

鉄道沿線の簡易な通信システム構築手法の実験的評価

信号通信技術研究部 通信

研究室長 関 清隆

1. はじめに

列車無線をはじめとする鉄道の通信システムでは、カバーエリア、サービス品質等の要求仕様を満たすよう綿密な設計を行った上で、無線基地局や有線伝送路等の固定設備を配置している。そのため、一旦システムの導入が完了した後は長期間にわたって所望の通信品質を確保することができる反面、稼動開始までに要する時間やコストがきわめて大きなものになる。これに対して、十分な通信品質は保証されなくても簡便に臨時通信回線を鉄道沿線に構築したい場合がある。例えば、十分な通信帯域が確保できない場所や通信設備そのものが破壊された場所で発生した災害や事故等の状況を把握する場合である。アドホックネットワークと呼ばれる通信技術はこのような要求に応えることのできる技術であり、標準化や製品化が進んでいる。

本稿では、まず市販の製品を使って鉄道沿線通信システムを想定して行った伝送実験の結果と課題を述べ、それを解決するために試作した伝送システムを紹介し、所内実験により期待した特性が得られたことを述べる。

2. アドホックネットワーク技術

アドホックネットワークとは、基地局のような通信インフラに依存せず通信端末のみが集まることによって構成されるネットワークであり、通信インフラのない場所での通信を可能とすることを目的としている。そのため、端末が移動した場合など環境が変化した場合にも宛先となる端末までの伝送経路を自動的に発見する機能や、他の端末間でやりとりされるデータフレームを中継する機能が、各端末に必要となる。伝送路としては、一時的ネットワークの構成に適する無線媒体(例えば無線 LAN や Bluetooth)が使用されることが一般には多い。なお、有線伝送路や固定的な設備を含んでいても、他の端末を中継装置として利用する機能(マルチホップ通信機能)をもつノードから構成されるネットワークのことも、アドホックネットワークと呼ぶこともある。

アドホックネットワークを実現するための通信プロトコルの標準化は IETF (Internet Engineering Task Force) で行われており、またこれを実装したルータや農場監視システム等市販の製品も登場している。

3. 標準プロトコルを実装した市販製品の伝送特性

所内の試験線の沿線に6台の市販のルータを配置した(図1)。IPアドレスや使用する無線チャネルのような基本的な情報を設定するだけで、電源投入後約1分でアドホックネットワークが自動的に構成され、簡易なネットワーク構築手法として適用可能であることを確認した。

ネットワークの伝送特性の実験結果は、下記の通りである

(1) 往復遅延時間

一般的には、2台のルータ間の距離が離れるほど無線ホップ数が増加し平均往復遅延時間は増大するが、通信経路を構成する個々の無線リンクの品質にも依存する。平均往復遅延時間はルー

タ1～ルータ3の間で6msであったが、ルータ1～ルータ6の間では70msとなった。

(2) TCP 実効転送速度と画像伝送

ルータ1～ルータ5の間での実効転送速度は約2.8Mbpsであったが、ルータ1～ルータ6間では約890kbpsに低下した。実効転送速度が低い場合は、データロスによる再送待ちのために無通信状態が発生していた。

また、ルータ6にカメラ

ラを接続しルータ1に画像伝送を行ったところ、解像度が640x480ピクセルの画像を毎秒1～4フレーム送信することができた。

(3) 経路切替

ルータ5に接続したPCからルータ1に接続したPCに向けて連続してデータを送信している状態で、中継ノードとして動作しているルータ4の電源をオフした。すると、約1秒間程度ではあるがデータフレームのロスが発生し、その後別の伝送経路が確立して伝送が再開した。また、使用中の無線回線が車両により遮蔽された場合にも一時的な通信断の時間が発生した。

