

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

運行に関わる情報を共有する 統合情報ネットワーク

現在の鉄道システムでは、系統ごとに情報を収集・伝送する仕組みをそれぞれ構築しており、情報の様式や形態が異なっていることから情報を共有することが難しくなっています。そこで、列車の運行に関わる情報を系統間で共有するための統合的な情報ネットワークの検討を行い、ネットワークの基本構成や通信プロトコルの提案を行いました。さらに、提案した機能の一部である経路選択機能について、シミュレーションによる確認を行い、提案プロトコルの有効性を確認しました。



中村 一城
Kazuki Nakamura
信号・情報技術研究部
ネットワーク・通信研究室
室長
【専門分野】無線通信システム、EMC



川崎 邦弘
Kunihiro Kawasaki
信号・情報技術研究部
部長
【専門分野】無線通信システム、EMC



竹内 恵一
Keiichi Takeuchi
信号・情報技術研究部
ネットワーク・通信研究室
主任研究員
【専門分野】有線通信システム、誘導障害



流王 智子
Satoko Ryuo
信号・情報技術研究部
ネットワーク・通信研究室
副主任研究員
【専門分野】データ分析、センサーネットワーク

はじめに

鉄道システム内には列車の運行・保守・旅客サービスなど、さまざまな業務を遂行するために多くの情報が流れています。従来の鉄道システムでは、運転・施設・車両・電気・営業などの系統ごとに情報を収集・伝送する仕組みをそれぞれ構築していることから、情報の様式や形態が異なり、系統間で情報を共有することが困難となっています。しかし、近年のICTの急速な発展・普及にともない、最新の無線通信技術・ネットワーク技術を活用して各系統の情報を共有することで、新しい運行制御方式を実現できる可能性が高まっています¹⁾²⁾。

そこで、列車の運行制御に関わる情報を系統間で共有できる統合的な情報ネットワークのあり方を検討しました。

鉄道システムにおける情報の流れ

列車の運行制御に関わる情報を系統間で共有できる統合的な情報ネットワークを検討するにあたり、現状の鉄道システム内を流れている情報の形態や量などを整理しました³⁾。その結果、いずれの系統においても、情報の流れ

は系統内での発信・受信が中心であり、ほかの系統への情報伝送は、指令経由で行われていることが改めて確認できました。このため、他系統の情報を必要とする場面でも、リアルタイムで最新の情報を得ることが難しい構成であるといえます。

列車運行向け統合ネットワークの検討

前章に示した調査結果より、現状の鉄道システムにおいて系統間で情報を共有するためには、指令経由ではなく、異なる系統の情報を同じネットワークで伝送することが望まれます。その場合、さまざまな情報が同じネットワーク内を流れるため、ネットワークは単なる「伝送路」としてだけの役割だけでなく、情報の種類や優先度に応じて共有・分配する機能を持たせるなど、賢いネットワークとする必要があるといえます。そこで、列車の運行制御に関わる情報を業務分野間で共有できる統合情報ネットワークのあり方を検討しました。**新たなネットワークの基本的な考え方と前提条件**

