

鉄道向け統合ネットワークおよび 高機能ルータの提案

情報通信技術研究部 通信ネットワーク研究室

主任研究員 流王 智子



目次

- 背景
- 鉄道向け統合ネットワーク
- 高機能ルータ
- プロトタイプシステムへの実装
 - ID-IP変換機能
 - 回線切替機能
 - プロトタイプシステムを用いた検証結果
- まとめと成果の活用

背景

◆ 鉄道システムにおける情報通信

- 列車運行に係る情報(制御情報、指令通信、沿線監視情報など)
- メンテナンスに係る情報(車両状態情報、各種センサ情報など)
- 情報サービスに係る情報(本支社間通信、改札情報など)

◆ 自営通信ネットワークによる伝送

- 専用設備によるネットワーク
列車無線、無線式列車制御システム、
防災システム、変電所制御 など
- 汎用設備によるネットワーク
情報サービス系設備、車両状態監視情報 など

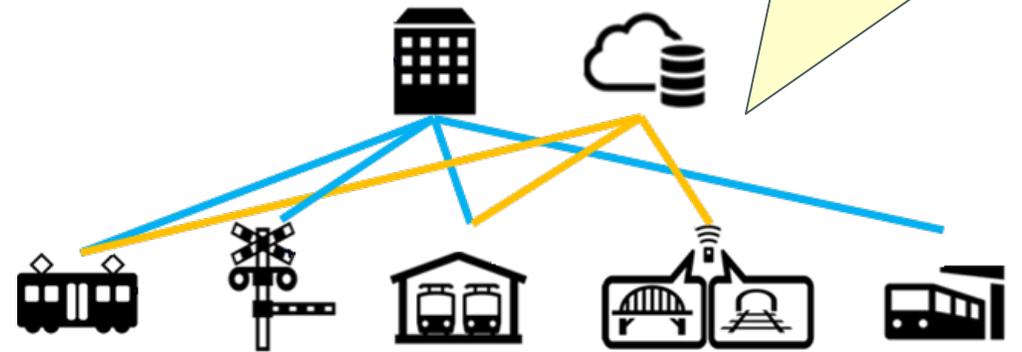
メリット

用途に適した選定と設計
安定した運用

課題

免許申請
導入・メンテナンスコスト

系統や設備ごとに別々の
自営回線でネットワークを構成



背景

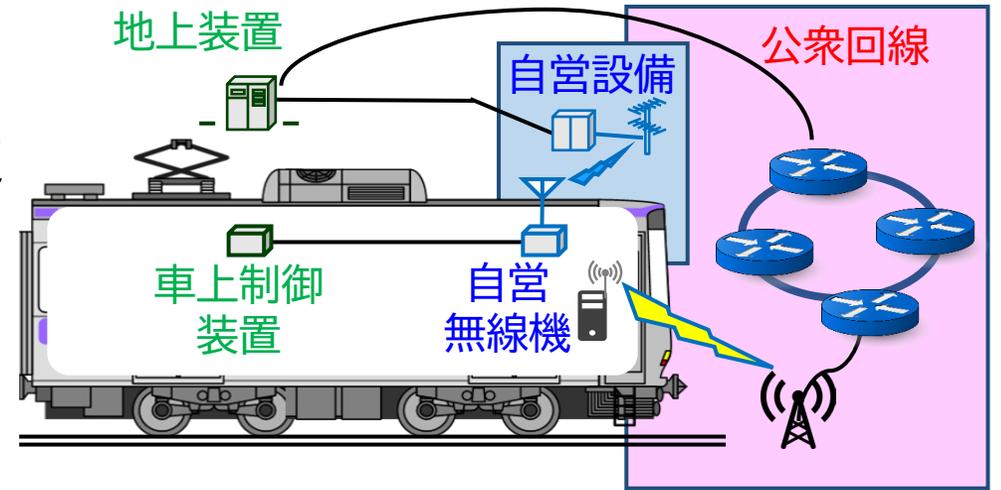
◆ 公衆通信サービス活用への期待

- メンテナンスの高度化
 - 自動運転の実現
 - 設備の維持管理にかかる負担の軽減
- 通信需要の増大

◆ 公衆通信サービス利用の問題点

- 自営回線からの置き換えに関する検討
- 自営回線との併用を考慮したネットワーク構成
- 通信品質の安定性および通信サービスの継続性の確保

➡ 鉄道向け統合ネットワークを提案



鉄道向け統合ネットワーク

➤ 利用可能な任意の伝送媒体を併用

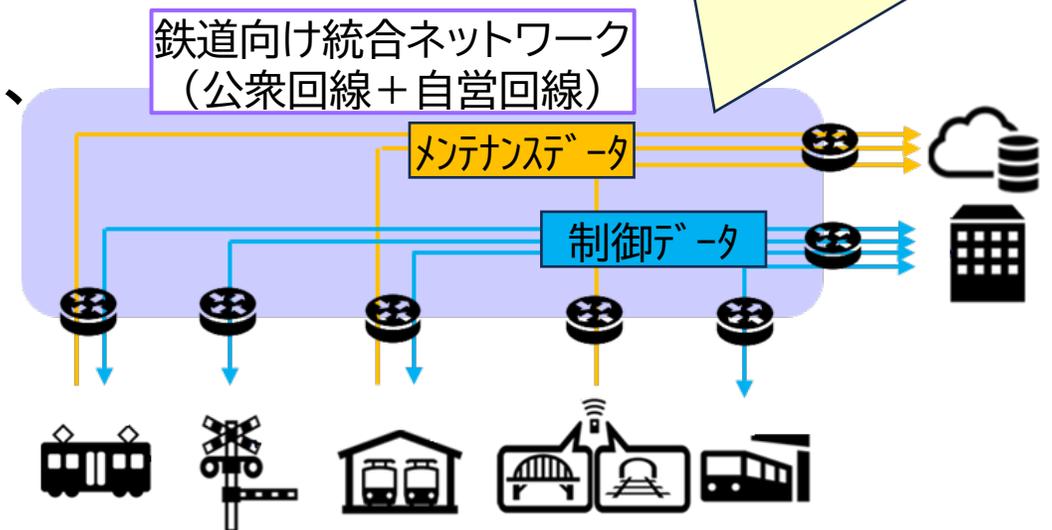
- ✓ 自営回線や公衆通信サービス等の様々な伝送媒体で構成
- ✓ 系統別に構成していたネットワークを1つに統合

➤ 鉄道事業者のニーズに対応

- ✓ 自営回線と公衆通信サービスの併用、切替、回線の冗長化等のネットワーク構成
- ✓ 鉄道システムの用途ごとに異なる伝送頻度、伝送容量、許容遅延時間、許容損失など

