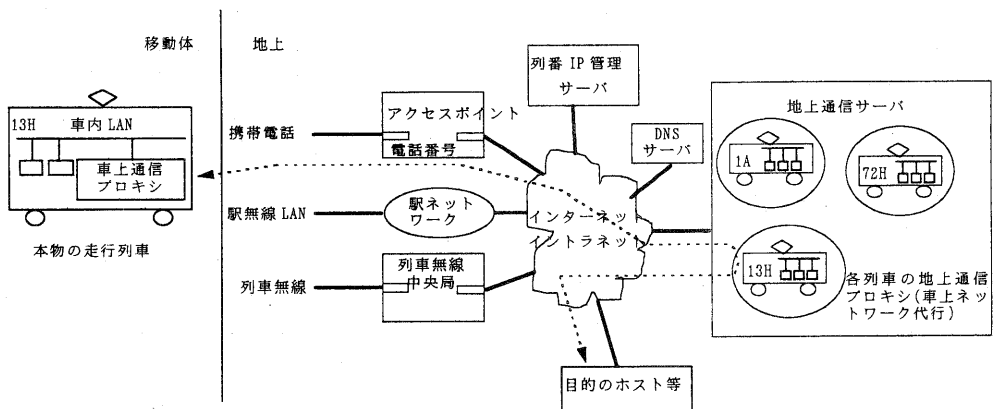


図2 提案ネットワークシステムイメージ

3.1 全体構成

図2に提案システム全体のイメージを示す。列車と地上との間は通信可能エリア(走行中連続的に利用できるもの、駅等の特定の場所でのみ利用できるもの)、伝送容量、伝送品質、接続品質、セキュリティなど、特徴の違う複数の通信手段で接続される。列車の1編成内には列車内ネットワークが構成され、サーバや車両情報機器、旅客や乗務員が持ちこむPCなどが接続されている。IPアドレスは列車内でクローズした体系で運用される。

地上ネットワークは通常のIPネットワークが構築され、IPアドレスはインターネットあるいはイントラネットで一意に識別できる体系で運用される。

鉄道移動体IP通信の課題であるIPパケットルーティング、ホスト名指定、及び適切な通信手段の選択について解決するために、仮想的な列車内ネットワークを地上通信サーバ上に実現するという概念を導入する。地上ホストが車上ホストと直接通信せず、地上通信サーバを経由することで、通信手段のステータスや列車位置をユーザが意識する必要がなくなる。このシステムの実現のために、「通信プロキシ」及び「列番IP管理サーバ」という機能を検討している。

3.2 通信プロキシ

通信プロキシは条件に応じて複数の通信手段の中から最適なものを選択して準備し、トンネルを確立してIPパケットをルーティングする機能を持つものである。車上-地上通信は車上通信プロキシと地上通信プロキシを介して行われる(図3)。車上通信プロキシは車上通信サーバ、地上通信プロキシは地上通信サーバに存在し、1列車に1つの通信プロキシペアが必要である。これにより地上通信サーバには複数の列車の地上通信プロキシが存在し、あたかも列車内ネットワークが固定網上に仮想的に存在しているようにふるまう。この方式によって、車上、地上のホストは特別なハードウェアやソフトウェアを必要としない利点がある。