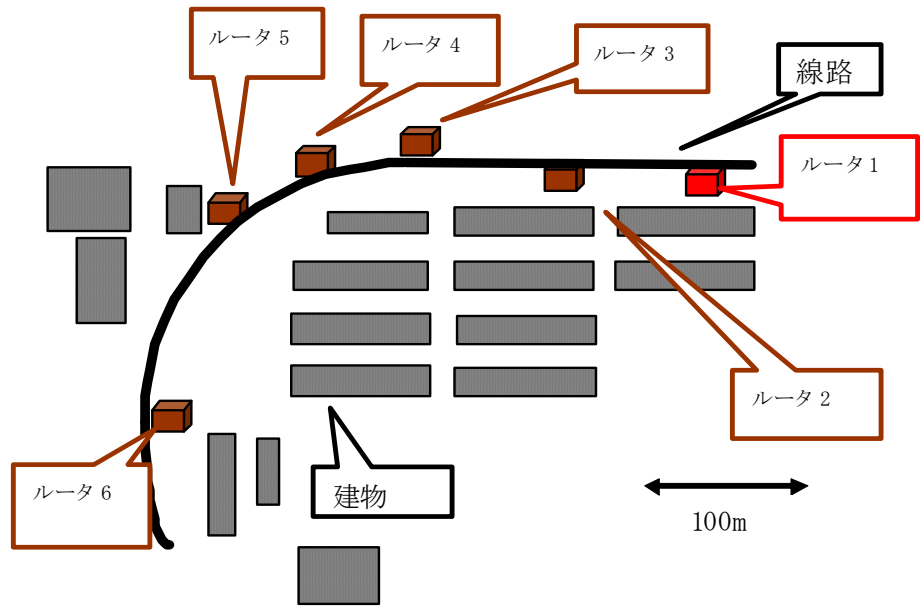


図1 市販装置による所内実験の構成

4. 通信ノードの試作と所内実験

標準化されたプロトコルに基づく市販製品では、まず発信元ノードから宛先ノードまでの適切な経路を確立し、その後個々のデータフレームを1つずつ送信する。一般的には、無線帯域は狭くその効率的な使用が最も重要なため、この動作が望ましい。しかし、鉄道で使用する場合には、効率よりも伝送の信頼性、装置の故障や無線への妨害に対する頑健性が重視される場合がある。市販製品は、構築の簡便性には優れているが、伝送の安定性の向上や無通信時間の短縮については改善の必要がある。これは、伝送媒体に無線チャネルしか使用していないことが主な要因である。そこで、ネットワーク構築の簡便性は低下するが、有線と無線を併用することで伝送の信頼性を向上する通信ノードを試作した。



有線 LAN インタフェース

無線 LAN インタフェース
(PCMCIA カード)

図2 試作した通信ノードの外観

4.1 試作した通信ノードの仕様

通信ノードは、有線 LAN(100BASE-T)と無線 LAN(IEEE802.11b)インタフェースを2つずつ持つ。

図 2 に通信ノードの外観を示す。この装置自体は、2つの有線 LAN インタフェースと 2つの PCMCIA スロットを持つ汎用の小型 Linux Box であり、PCMCIA スロットに無線 LAN カードを挿入している。

通信ノードは、表 1 に示す 3 種類(カメラノード、ゲートウェイノード、リレーノード)がある。データ伝送は、カメラノードとゲートウェイノードとの間で行われる(図 3)。

表 1 通信ノードの種類

種類	概要
カメラノード	このノードには、IP カメラや PC を有線 LAN で接続し、ゲートウェイノードとの間でデータを送受信する。ネットワーク内に複数のカメラノードがあってもよい。
ゲートウェイノード	このノードには、カメラノードから送られてきた画像を表示する PC 等を有線 LAN で接続する。ネットワーク内には 1 つだけ存在する。
リレーノード	このノードは、カメラノードとゲートウェイノード間のデータフレームを中継する。ネットワーク内には複数のリレーノードがあってもよい。

4.2 通信ノードの基本的な動作

カメラノードは、接続する IP カメラ等からデータフレームを受信すると、ネットワークを構成する 3 つのインタフェース(有線 1 つと無線 2 つ)からデータフレームを送信する。

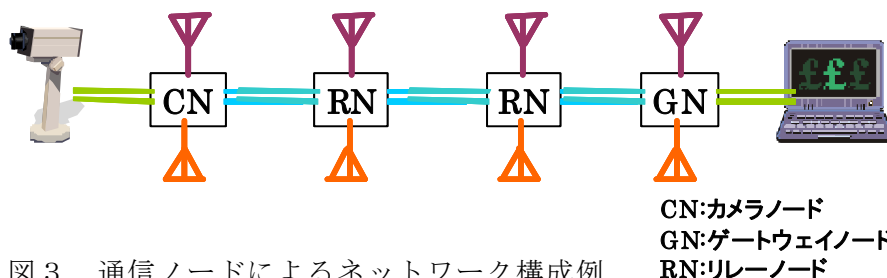


図 3 通信ノードによるネットワーク構成例

リレーノードは、受信したデータフレームを、以下のようにして再送する。

- (a) 無線インタフェースで受信したら、同一無線インタフェースから再送信する。
- (b) 有線インタフェースで受信したら、もう一つの有線インタフェースから再送信する。

最終的にゲートウェイノードは、最大 3 個の同一データフレームをカメラノードから受信する。ゲートウェイノードは最も早く到着したデータフレームを有線インタフェースに接続している PC に伝送し、遅れて到着した残りのデータフレームは廃棄する。これにより、通常は最も伝送遅延時間の短い有線チャンネル経路のデータフレームが採用される。有線チャンネルに障害が発生しても、無線チャンネルを通過してきたデータフレームを即座に利用できるため、伝送が途切れることがない。なお、ゲートウェイノード→カメラノードのデータフレームの流も同様である。

