

数理最適化モデルによる 無線センサネットワークの設計

信号・情報技術研究部(ネットワーク・通信)

羽田 明生



Railway Technical Research Institute

発表の流れ

1. 状態監視システム
2. 無線センサネットワークの総費用最小設計のための数理モデル
3. シミュレーション
 - 転てつ機の状態監視
 - トンネルの状態監視
4. まとめと今後の展開



Railway Technical Research Institute

鉄道設備における保守管理

現在、鉄道設備における予防保全は定期検査を中心とした**時間計画保全**が中心である。

時間計画保全の課題

- 経時変化傾向を詳細に把握するためのコストが高い
- 異常状態を迅速に検知するためのコストが高い

予防保全

時間計画保全

ある時間計画に沿って保全を行う方法

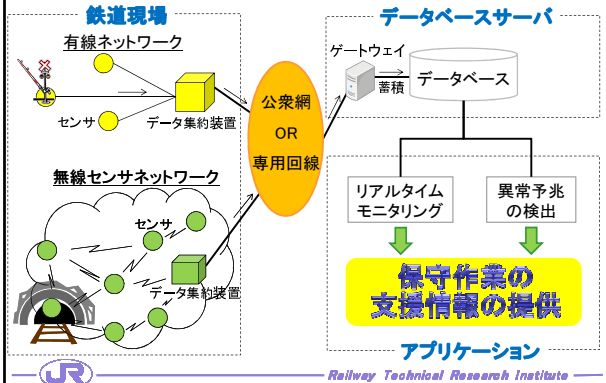
状態監視保全

常に状態を監視し、何か異常の傾向・兆候が見られた場合に保全を行う方法



Railway Technical Research Institute

状態監視システムの全体像



Railway Technical Research Institute

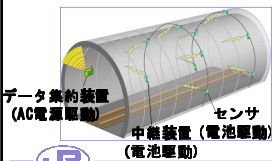
無線センサネットワークの設計

設計目的

状態監視を目的とした無線センサネットワークは、数年から十数年にわたる**長期運用**が想定される。

設置運用に関わる費用低減はシステムの実運用場における重要な課題の1つである。

設計項目



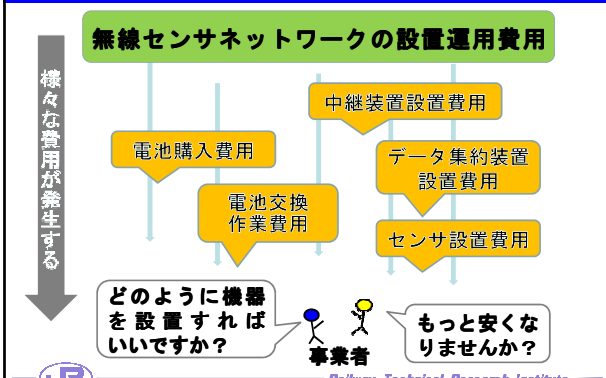
低コスト化を目的に次の項目を設計する

- ・ 中継装置の設置数と設置場所
- ・ センサと中継装置の送信出力レベル
- ・ センシングデータのルーティング



Railway Technical Research Institute

無線センサネットワークの総費用最小設計①



Railway Technical Research Institute

平成26年度 信号通信技術交流会

無線センサネットワークの総費用最小設計②

無線センサネットワークの設置運用費用

電池購入費用

電池交換作業費用

運用費用

中継装置設置費用

データ集約装置設置費用

センサ設置費用

設置費用

総費用の最小化

JR Railway Technical Research Institute

平成26年度 信号通信技術交流会

無線センサネットワーク設計のための数理モデル

入力情報

- センサ集合、データ集約装置配置
- 中継装置設置候補場所集合
- 送信出力レベル集合
- 各送信出力レベルの通信範囲
- 電力パラメータ（データ収集、送受信）
- 費用パラメータ（電池購入・交換、中継装置設置）

中継装置設置候補場所

アルゴリズムによる求解 ← 数理的な定式化

出力情報

- 中継装置設置場所、送信出力レベル
- ルーティング、ネットワーク寿命
- 総費用（初期費用、運用費用）

送信出力 $3.16 \times 10^{-3} \text{mW}$

JR Railway Technical Research Institute

平成26年度 信号通信技術交流会

無線センサネットワーク設計のための数理モデルの適用例

沿線を対象にした適用例

無線センサネットワークを用いて、全てのセンシングデータをA駅で集める場合

- : センサ (10mW)
- : センサ (1mW)
- : 中継装置 (10mW)
- : データ集約装置

A駅構内の拡大図

JR Railway Technical Research Institute

平成26年度 信号通信技術交流会

転てつ機状態監視用ネットワークの設計シミュレーション①

対象区間（A駅～D駅）で次のセンシングデータを収集するものとする。

- 発条転てつ機のスイッチアジャスタの歪み
- 電気転てつ機の転換動作時の電流
- 各駅構内の温湿度

A駅 B駅 C駅 D駅

1.7km 0.9km 2.7km

歪み・電流・気象センサ	30,000円
中継装置	20,000円
データ集約装置	200,000円
電池 (19Ah, 3.6V)	3,000円
電池交換作業 (全区間)	200,000円
電池交換作業 (A駅)	40,000円
電池交換作業 (B駅,C駅,D駅)	20,000円
通信ケーブル	2,500円/m

	歪み	電流	気象
A駅	—	6台	1台
B駅	—	—	1台
C駅	—	2台	1台
D駅	2台	—	1台

送信出力レベル (1mW)	70.25m
送信出力レベル (10mW)	124.93m

* 各表の値は、シミュレーション用に設定した入力パラメータである。

JR Railway Technical Research Institute

平成26年度 信号通信技術交流会

転てつ機状態監視用ネットワークの設計シミュレーション②

数理モデルでの問題設定			数理モデルの出力					
新規無線導入区間	新規有線敷設区間	既設有線利用区間	集約場所	初期費用	運用費用	総費用 (20年間)		
①	—	各駅構内	各駅間	A駅	1,677,100円	31,000円	2,297,100円	
②	各駅構内	—	—	各駅	1,360,000円	105,650円	3,473,000円	
③	—	各駅構内	—	各駅	2,277,100円	61,000円	3,497,100円	
④	—	各駅構内	A駅～B駅間	B駅～D駅間	A駅	5,927,100円	31,000円	6,547,100円
⑤	—	各駅構内	A駅～C駅間	C駅～D駅間	A駅	8,177,100円	31,000円	8,797,100円
⑥	—	各駅構内	各駅間	—	A駅	14,927,100円	31,000円	15,547,100円
⑦	各駅構内	各駅間	—	—	A駅	2,220,000円	673,189円	15,683,780円

* 上記の評価金額は、シミュレーション用に設定した入力パラメータに対する結果である。

JR Railway Technical Research Institute

平成26年度 信号通信技術交流会

まとめと今後の展開

- 提案手法では、初期費用と運用費用を考慮して低コストな無線センサネットワークを設計できる。
- 提案手法を活用して、鉄道設備の状態監視用通信ネットワークの経済性を評価できる。
- 今後も提案手法を活用して、様々な設備の状態監視を対象とした通信ネットワーク設計を支援していく。

JR Railway Technical Research Institute