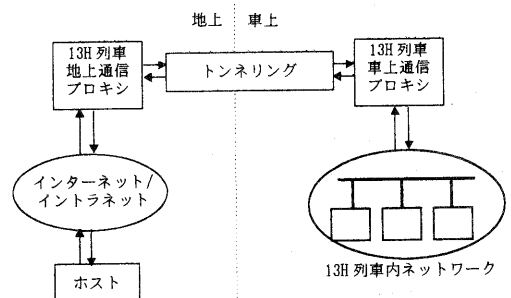


図3 通信プロキシ

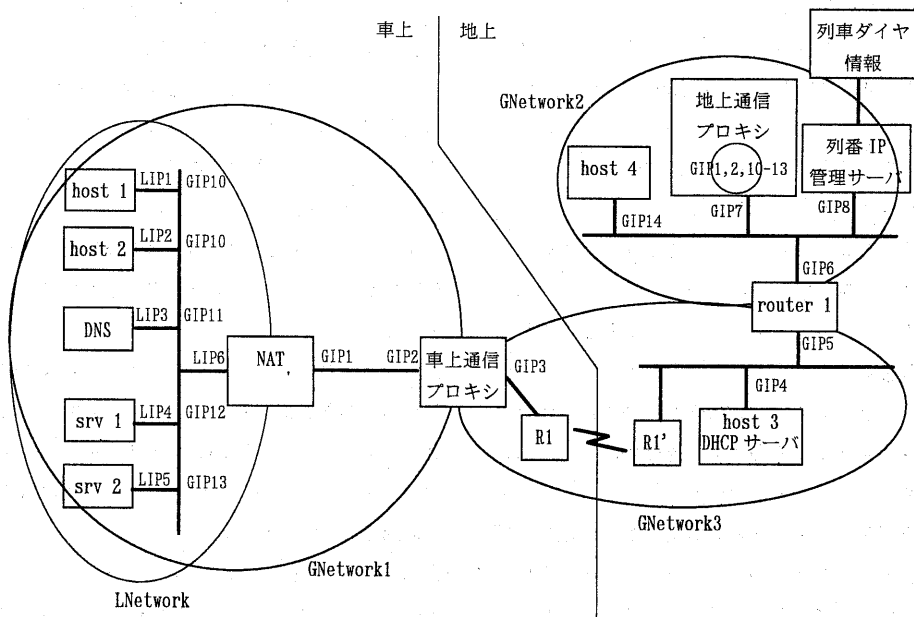


図4 IPネットワーク構成

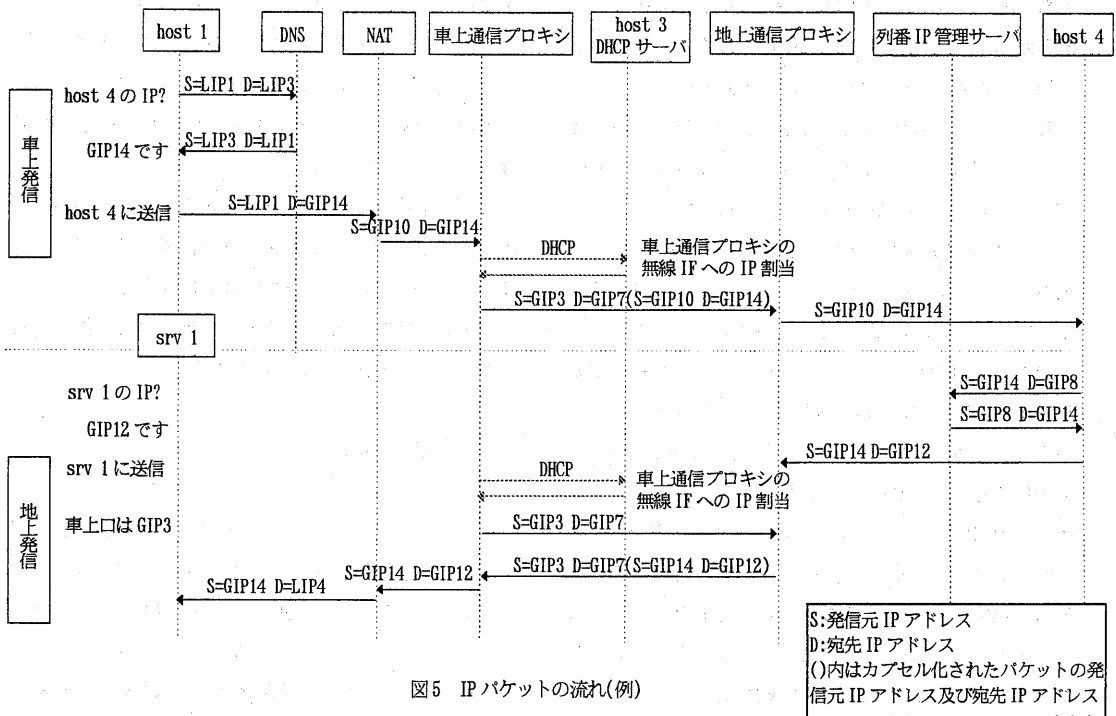


図5 IPパケットの流れ(例)

通信プロキシの動作として、まずユーザ、あるいはアプリケーションからの IP パケットを受け取った地上、あるいは車上通信プロキシは、最適な通信手段を準備、提供しなければならない。しかし列車の運行や緊急時の情報授受などの優先されるべき通信のために、いつでも確実に回線が確保できるようにすべきである。このため、通信プロキシが通信手段を確保するために必要と思われる判断情報は、IP パケットの宛先アドレス、送信元アドレス、サービスの種類などである。これにより高信頼性を必要とするユーザまたはアプリケーションなのか、低コスト性や即時性が求められるかどうかを判断する。また環境面では各通信手段が地理的にどこで利用可能なかどうかのデータベース、現在の列車の位置情報も必要である。鉄道の場合、位置に関しては運行管理システムや、運転制御のために自車の現在位置を測定している車上装置があり、それらとの連携である程度の位置予測がつく利点がある。これらの情報と現在の通信状態(既につながっている回線があればそれを利用するかどうか)から最適な通信手段を判断し回線を確保すると、対応する車上あるいは地上通信プロキシとの間でトンネルを確立する。