4.3 所内実験

所内に 12 個の通信ノード(ゲートウェイノード 1 個、カメラノード 2 個、リレーノード 9 個)を配置して伝送性能を測定した(図 4)。ノード 1~8 は、LAN ケーブルで直列に接続している。なお、ノード 9~12 は、下記(3)の実験の場合のみ使用した。

(1) 往復遅延時間

ゲートウェイノードといずれかのカメラノード(ID=5 または 8)との間の応答時間を測定した。有線 LAN が使用可能な状態では 1 リンク当たり約 0.75ms の応答時間の安定した伝送が行われてい

た。一方有線ケーブルをとりはずして無線 LAN2 チャンネルのみで伝送させた場合には、ノード 1~5 の間(3 ホップ)で約 35ms となった。

(2) TCP 実効転送速度と画像伝送

ゲートウェイノードとカメラノードの間の実効転送速度は、有線伝送の場合は、ノード 8 との間(有線 7 リンク)でも 7Mbps 以上の転送速度が得られ、無線 LAN のみの場合はノード 5 との間(無線 3 ホップ)で 240kbps 程度の伝送が可能であった。

次に、いずれかのカメラノード(ID=5 または 8)に接続した IP カメラからの画像をゲートウェイノードに接続した PC で表示させて主観評価を行った。

LAN ケーブルを接続したときは、ノード 5 及びノード 8 のどちらからでも、解像度が 640x480 ピクセルで 15 フレーム/秒のフレームレートの画像が転送でき、また両方のカメラから同時に画像を転送することも可能であった。一方、LAN ケーブルをはずしたときには、ノード 8 からの実用的な画像伝送は不可能であり、ノード 5 からは解像度が 240x180 ピクセルで 15 フレーム/秒の画像がほぼ問題なく転送できた。

(3) 経路切替

ノード 5 から有線 LAN を使って画像伝送を行っている最中にノード 3 とノード 4 の間の有線ケーブルを切断した場合にも、画像は途切れることなく連続的に表示されることを確認した。さらに、有線ケーブルを切断した状態で、ゲートウェイノードの 2 つの無線 LAN チャンネルを交互にダウンさせた場合にも受信画像に変化はなく、複数の伝送媒体を併用する効果を確認した。

5. おわりに

鉄道沿線に簡便に構築できる臨時通信ネットワークが必要とされる場合があり、さらにある程度の伝送の信頼性や頑健性まで求められる場合もある。試作した装置は、信頼性を高めるために有線と無線を併用することもでき、また即座のネットワーク構築が必要な場合には無線のみでも利用可能であることから、どちらの状況にも適用可能である。所内実験により、3 ホップ程度までであれば十分な性能が得られ、またケーブルやノードに障害が発生しても伝送が継続することを確認した。

なお、本研究の一部は、国土交通省の補助金を受けて実施した。

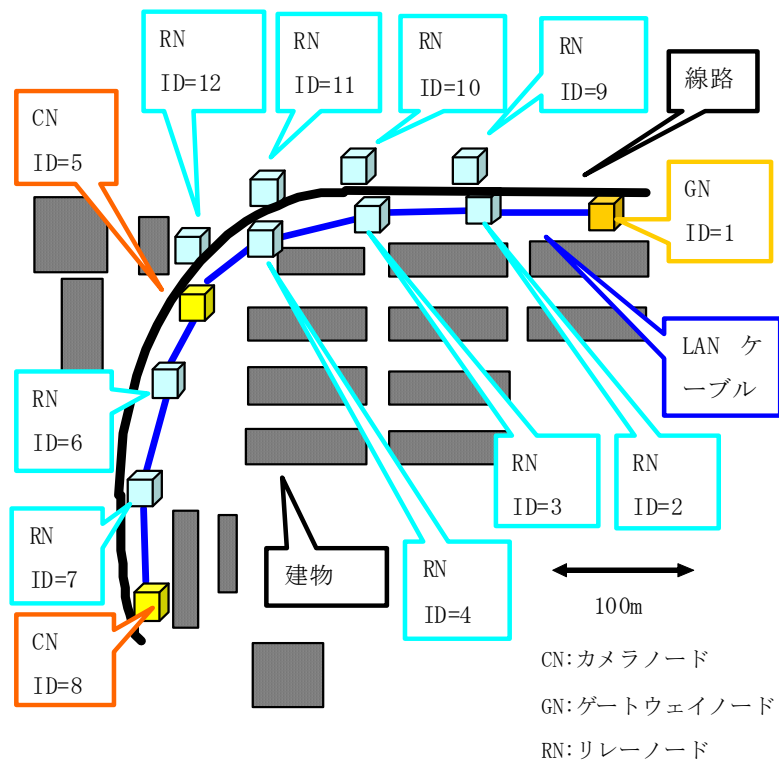


図 4 通信ノードの所内実験構成