従来のネットワークにおいては、

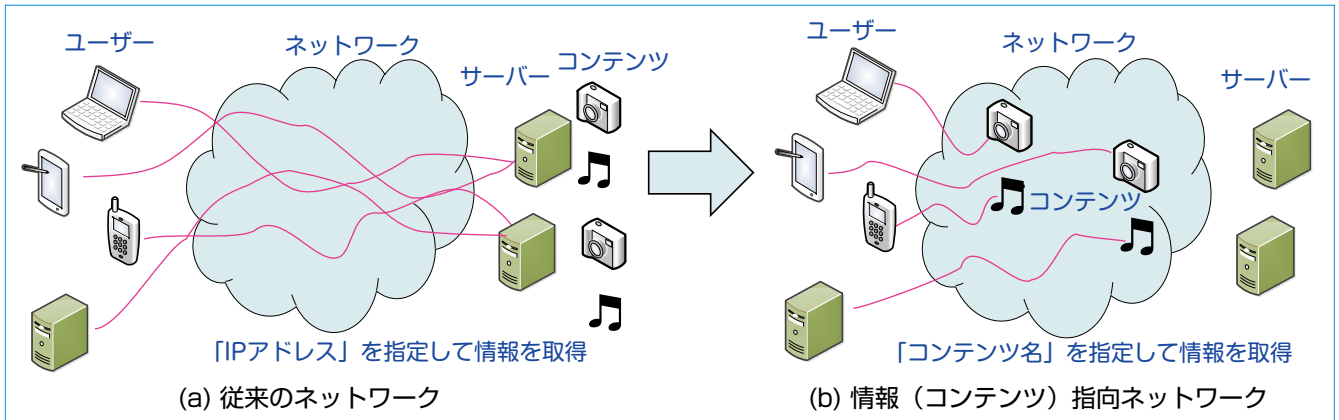


図1 従来指向ネットワークと情報(コンテンツ)指向ネットワークのイメージ²⁾

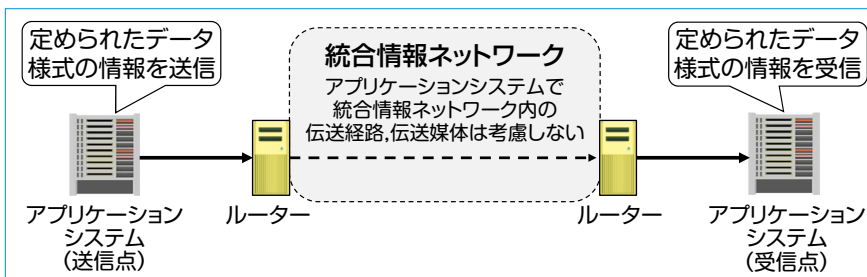


図2 統合情報ネットワークの基本構成

表1 ルーターに付加する機能

No.	機能
①	伝送フォーマット変換
②	通番確認、送達確認
③	伝送媒体の選択
④	再送・伝送エラー処理
⑤	情報の蓄積
⑥	伝送媒体の状態把握
⑦	経路テーブルの交換

ユーザーが欲しい情報を得ようとした場合、その情報を保有する相手先を指定して通信を行うことで情報を得ました。これに対し、ユーザーが求める情報を指定するだけで、その情報のある場所を知らなくとも所望の情報を得ることができるようなネットワークの形態、情報(コンテンツ)指向ネットワーク(ICN: Information Centric Network/CCN: Contents Centric Network)と呼ばれるネットワークの考え方が提案されています⁴⁾。

新たに提案する統合情報ネットワークでは、このICN/CCNの考え方に、ネットワークを流れる情報の優先度に応じてデータの流れを制御するQoS制御(☞参照)やエッジ処理と呼ばれる技術を組み合わせ、アプリケーションシステムが、送受信間の伝送経路や伝送媒体、情報の優先度を意識することなく、鉄道運行に必要な情報を伝送することを目標としています。

統合情報ネットワークの基本構成

統合情報ネットワークの基本的な構

成を図2に示します。送信者はデータ様式にしたがった情報を送信し、受信者はこのデータ様式の情報を受信します。アプリケーションシステムと統合情報ネットワークとの境界点に、後述するような鉄道運行向け情報を制御する機能を実装したルーターを設置することで、情報の用途や優先度に応じて、適切な伝送経路や伝送順序などを制御します。また、現在世の中に広く普及しているIPネットワーク⁵⁾が、鉄道分野でもさまざまなシステムに用いられていることから、提案する統合情報ネットワークもIPネットワークを利用することを前提としています。具体的には、アプリケーションと情報ネットワークの境界点に設置するルーターに、既存のIPネットワークで使用されているフレームフォーマットを提案する統合情報ネットワークのフレームフォーマットに変換する機能を持たせることで、既存のIPネットワークをそのまま統合情報ネットワークとして利用可能とする予定です。

