

## 列車用インターネットシステムの最適設計に関する一検討

新美祐介†, 森康祐‡, 金子晋丈†, 寺岡文男†

† 慶應義塾大学理工学部

‡ 慶應義塾大学大学院理工学研究科

## 1 はじめに

移動体通信では, ハンドオーバーによる通信切断が頻繁に発生する. 列車通信システムでは, 乗客の所持する端末が一斉にハンドオーバーが発生し, 遅延が増大する. ハンドオーバー遅延を解消するため, 列車に NEMO(Network Mobility) の手法を用いる研究が進められている. NEMO においては列車に MR(Mobile Router) を搭載し, 乗客には Wi-Fi を提供する. AR(Access Router) や HA(Home Agent) は地上に配置され, AR と MR 間は無線通信や赤外線通信で接続する. 各ノードの数や配置により, 物理的な距離やハンドオーバー回数が変動し, 遅延やスループットの性能差が発生すると考えられる. ネットワーク構成が列車用インターネットシステムに与える影響を調べるための第一歩として, 本稿では乗客が YouTube のようなアプリケーションを利用した場合の性能を測定する.

## 2 関連技術

## 2.1 列車用無線通信システム

列車用のネットワークシステムとして, 電波を使用して NEMO を実現する手法 [1] がある. 乗客が所持する端末は列車内の AP(Access Point) に接続され, 列車の移動に伴い AP がハンドオーバーする. ハンドオーバー遅延を削減できる一方で, 使用する電波の特性から帯域幅は小さい.

## 2.2 列車用赤外線通信システム

列車用無線システムと同様に, 列車に NEMO を導入する研究である. 通信速度の高速化のため, 列車地上間の通信に赤外線を使用する手法で, 数十 Gbps での通信が可能である [2]. 地上と列車に赤外線装置を設置し, 赤外光線を送受信することで通信を行うため, 沿線には多数の装置を設置する必要がある. 地上局は AR に接続されており列車との L2 ハンドオーバーを行う. 本稿では, 赤外線装置の使用を前提とし, シミュレーションを行う.

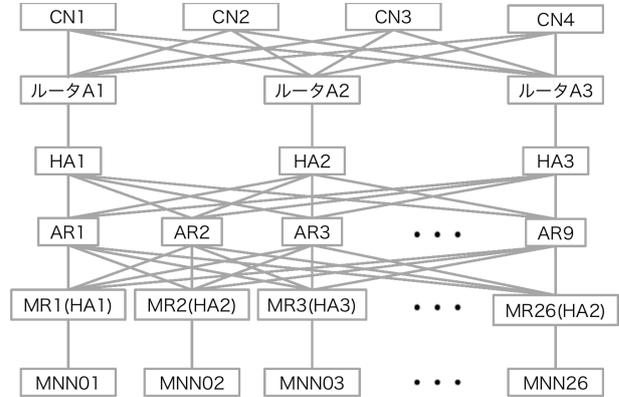


図 1: シミュレーションのトポロジ

## 3 シミュレーション環境

## 3.1 シミュレーションツールとノードの配置

シミュレーションにはオープンソースのネットワークシミュレータ ns3 を使用した. シミュレーションに使用したトポロジを図 1 に示す. CN(Correspondent Node) はコンテンツを提供するサーバである. ルータ A は鉄道事業者がインターネット接続を提供するプロバイダのルータであり, HA とは 1 対 1 のリンクを持つ. HA と AR は鉄道事業者が保有し駅に設置されたルータで, MR は列車内に搭載され乗客の端末が接続するルータである. MNN(Mobile Network Node) は乗客の所持する端末で, 4 つの CN を均等に使用する. 図 1 のトポロジを基本に, HA と AR の配置を変更する.

各リンクの帯域や遅延は表 1 に示す通りである. 帯域は, 赤外線通信を行う AR - MR 間で 10Gbps である以外, 全て 1Gbps で統一した. 遅延は, 相対的な移動がないリンクについては定数を, 位置関係が変動するものは各ノード間の距離に応じた値を設定した. HA - AR 間では, 光ファイバを伝播する光の速度を 200,000km/s, HA - AR 間の距離を設置された各駅間の距離として遅延時間を求める. AR - MR 間でも同様に求め, AR のカバー範囲での平均遅延を求めて使用する.

各 HA は偏りなく使用され, 複数の HA が存在する場合, 隣り合う MR は異なる HA を使用する.

