

農業 IoT 無線センサネットワークを対象とする故障検知アルゴリズムの検討 A Study on Fault Detection Algorithm for Agricultural IoT Wireless Sensor Network

中濱 広夢¹ 加藤 亜慧¹ 寺島 美昭¹
Hiromu Nakahama Asato Kato Yoshiaki Terashima

1. はじめに

近年、農地に無線通信機能を搭載したセンサ端末を配置し、地形や温度等の変化に関する情報を交換するセンサアドホックネットワークの利用が想定されている。ネットワークを柔軟に構築可能なため、センサ間情報共有を用いた観測情報の相互補完により、高精度の観測と、迅速な広域状況の把握を継続的に実行できる[1]。しかし、農地では、生産性の向上と高品質な栽培が求められているため、センサ端末の故障の発生は、センサ間情報共有に悪影響を与え、生産効率の低下だけでなく、信頼性を下げることにつながりかねない。そのため信頼性を確保したセンサネットワーク運用では、センサ端末の動作状態の継続的な監視、故障前に端末を交換するための故障検知が重要となる。故障発生前のセンサ端末の故障検知は、故障を判断する方法として、動作傾向の把握と、最適な検知方式の設計が必要である。

本稿では、農地に配置されたセンサ端末間の情報共有通信を継続的に行うセンサネットワークと故障検知の課題を分析し、センサ端末の動作状態を継続的に監視することで、故障端末を事前に検知する故障推定アルゴリズムを提案する。監視構成のイメージを図1に示す。

監視構成では、センサ端末毎の発信トラフィックを観測する機器を配置し、これらが記録する各端末の送信情報量、時間変化からセンサ端末の動作傾向の解析を行うネットワーク動作推定方式[2]を用いる。本稿で扱う監視項目としては、故障の端末箇所の抽出である。また、本稿ではネットワークシミュレータを用いた推定アルゴリズムの理論検証と精度評価も行う。

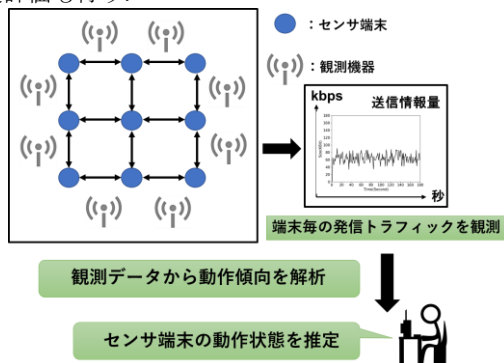


図1 センサネットワーク監視構成

2章では、対象とする農地におけるセンサアドホックネットワークと故障検知の課題を述べ、3章では、故障推定アルゴリズムを提案する。4章では、ネットワークシミュレータを用いてセンサ端末を配置したトポロジーで生成した各端末の観測データから故障端末推定の実験を行い、考察から実現性を検証する。最後に5章にてまとめを述べる。

2. 研究課題

農地にセンサ端末を配置したセンサ間情報共有では、多数のセンサ端末が温度等の観測情報を交換することによ

て、広域な状況把握を行うことができる。運用開始後は、センサ端末のパラメータや、配置変更等のメンテナンスを行うことで継続的な観測を行う。

一方で、運用期間は長期に渡るため、機器内部の劣化が起こる可能性が高く、センサ端末の応答パケット有無による通信途絶等の故障判断はできるが、外部から劣化型の故障を事前に確認することは難しい。また、広域範囲において、故障端末を交換するためには、正確に端末箇所を推定する必要がある。

本稿では、継続的な監視によって、故障する可能性のあるセンサ端末の正確な箇所を故障前に検知する推定アルゴリズムの実現を課題とし、これに即した推定アルゴリズムの提案を行う。

3. 推定アルゴリズムの提案

本稿では、複数の端末が存在する農地のアドホックネットワークを対象とし、センサ端末の正確な箇所の故障検知を実現するため、故障推定アルゴリズムを提案する。推定アルゴリズムは、本研究で用いる監視構成によって得られた通信端末の送信量変化のみを用いる。故障推定の手順を示す。初めに、各センサ端末が一定のセンサネットワーク内において、傾向解析から正常なセンサ端末が取りうる値を定め、その正常値と故障端末の観測値との差分を取ることによってブラックボックス的に事前の故障検知を行う。以降、この推定アルゴリズムを相対劣化型故障端末推定と呼称する。これにより、正確な箇所の故障端末抽出が実現できる。

以降、相対劣化型故障端末推定の推定アルゴリズムの詳細を示す。

3.1 相対劣化型故障端末推定

本稿では、アルゴリズムの前提となるアドホックネットワークにおける通信の挙動説明と、それに基づいて開発したネットワーク内の劣化型故障の端末を抽出する推定アルゴリズムについて述べる。