➤ 鉄道システムの構成装置側では、利用する伝送媒体を意識しない

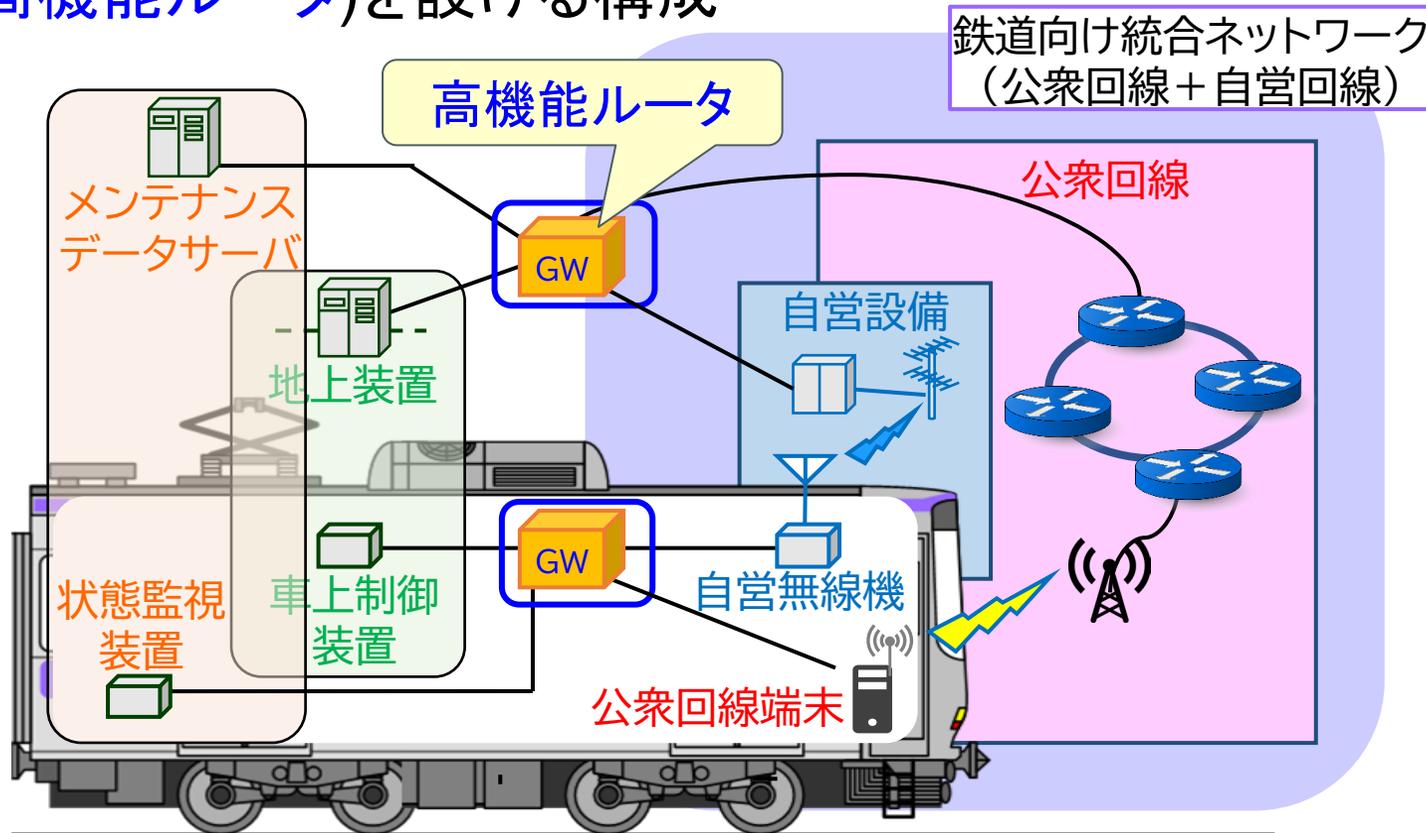
- ・同一ネットワークで制御データとメンテナンスデータを伝送
- ・自営回線や公衆通信サービスに対応



鉄道向け統合ネットワークの実現方法

◆アプリケーションと伝送機能を明確に分離

- 鉄道システムの構成装置の伝送上のインターフェース点にゲートウェイ装置 (=高機能ルータ) を設ける構成



鉄道システムの様々なアプリケーションを対象

IPネットワークを前提

鉄道事業者において、任意の伝送媒体を採用したネットワーク構成が可能

構成装置側は、伝送媒体を意識せずに利用可能

高機能ルータに対するニーズの調査

◆ 統合ネットワークを用いたデータ伝送の利用用途と要求事項 (鉄道事業者に調査)

基本情報			プロトコルに関わる要求	
用途	種類	伝送区間	タイミング	伝送方向
列車制御	データ	車上～中央、駅	定周期	双方向
踏切制御	データ	車上～中央、踏切	定周期	双方向
列車無線	音声/データ	車上～中央	イベント発生時	双方向
車上機器状態監視	データ	車上～中央	イベント発生時	片方向
映像監視	データ	車上・地上～中央	イベント発生時	片方向
運転報	データ	中央～駅・乗務員区	イベント発生時	双方向
運行情報	データ	中央～駅・乗務員区	定周期	片方向
作業員用情報伝達	音声/データ	作業員～地上、 作業員～作業員	イベント発生時	双方向

高機能ルータの要件

◆機能要件

- IP非対応装置へのIP変換対応機能
- 安定的な伝送を実現する回線切替機能
- 監視映像など片方向の大容量伝送にも対応できる優先制御機能
- パケット情報を高機能ルータで効率的に活用する情報利用機能

◆性能要件

	情報量	許容遅延	ジッタ
制御情報	数Kbps	1秒程度	許容遅延に含む
映像	数10Mbps	45秒程度 ※一般的なHLS遅延	許容遅延に含む
音声 (VoIP参照)	1Kbps	400ミリ秒 (150ミリ秒:携帯電話並)	30ミリ秒