通信プロトコルの検討

ネットワークにおいて、通信を行うためには、そのルールを定める必要があります。それを「通信プロトコル」(☞参照)といいます。とくに現状の鉄道システムでは、系統ごとに異なる様式や伝送方法を使用していることが、情報共有への課題となっていたことから、新たに提案する統合情報ネットワークでは、伝送する情報の様式(フレームフォーマット)をあらかじめ定めることとしました。

情報伝送を制御するための機能として、7つの機能(表1)を持たせること

☞ QoS制御 (Quality of Service)

ルーターにおいて、たまったパケットの優先度に応じて、処理の順位を制御する機能のこと。

☞ プロトコル

コンピューター同士が相互に通信を行うために決められた約束事のこと、通信規約ともよばれる。人間の会話に例えると、日本語や英語などのように会話する言語を決めるようなもの。

とし、上述したフレームフォーマットとともに、鉄道向けの統合情報ネットワーク用プロトコルRITP (Railway Information Transfer Protocol) として定義しました。

フレームフォーマット

前述したように、統合情報ネットワークでは、情報の種類や用途、信頼性に応じて伝送媒体や経路の選択、蓄積などを行うため、それらの情報を含んだデータ様式を定める必要があります。RITPにおけるフレームフォーマットの案を図3に示します。図3のフォーマットは、従来のIPネットワークにおけるパケットのフレーム

発信元 IP	宛先 IP	情報の種類・用途	伝送の信頼性	発信時刻	データ量	ユーザーデータ	チェック符号
4 byte	4 byte	2 byte	2 byte	4 byte	4 byte	(最大300M byte)	4 byte

図3 フレームフォーマット案

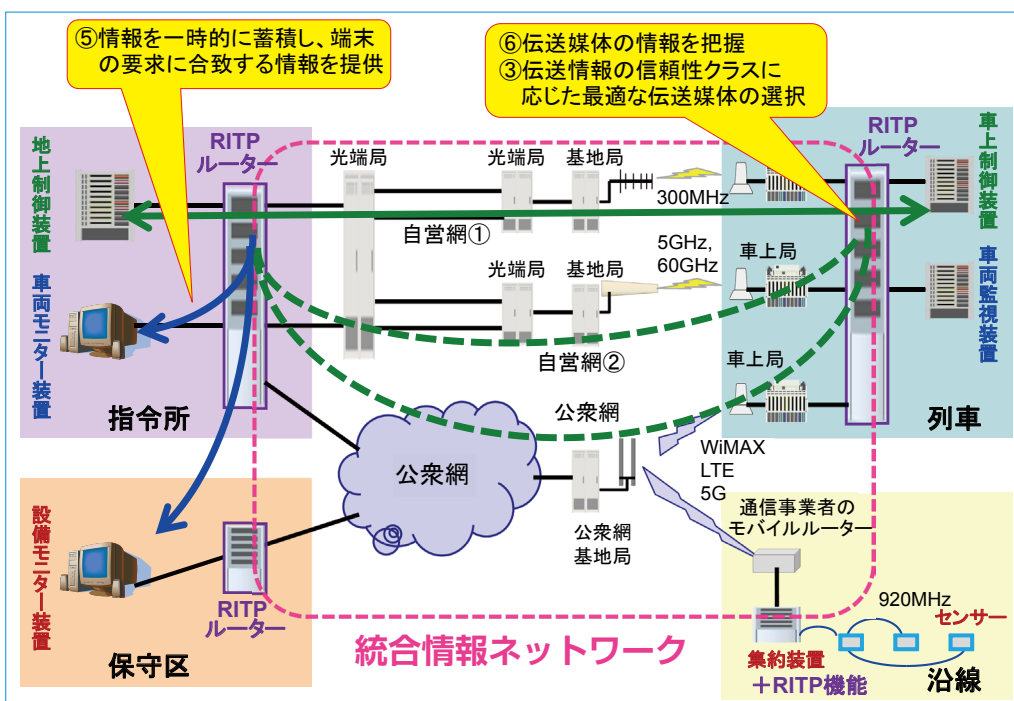


図4 提案するプロトコル (RITP) の動作例

フォーマットを基に、伝送する情報の種類・用途を表すフィールドと、伝送に対する信頼性の要求を指定するフィールドを付加した構成となっています。信頼性の要求については、許容できるデータの遅延時間と損失率を、表2, 3に示すようにそれぞれ5つのクラスに分けて定義し、情報の種類・用途に応じて遅延時間と損失率を個別に指定できるようにします。たとえば、遅延時間については、音声のように遅延が最も許されない情報は、VoIPにおける携帯電話相当の評価基準である150ms以下 (D1) とし、在来線における列車制御の情報は1秒以下 (D3) とするような、クラス分けが考えられます。