表 1: 各リンクの設定

リンク	帯域	遅延
CN - ルータ A	1Gbps	5ms
ルータ A - HA	1Gbps	5ms
HA - AR	1Gbps	ノード間距離に応じる
AR - MR	10Gbps	ノード間距離に応じる
MR - MNN	1Gbps	0ms

### 3.2 ハンドオーバー

ハンドオーバーのタイミングは、列車が AR を持つ駅間の中央に到達する時点とし、実際の運行ダイヤを元に計算する。AR - MR 間はフルメッシュでポイントツーポイントのリンクを作成し、ハンドオーバータイミングで接続が切断される AR のインタフェースをダウン、接続が開始される AR のインタフェースをアップさせる。AR は MR に RA(Router Advertisement) を送り、受け取った MR が AR を介して HA と BU(Binding Update) と BA(Binding Acknowledgement) で通信が可能となる。

### 3.3 乗客のネットワーク使用モデル

列車内での乗客によるネットワークの使用モデルについて検討する。本稿では、YouTube などの共有系動画サービスの利用を想定する。YouTube のトラフィックパターンを調査した結果、ある動画の再生開始時の読み込みを除き、20 秒ごとに 1.7Mbytes のデータを受信していることが確認できた。4 台の CN を YouTube のサーバ、MNN をクライアントに見立て、20 秒に 1 度サーバから 1.7Mbytes のデータを受け取るアプリケーションを実行することで、ユーザの動作をシミュレーションする。ブラウジングやメールはネットワークに与える影響が小さいため、想定しない。

### 3.4 鉄道路線のモデル

本稿では、京王井の頭線をモデルとした。路線の総延長は 12.7km、最大 26 編成が走行する路線であり、1 列車が路線の始点から終点到着するまでの約 24 分間のシミュレーションを行なった。今回のシミュレーションでは利用客の多い通勤ラッシュ時を想定し、上下線合わせて 26 編成が 134 秒間隔で出発する。1 編成当たりの定員は 750 人だが、1 台の MNN を代表として使用する。

## 4 評価

図 2 にシミュレーション結果を示す。HA が 1 台の場合、全てのパケットが通過するため、HA - ルータ A

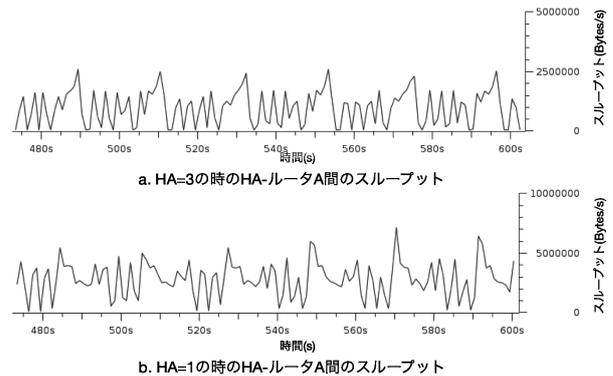


図 2: ルータ A - HA 間のスループット

間がボトルネックとなる。今回は各列車 1 台の MNN が 1 つの接続しかしないため最大約 53Mbps に留まったが、各列車で乗客の約 5% に当たる 40 人が接続した場合、1Gbps の帯域を超えてしまう可能性が高い。一方、HA が 3 台の場合、スループットは最大約 20Mbps であり、より多くのユーザが使用可能となる。乗客の多い通勤路線では HA を複数配置すべきだと考えられる。

## 5 おわりに

本稿では、列車用インターネットシステムの設計に向けて、HA と AR の配置方法について検討した。HA 数を増加させることで、ISP と HA の間のリンクの負荷分散が可能である。AR 数を増加させるとハンドオーバー遅延が増大するため、短距離路線には AR を多く置く必要はないことが確認できた。今後の課題として、MNN で複数のクライアントを立ち上げ、より実環境に近いシミュレーションや長距離路線でのシミュレーションが挙げられる。

## 参考文献

- [1] Jiangzhou W., Z. Huiling, and N.J. Gomes. Distributed antenna systems for mobile communications in high speed trains. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 30(4):675-683, May 2012.
- [2] K. Mori, M. Terada, K. Nakamura, R. Murakami, K. Kaneko, F. Teraoka, D. Yamaguchi, and S. Haruyama. Fast handover mechanism for high data rate ground-to-train free-space optical communication system. In *Globecom Workshops Optical Wireless Communications*, pages 499-504, Dec 2014.