高機能ルータの機能レベル

◆高機能ルータの機能をレベル別に定義

- 各鉄道事業者の利用したい回線やネットワーク統合の規模感により、高機能ルータのレベルが選択可能

○:対応できる

レベル	情報の種類	機能				伝送媒体	
	制御情報/ メンテナンス情報	ID-IP 変換	回線 切替	優先 制御	情報 利用	複数公衆通信 サービス	自営回線 (WiFi、ローカル5G等)
1	いずれか一方	○	○	—	—	○	—
2	いずれか一方	○	○	—	—	○	○
3	双方が混在	○	○	○	—	○	○
4	双方が混在	○	○	○	○	○	○

例: 制御情報の伝送を複数の公衆通信サービスでの実現を所望の事業者⇒レベル1でOK

プロトタイプシステムへの実装

◆レベル1、2の機能を実装したプロトタイプシステムを試作

- 市販のルータの既存機能等を用いて比較的容易に実装
- ネットワーク側はIPネットワークで構成

レベル	情報の種類	機能				伝送媒体	
	制御情報/ メンテナンス情報	ID-IP 変換	回線 切替	優先 制御	情報 利用	複数公衆通信 サービス	自営回線 (WiFi、ローカル5G等)
1	いずれか一方	○	○	—	—	○	—
2	いずれか一方	○	○	—	—	○	○
3	双方が混在	○	○	○	—	○	○
4	双方が混在	○	○	○	○	○	○