鉄道用統合情報ネットワーク用プロトコルの機能

RITP ルーターは前述した①～⑦の

機能を持っており、このうち、②, ④, ⑦の機能は一般的なルーターと同様の機能ですが、①, ③, ⑤, ⑥の機能は、QoS制御の技術を基に鉄道向けにカスタマイズしたものです。とくに、⑥の機能によってRITPルーター間での伝送路の状態を各RITPルーターが把握し、③の機能によって伝送媒体を選択する動作と、⑤の機能によって伝送する情報を一時的にRITPルーター内に蓄積し、端末からの要求に合致する情報を提供する動作の2つが提案ネットワークにおける特徴です。これらの機能により、図4に示すように、従来のような1対1通信だけでなく、複数の伝送路を同時に利用して信頼性を上げる、あるいは一時的に蓄積されているデータを別システムの端末の要求に応じて提供する、といったことが可能となります。

シミュレーションによるRITP機能の確認

前章までで述べたRITPの機能の一部である、情報の優先度に応じて適切な伝送経路や伝送順序などを制御する機能を確認するため、小規模なネットワークをモデル化し、ネットワークシミュレーターによるシミュレーションを試行しました。

シミュレーション条件

シミュレーションを行うためのネットワークの基本構成として、運行に係るあらゆる情報を地上の制御装置に集約するような情報ネットワークを想定しました(図5)。想定した情報ネットワークの基本構成を基に、地上制御装置、車上制御装置から構成される制御用のネットワークと、センサーネットワークを組み合わせた小規模なシミュレーションモデルを作成してシミュ