IP パケットの道筋ができると、次に通信プロキシは IP パケットをカプセル化してルーティングする。具体的な IP パケットの流れを図 4、図 5 に示す。図 4 における GIP、LIP は IP アドレスを示す。LNetwork は列車内ネットワーク GNetwork1 のうち列車内でクローズした IP アドレス体系 LIP が付与されているネットワーク部分である。GNetwork2 は地上通信プロキシが存在する地上ネットワーク、GNetwork3 は 1 つの駅構内ネットワークなどを想定している。R1、R1' は無線機器である。列車内ネットワークにおいて同じホストに GIP と LIP の 2 つの IP アドレスが書いてあるのは、実際の目的車上ホストには LIP が割り振られているが、地上あるいは他の列車上のホストは通信したい目的車上にあるホストの宛先 IP アドレスを GIP としてパケットを送信するからである。図 5 の車上発信の場合に従って IP パケッ

トの流れを解説する。車上ホスト 1 が地上ホスト 4 に送信する場合の手順は以下ようになる。

- ①車上の host1 は車上 DNS に送信先である地上の host4 の IP アドレスを問い合わせ解決する。
- ② host1 は宛先アドレスを GIP14、送信元アドレスを LIP1 として送信する。
- ③ LIP は列車内だけのクローズしたアドレスなので、NAT によって LIP1 を GIP10 に変更されて車上通信プロキシに送られる。
- ④車上通信プロキシは前述のように最適な通信手段を判断し回線を確保する。新たに回線を確保した場合には地上ネットワークの DHCP サーバ(例: host3)から IP アドレスが割り振られ(例: GIP3)、地上通信プロキシとの間でトンネルを確立する。
- ⑤ IP パケットをカプセル化してルーティングする。
- ⑥該当列車内ネットワークを代行している地上通信プロキシが一旦 IP パケットを受け取り、カプセル化していた IP パケットを元に戻す。
- ⑦最終的な送信先である host4 が受け取る。

地上ホストから車上ホストへの IP パケットの流れは、ほぼこの逆である。ただし、地上ネットワークにおける列車に関する DNS の役割をしているサーバを列番 IP 管理サーバとしている。

この「通信プロキシ」方式で考えられる課題としては地上通信プロキシが存在する地上通信サーバへの負荷であるが、複数のサーバによる負荷分散や、走行列車が有限台数なのでトラフィック予測がある程度可能であることで解決できると思われる。

3.3 列番 IP 管理サーバ

一般のインターネットにおいてはホスト名とその IP アドレスの解決に DNS が利用されるが、この提案システムにおける「列番 IP 管理サーバ」の機能としてはクライアントからは DNS とほぼ同様に見える。ただし、既存の DNS をそのまま利用できないのではないかとと思われる。

る、鉄道に特化した性質を実現するために列車 IP 管理サーバを提案した。

現在のモバイルコンピューティングでは、移動体側から固定ネットワーク上のサーバなどにアクセスする機会が多いが、鉄道の場合、列車内にサーバが存在し、地上からアクセスする必要のあるアプリケーションも十分考えられる。このような場合、車上ホストを地上から指定するためにユーザやアプリケーションから見ると[論理名-ホスト名] (組ホスト名) のような指定ができることが望ましい。想定している論理名は列車番号や路線、特定の区間などである。列車番号は 1 走行あるいは分割・併合のたびに变化する。また路線や特定区間に存在する該当列車は刻々と变化するため、同じ組ホスト名に対する IP アドレスも变化する。これら全部の列車の組ホスト名及び IP アドレスの対応を管理し、問い合わせに答える機能を持つのが列車 IP 管理サーバである。通常の DNS ではホスト名が頻繁に変更されることはないが、上記のように列車の走行状態が変化し、しかもそれが列車の本数分であるため、かなりの頻度での更新が想定される。更新の方法としては、1 走行の終了や出庫のタイミングで地上あるいは車上通信プロキシがトリガとなって変更要求する方法や、運行管理システムと連携して変更する方法が考えられる。これらを自動的に迅速に行う機能が列車 IP 管理サーバには必要である。

4. システムの実験構成

この提案システムを実現するために、課題や問題点の抽出及びその解決を行うための実験を進めている。今回は既存のプロトコルやプログラムを活用して静的な設定のみで実現できる範囲を確認するために、簡略化した実験系を構成した。

