

設備監視における無線センサネットワークの

データ伝送経路設計手法

輸送情報技術研究部 設備システム研究室

研究員 羽田 明生

1. はじめに

鉄道構造物に対する保守管理は、これまで人手による目視検査を中心に行われてきた。しかし鉄道構造物には、地中や高所など目視による検査が難しい箇所が数多く存在する。また目視検査には、見落としや見間違いなどの人為的な検査ミスが発生する、経年的な劣化傾向を正確に把握できない、などの問題点も存在する。このため鉄道構造物の保守管理においては、近年、無線センサネットワークを利用した状態監視システムの導入が計画されている。

一般的な無線センサネットワークにおいては、各センサで収集したデータは無線でゲートウェイに伝送され、そこからインターネットなどの一般の通信手段を用いて中央の管理サーバに転送される。しかし、鉄道構造物の中には、一般の通信手段を利用できない劣悪な通信環境に設置されているものも数多く存在する。特に、山間の僻地に設置されたトンネルや橋梁などにおいては一般の通信手段を利用できない場合が多い。このため鉄道構造物の保守管理においては、一般の通信手段を利用するシステムよりも、蓄積運搬型のシステムを導入した方が経済的である場合が多い。つまり、各センサで収集したデータをゲートウェイに付置したストレージに一定期間蓄積しておき、後日それを回収するシステムの方が効率的でかつ経済的である場合が多い(図1)。そこで本研究では、鉄道構造物の保守管理における蓄積運搬型の無線センサネットワークを取り上げ、それを数理計画手法に基づいて設計する方法を提案する。



図1 蓄積運搬型の無線センサネットワークによるセンサデータ収集の様子

2. 蓄積運搬型無線センサネットワークの設計

蓄積運搬型無線センサネットワークの設計においては、ゲートウェイの設置場所を決定する問題とセンシングデータの伝送経路を決定する問題が発生する。つまり、ゲートウェイを設置可能な場所の中のどこに配置するかを決定する問題と、各センサで収集したデータをいずれか1つのゲートウェイにマルチホップ無線通信で送信するための伝送経路を決定する問題であるが、これら2つの問題は互いに密接に関係している。そこで本研究では、これら2つの問題を同時に解くことを考える(以下、データ伝送経路設計問題と呼ぶ)。

4. データ伝送経路設計問題に対するアルゴリズム

本研究では、発見的手法の1つである **Life Span Method (LSM)** に基づくデータ伝送経路設計問題の解法アルゴリズムを提案する。LSM においては、幾つかのノードまたはアークに対して **life span** と呼ばれる一定の期間を設定して、その期間内にあるノードまたはアークを解に含むことを禁止する。そして、この一定期間の禁止という操作により同一解の繰り返し探索(cycling)を防止すると共に、探索空間をより広く取ることができ多様な解を探索することができる。

データ伝送経路設計問題においては、ゲートウェイを設置する場所と、各センサを始点とするデータ伝送経路を決定しなければならないが、前者を決定するという事は、各ゲートウェイ設置候補場所にゲートウェイを設置するか否かを決定するという事に他ならない。そこで、各ゲートウェイ設置候補場所に **life span** (非負整数) を付与する。また、後者を決定するという事は、各センサを始点とするデータ伝送経路に各アークを含めるか否かを決定するという事に他ならない。そこで、各アークに **life span** (非負整数) を付与する。このとき、提案アルゴリズムによる解の修正は図3のように実行される。