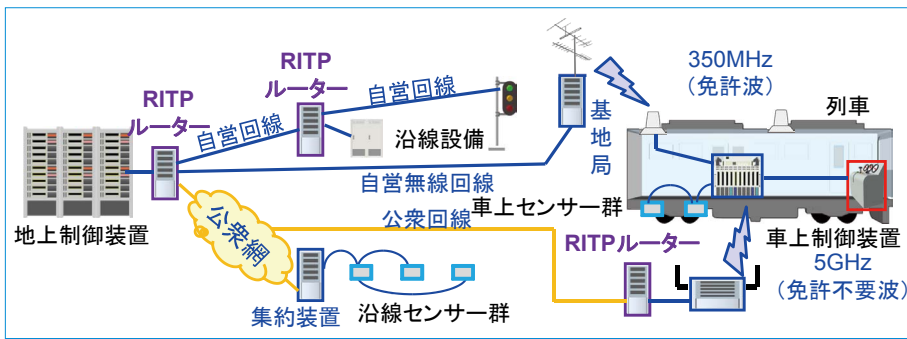


図5 統合情報ネットワーク構成の一例

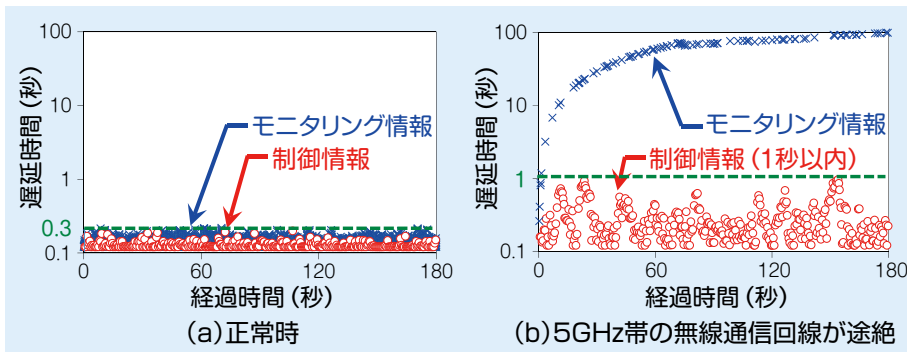


図6 シミュレーション結果の例

レーションを実施しました。シミュレーションモデルでは、制御装置やセンサーなどの各ノードを線路沿線と車両に配置し、RITPの機能の一部（情報の種類と伝送路の状態に応じて伝送経路を切り替える機能）を実装したルーターを介して各ノードを接続するネットワークとなっています。RITPルーター同士は350MHz帯の低速・高信頼(9.6kbps, 電文損失率 10^{-3} 以下)の自営無線通信回線と、5GHz帯の高速・低信頼(1Mbps, 電文損失率 10^{-1} 以下)の公衆無線通信回線の2種類の伝送媒体によって接続されています。

シミュレーション結果

シミュレーションは、汎用のネットワークシミュレーター (OMNeST) を使用して実行しました。シミュレーションシナリオとしては、車上からセンサー群の情報と制御装置の情報を地上の制御装置に伝送する際に350MHz帯・5GHz帯とも正常の通信状態と、5GHz帯の無線通信回線が途絶した場合の2種類の状態を設定しました。

シミュレーションの結果を図6に示

します。図6 (a) は両周波数帯とも正常な場合、図6 (b) は5GHz帯の無線通信回線が途絶した場合の結果であり、横軸は経過時間(秒)、縦軸は情報の伝送遅延時間(秒)を示しています。図6 (a) では、制御情報・モニタリング情報とも伝送遅延が300ms以内となっているのに対し、図6 (b) では伝送遅延が大きくなっているものの、制御情報は、設定した許容伝送遅延時間である1秒以内に収まっており、RITPの機能によって情報に要求される許容遅延時間のクラスに応じた伝送の制御が適切になされていることが確認できました。

おわりに

列車の運行制御に関わる情報を系統間で共有できる統合的な情報ネットワークのあり方を検討し、ICN/CCNやQoS制御の機能を参考に、鉄道向けの機能を加えた情報共有ネットワークの構想と、そこで用いる通信プロトコルの提案を行いました。またそして、提案手法の一部機能についてシミュ

表2 許容遅延のクラス分けの例

要求品質のクラス	許容遅延
D1	$\leq 150 \text{ ms}$
D2	$\leq 400 \text{ ms}$
D3	$\leq 1 \text{ sec}$
D4	$\leq 1 \text{ min}$
D5	$\leq 10 \text{ min}$

表3 許容損失率のクラス分けの例

要求品質のクラス	許容損失率
L1	$\leq 10^{-3}$
L2	$\leq 10^{-2}$
L3	$\leq 10^{-1}$
L4	< 0.5
L5	< 1

レーションを行い、実現に向けた有効性を確認しました。

今後は、RITP機能の実現に向けたプロトコル実装方法の検討、鉄道におけるサイバーセキュリティに関する調査を進めるとともに、提案する統合情報ネットワークの一部の機能を鉄道総研所内に構築して各種検証を行い、鉄道運行向け統合情報ネットワークの実現に向けた取り組みを進めていく予定です。[RRR]

文献

- 1) 平栗滋人：鉄道におけるICT活用に関する研究開発，鉄道総研報告，Vol.31, No.3, pp.1-4, 2017
- 2) 川崎邦弘：信号通信分野におけるICT活用に関する研究の動向，鉄道総研報告，Vol.32, No.5, pp.1-4, 2018
- 3) 竹内恵一，川崎邦弘，流王智子，寺田夏樹，祇園昭宏，辰井大祐：鉄道の運行に関する情報の流れをみる，RRR, Vol.75, No.2, pp.16-19, 2018.2
- 4) 中里秀則：コンテンツ指向根とワーク，映像情報メディア学会誌，Vol.69, No.3, pp.253-255, 2015
- 5) 日本鉄道電気技術協会：鉄道通信ネットワーク，日本鉄道電気技術協会，2016