レベル1、2の機能を
高機能ルータに実装

ID-IP変換機能

◆ IP非対応装置から送受信される電文をIPパケットに変換

- IP非対応装置の電文は、装置IDとデータ部で構成される
- 装置－高機能ルータ間はシリアル通信

IP非対応装置と
高機能ルータ間の電文

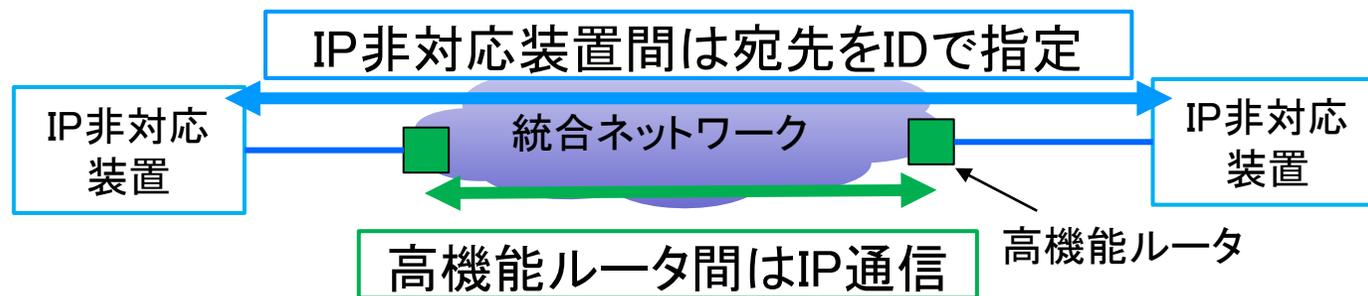


フレーム変換

高機能ルータ間での電文



フォーマット
を定義

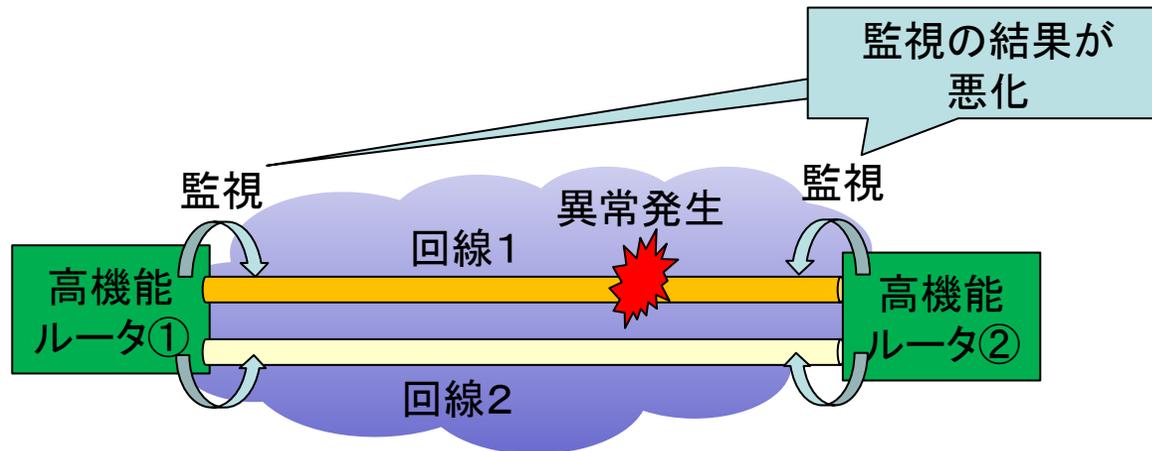


IP非対応のアプリケーションも
通信ネットワークを
意識せずに利用可能

回線切替機能

◆ 高機能ルータ間をつなぐ各回線の状態を監視し、その結果に基づき回線を切替

- 両回線ともに状態の監視を行う