4.1 実験系の構成

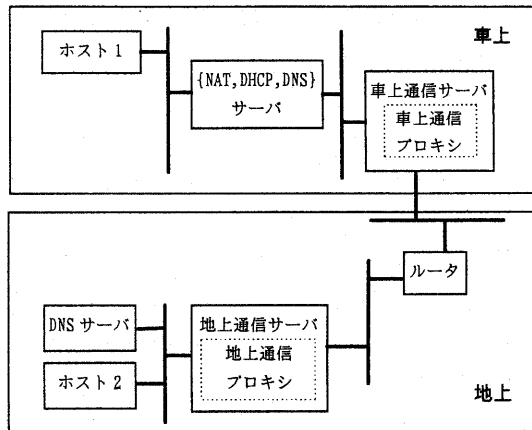


図6 実験構成図

実験系の構成を図6に示す。図6の上は列車内ネットワーク、下は地上ネットワークを模擬している。列車内ネットワークと地上のアクセスポイントは1つだけで、現在はLANで常時接続している。

(1)通信サーバ

車上通信サーバと地上通信サーバの間で固定的にGRE⁷⁾でトンネルを確立する。地上ネットワークにおいて車上ホスト向けのIPパケットは地上通信サーバに行くよう経路情報が設定されている。地上通信サーバは車上ホスト向けのパケットを受け取ると対象車上向けのトンネルに流すように設定している。車上通信サーバからのIPパケットはこの逆である。

(2)DNS

車上のDNSサーバが自編成内ネットワークに1つ存在し、自編成ドメインのプライマリサーバとなっている。自編成内ネットワーク上にないホストに関するホスト名解決は地上DNSサーバにフォワードするように設定している。地上DNSサーバには組ホスト名に関するエントリをスタティックに設定している。

4.2 検討課題

この設定で列車内ネットワークと地上ネットワーク上のホスト間で通信を行うことは可能であるが、ダイ

ナミックな構成変化には対応できない。今後の課題及び問題点は以下の通りである。

(1)地上から IP パケットを車上に送りたい場合、その時点で車上との回線が接続されていればそれを利用することが考えられるが、回線接続状況を地上通信プロキシが知るにはどうしたら良いか

(2)車上と地上の回線が接続される際に車上通信プロキシに割り当てられる IP アドレスを地上通信プロキシが知るにはどうしたら良いか。これが解決すれば(1)も解決する可能性がある

(3)列車の分割・併合時、乗務員交代時、走行線区変化時(幹線から支線に入った場合など)などには使用できる無線機が変化するが、通信プロキシはそれをどうやって検出するのか。またユーザやアプリケーションにとって最適な伝送路を判断する基準や実現手法はどのようなものか

(4)列車の分割・併合時には列車内ネットワーク構成が変化するが、今回の方式の延長として実現できるか

(5)列番 IP 管理サーバのエントリの書き換えタイミングは、アプリケーションがエントリ変更を確認するタイミングと異なる可能性があるので、列番 IP 管理サーバは車両の運用情報も考慮しなければならないかもしれない

(6)普通の DNS は負荷分散やリスク分散のためにプライマリとセカンダリ等があるが、列番 IP 管理サーバもそうした方がよい一方で、そのやり方や同期させる周期をどうするか

(6)QoS 保証やセキュリティ確保の手法をどのようにすればよいのか。特に列車制御へ適用する場合にはシステム全体でフェールセーフ性を保証しなければならない。

5. まとめ

鉄道において移動体である走行列車も含む IP ネットワークを構築する場合、一般的なモバイルコンピュー

ティングとは異なる環境や条件がある。大きく異なるのは①ユーザ(端末)が単体で移動するのではなく、列車内ネットワークそのものが時々刻々と移動してしまう、②ユーザやアプリケーションが扱い易い車内ホスト名にするために列車番号などの論理名を使ったホスト名体系にすると、物理的に同じホストが走行ごとに違うホスト名になってしまうことになる、③対地上通信では複数の通信手段を利用することができ、その選択ポリシーと選択方法が必要となる、などが挙げられる。本稿ではこれら IP ルーティング問題やホスト名指定、通信手段選択などを解決するためのネットワークシステムを提案し、簡単化したモデルによる実験を行い、課題を抽出した。今後は課題を解決するためのシステムの実装や実運用を考慮した性能評価等を行う予定である。

参考文献

- [1]関清隆、鈴木尚子、“鉄道における移動体 IP 通信”：情報処理学会第 61 回全国大会“、pp.3-453-454、2000.
- [2]鈴木尚子、関清隆、“鉄道における移動体通信システムの提案”：情報処理学会第 61 回全国大会、pp.3-455-456、2000.
- [3]加川一夫、“車掌用携帯電話番号登録システムについて”：第 36 回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム、pp.13-16、1999.
- [4]辺田文彦、“車掌用座席予約端末の開発”：第 36 回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム、pp.17-19、1999.
- [5]進藤、川崎、西田、“ミリ波による鉄道での移動体通信”：電気学会通信研究会、CMN-00-5、pp23-27、2000.
- [6]James D.Solomon 著、寺岡、井上監訳：“MobileIP”ピアソンエデュケーション、1998.
- [7]T.Li, et al., “Generic Routing Encapsulation (GRE)”、RFC2784、2000.