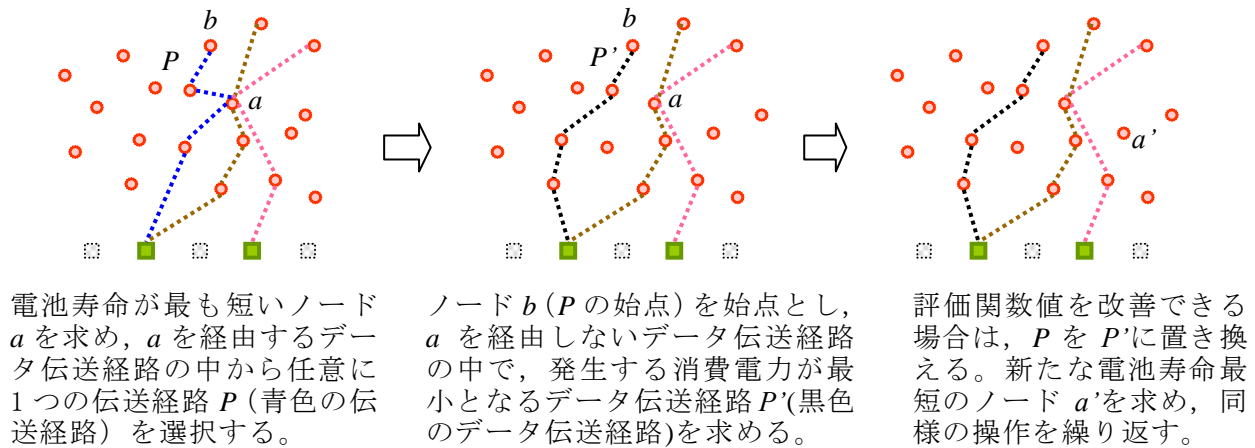


図3 提案アルゴリズムによる解の修正の様子

5. 提案アルゴリズムの性能評価試験

ここでは、提案するアルゴリズムを用いて、実際の構造物に対するワイヤレスセンサネットワークの設計案を作成する。対象とした構造物は全長約130m、直径3.8mのロンドン地下鉄にある地下トンネル(Jubilee Line)で、設置予定のセンサ数は54である。また、設計案の作成に必要なデータは以下のように定めた。各ノードで1Kbyteのデータを受信するのに必要な電力量は 2.364×10^{-1} (mJ) であり、各ゲートウェイで1Kbyteのデータを蓄積するのに必要な電力量は 1.5×10^{-2} (mJ) であるとした。また、各センサでデータを収集するのに必要な電力量は全て等しく 9.6×10^{-2} (mJ) であり、各ノードの電池容量も全て等しく400(mJ)であるとした。また、各ノード間の通信に必要な電力量であるが、センサネットワーク構築の数理計画モデルに関するこれまでの研究の多くは、それを通信距離の定数乗に比例すると仮定している。しかし、ノード間の通信に必要な実際の電力量は、通常、構造物に固有の特徴または性質に応じて変化する。それゆえ、通信電力が通信距離の定数乗に比例すると一方的に仮定するのは適切ではない。そこでここでは、対象とした地下トンネルの構造的な特徴を考慮して作成された **empirical model**[3]を用いて、各ノード間の通信に必要な電力量を定めた。さらに、各センサで収集するデータ量は全て 1.0×10^{-1} Kbyteとした。

以上の条件下で作成したセンサネットワーク案を図4,5に示す。ただし、図4は設置できるゲートウェイの上限数を2とした場合、図5はそれを3とした場合のデータ伝送経路設計案である。

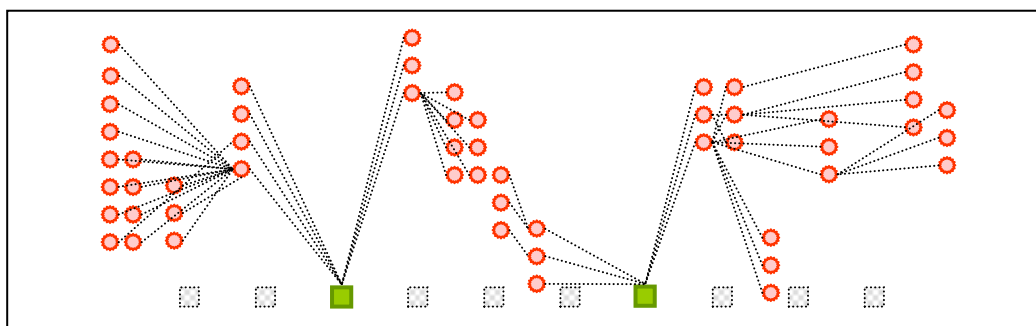


図4 データ伝送経路設計案 (ネットワーク寿命 589.29 日, ゲートウェイ数 2)

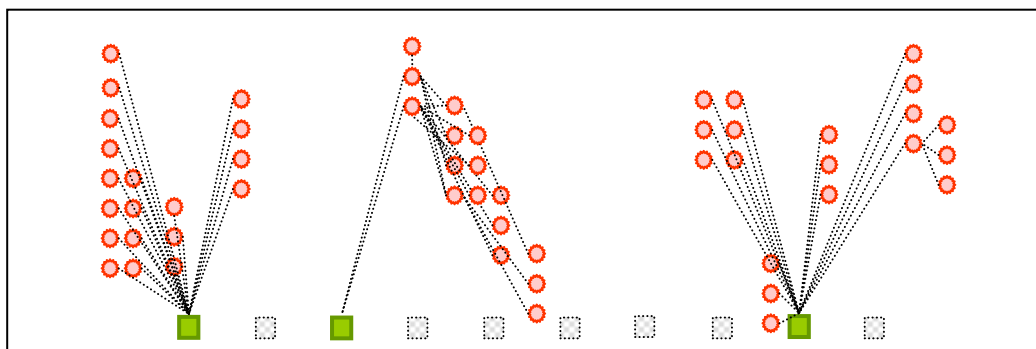


図5 データ伝送経路設計案 (ネットワーク寿命 883.94 日, ゲートウェイ数 3)

図4と図5を比較すると、設置するゲートウェイ数を2から3に増加させると、ネットワーク寿命が294.65日長くなることがわかる。このように、一般的に設置するゲートウェイ数を増やすとネットワーク寿命は長くなる傾向にあるが、それだけネットワークの初期投資費用が増加する。また、ゲートウェイはセンサと比較すると高額であるため、実際には費用対効果を考慮して適切な設置ゲートウェイ数を定める必要がある。

6. おわりに

近年、鉄道構造物の状態監視に導入が検討されている、蓄積運搬型の無線センサネットワークを取り上げた。そして、そのネットワークの長寿命化を目的とした数理モデルを構築し、その問題のLSMに基づくアルゴリズムを提案した。しかしながら、実際には、ネットワークの長寿命化と同時に、ネットワーク内の総使用電力量の最小化についても考慮する必要がある。今後は提案したアルゴリズムで求めたネットワーク寿命を保証した上で、ネットワーク内の総使用電力量の最小化を図る数理モデルを構築し、そのための効率的なアルゴリズムの開発が必要である。

参考文献

- 1) Akio Hada, Ryuji Tsuchiya, A Metaheuristic Algorithm for Wireless Sensor Network Design in Railway Structures, The IEEE International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (2009) 231-236.
- 2) 羽田明生, 土屋隆司, 電力消費を考慮したセンサネットワーク設計の最適化手法, 鉄道総研報告 24 (10) 2010 35-40.
- 3) Ruoshui Liu, Ian.J. Wassell, Kenichi Soga, Relay Node Placement for Wireless Sensor Networks Deployed in Tunnels, The IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (2010) 144-150.