- 各回線の監視結果に応じて、回線を切替
- 公衆通信サービス 2 回線と自営回線 1 回線という組合せも可



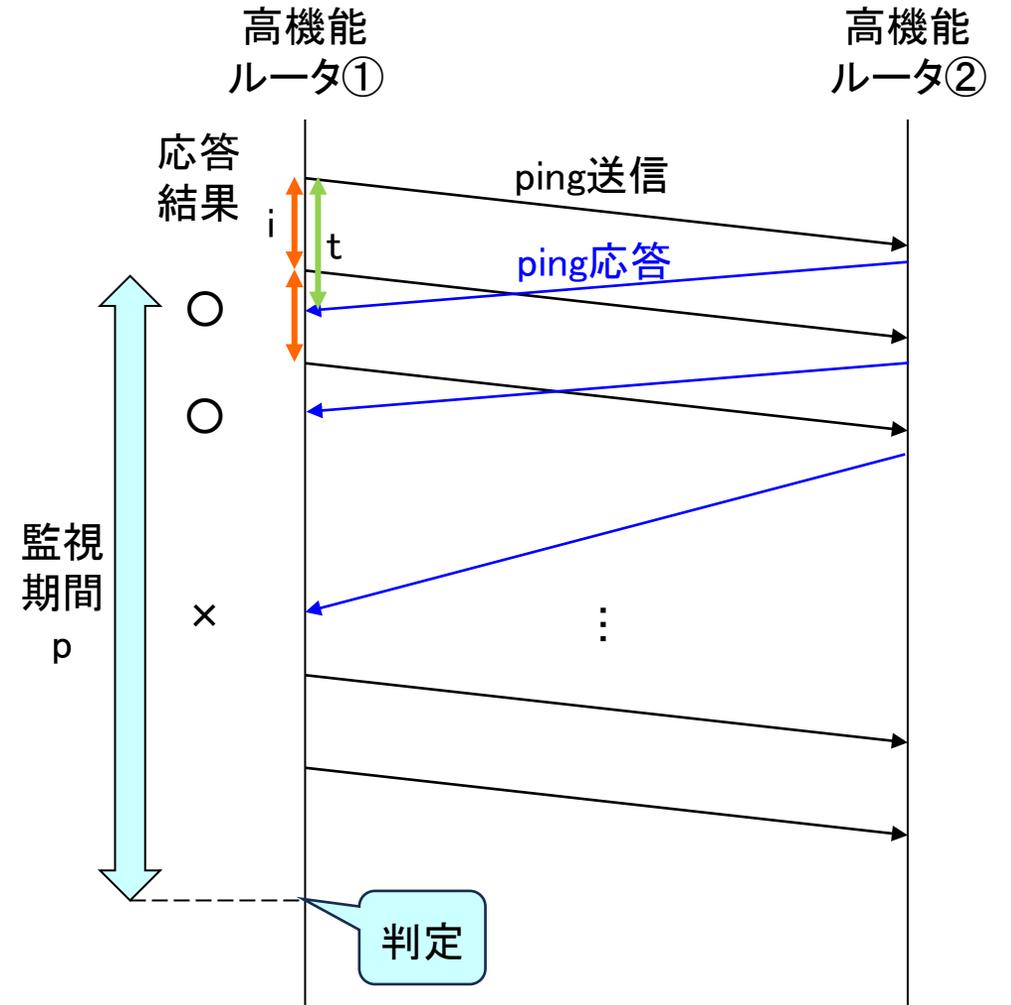
通常時：回線1を利用

回線1の異常発生時：回線2を利用

回線切替機能

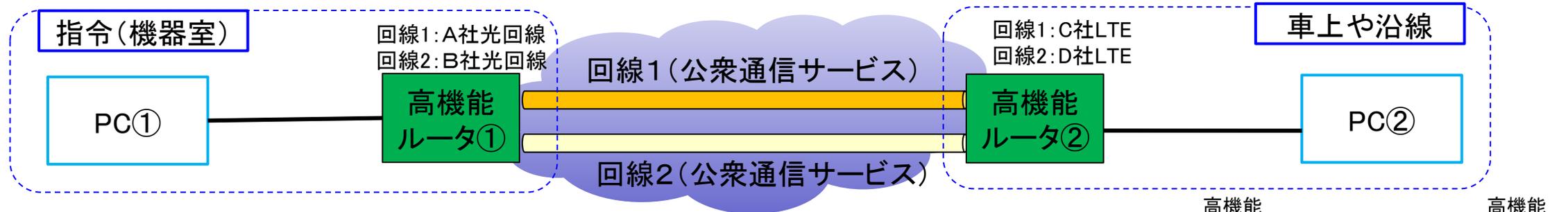
◆状態監視結果に基づく回線切替方法

- 状態の監視にping応答時間(t)を利用
- t が k 秒以内ならば、応答結果「○」
- ping送信間隔は i 秒
※前パケットの応答がなくても送信
⇒切替判定の高速化
- 監視期間 p 秒の「×」の個数をカウントし、閾値を超えたら切替
⇒閾値の設定により、断続的な回線の切替を防止することが可能



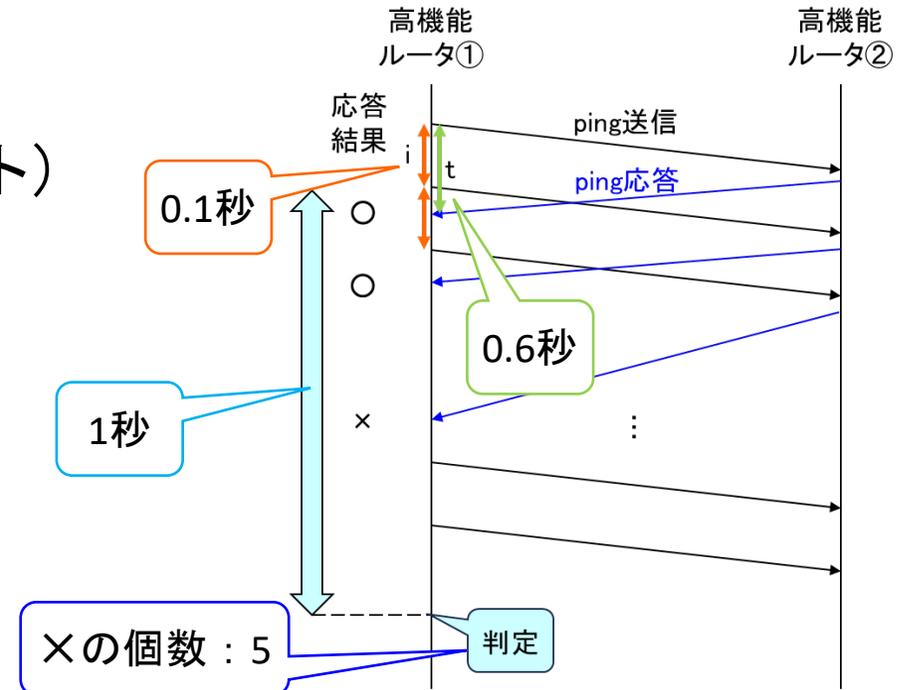
プロトタイプシステムを用いた検証結果

◆ 公衆通信サービス利用時における回線切替時間の測定



PC①②間においてiperf(回線の性能試験を行うソフト)で切替時間を検証

- 制御情報相当 100byte
- 音声パケット相当 1Kbyte



プロトタイプシステムを用いた検証結果

◆回線切替時間の測定結果



送信側	受信側	データサイズ [byte]	切替時間[秒]		
			最小値	最頻値	最悪値
PC①	PC②	100	0.4	0.8	1.0
		1000	0.3	0.7	1.0
PC②	PC①	100	0.6	1.1	1.1
		1000	0.5	1.0	1.0

- 回線切替時間は**1秒程度**
- PC①からPC②への伝送の方が切替時間が早い傾向
⇒理由については、詳細な分析を実施予定

まとめ

◆ 鉄道向け統合ネットワークの概要を示した

- 複数系統で別々のネットワークを1つのネットワークに統合
- 事業者の要望に応じた伝送媒体(自営回線と公衆通信サービスの併用など)を選択したネットワーク構成が可能

◆ 鉄道向け統合ネットワークを実現する高機能ルータの機能を提案した

- 機能レベルに応じた仕様の策定⇒用途に応じたレベル選択が可能

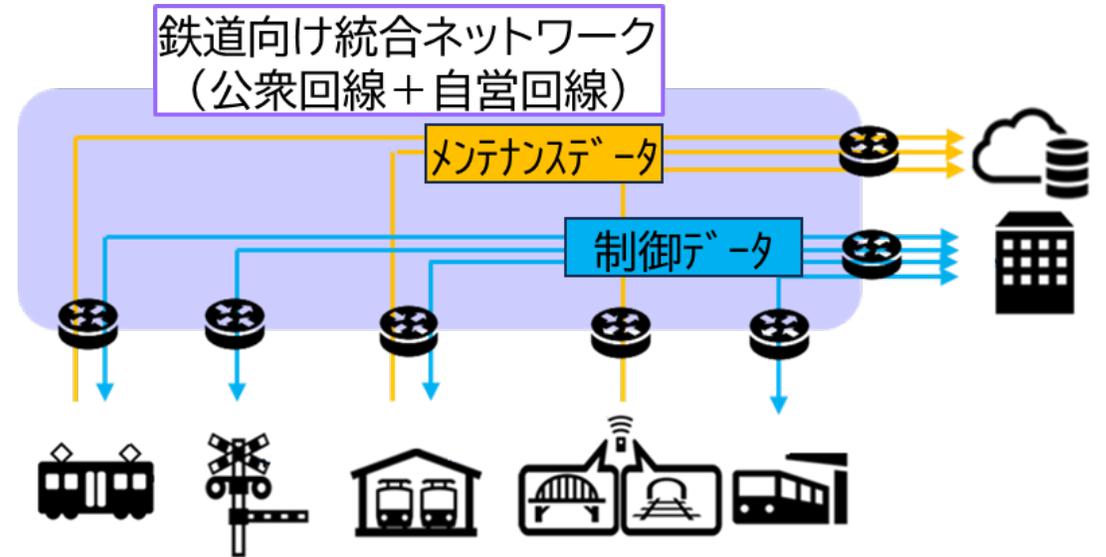
◆ 高機能ルータのプロトタイプシステムを試作した

- 回線の切替速度を計測し、公衆通信サービス利用時でも、十分実用に供する1秒程度で切替可能であることを確認

成果の活用

◆鉄道事業者における公衆通信サービス利用を考慮したネットワーク構成が可能

- 自営回線から公衆通信サービスへの移行期に利用
- 複数回線利用による冗長構成を実現（通信品質の安定性向上）



◆システム毎に異なるネットワークを統合

- 自営の通信設備縮減による、メンテナンス費用の軽減が期待できる

◆すべての機能を保有する高機能ルータの実装を目指す

参考文献

1. 祇園昭宏,流王智子,北野隆康,岩本功貴,竹内恵一:「鉄道向け統合ネットワークの概要」、2023年電子情報通信学会ソサイエティ大会、B-6-3
2. 流王智子,北野隆康,祇園昭宏,岩本功貴,竹内恵一:「鉄道向け統合ネットワークにおける高機能ルータの提案」、2023年電子情報通信学会ソサイエティ大会、B-6-4
3. 岩本功貴,流王智子,北野隆康,祇園昭宏,竹内恵一:「公衆網を介した列車制御情報の伝送に用いるルータの実装」、2023年電子情報通信学会ソサイエティ大会、B-6-5

謝辞

本研究成果は、国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）
の委託研究（04901）により得られたものです