アドホックネットワークでは、アクセスポイントが存在せず、端末間同士で中継して通信を行う特性上、送信元から宛先までいずれかの端末を経由して情報伝達が行われる。そのため、通信を中継する関係にある端末間において、それぞれの送信量変化を比較した際、送信量の変化傾向が一致する[3]。しかし、故障端末の正確な箇所の推定には、図2に示すように故障端末の周囲に発生する送信量変化の影響が大きいと正常端末を故障端末として抽出してしまう誤検知の発生に繋がりがかねない。提案手法では、この傾向に着目し、周囲の端末への送信量変化の影響を平滑化することにより、周囲の受ける影響を抑えて誤検知を防ぐ。そのため、観測データの中央値を計測し、その求めた中央観測値から動作傾向の解析を行う。また、通信の不安定化により、一時的に送信量の振れ幅が増大するバーストトラフィックや、通信の落ち込みが発生する場合がある。そのため、正常時に取りうる値と中央観測値との差分から閾値以上であれば、回数をカウントし、その閾値を超えた回数が既定

の連続回数を超えた場合、端末は相対劣化型故障端末に加える。既定の連続回数に達した時点で、故障端末に追加された時間が、故障推定時間となるため、完全途絶する前にその端末を交換することができる。

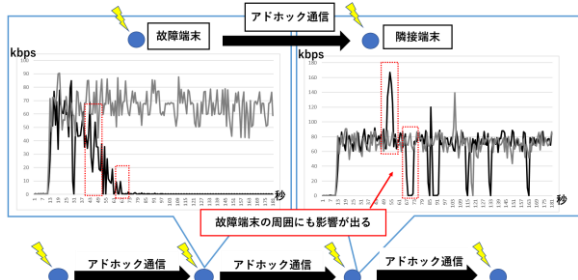


図 2 故障端末の周囲に発生する送信量変化の影響

上記の中央観測値を用いたアルゴリズムにより、農地のネットワークにおいても、劣化型故障端末を得られる。図 3 に劣化型故障端末推定アルゴリズムのフロー図を示す。それぞれの閾値は、対象ネットワーク毎に変化する。

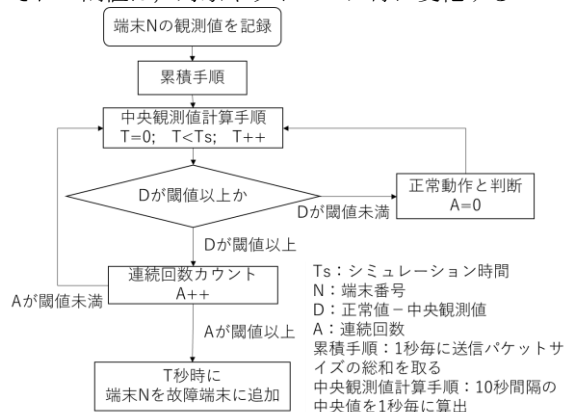


図 3 相対劣化型故障端末推定のフローチャート

4. 検証実験

4.1 実験手順

実験では、農地環境を見据えたトポロジーとして、トポロジー 1 では、端末数 9 個(3×3)、トポロジー 2, 3, 4 では、それぞれ 16 個(4×4)、25 個(5×5)、36 個(6×6)のグリッド型トポロジーにおいて設計した。

本研究では、提案手法の理論的な検証を第一に考え、実機環境ではなくネットワークシミュレータ QualNet[4]を実験環境として用いた。その際、シミュレータ上に観測機器を配置するのではなく、生成された送信端末の送信パケットを直接解析することによって故障推定を検証する。

本稿では、3×3 グリッド型トポロジーの実験結果について示す。このトポロジーは、端末間の距離は 180m で、この距離は、縦横方向には 1 ホップで通信が可能で、斜め方向には 1 ホップで通信ができない距離を予備実験によって導き出したものである。本実験では、配置されている 1 端末を真上方向に打ち上げることで、電波減衰させ、経路内から外れた端末を故障端末と模した。トポロジー 1 では、Node6 を経路から外す端末として、真上方向に秒速 1.5m で移動させ故障端末に設定している。ルーティングプロトコルは、プロアクティブ型の代表的なプロトコルである OLSR[5]を用いた。

4.2 実験結果と考察

相対劣化型故障端末推定の実験結果を表 1 に示す。提案アルゴリズムに従い、初めに故障端末として設定した Node6 の故障検知率が 100%になる値から、送信量サイズの差分閾値を 25Kbit と定め、連続回数を 20 回とした。また、今回の故障端末推定の実験では、100 ケース試行した。この結果、Node5 が 15%、Node8 が 74%の誤検知が見られた。Node5 に関しては、故障端末に隣接しているため、送信量変化の影響を受け、通信が不安定化したことで、一定時間、閾値を超えたためだと考えられる。また、Node8 では、Node6 が故障したことで、途中から通信経路の端末に加わり、送信スループットの振幅が大きくなったと考えられる。故障推定時間に関しては、表 2 に示すように、Node6 が劣化型故障端末に追加された時間の 100 ケースの平均から約 97.8 秒であった。同様に平均途絶時間は、約 111.8 秒であることから、完全な故障が発生する約 14 秒前に故障端末の推定を行うことができた。

表 1 相対劣化型故障端末推定の実験結果

検知率	誤検知率						
	Node1	Node2	Node3	Node4	Node5	Node7	Node8
Node6	0%	4%	1%	1%	15%	0%	74%
100%							

表 2 故障推定時間と閾値の設定

平均途絶時間：111.8秒	差分の閾値：25Kbit
平均故障推定時間：97.8秒	連続回数：20回

以上の検証実験により、複数の端末が存在する農地のアドホックネットワークに対して提案手法を適用し、故障する可能性のあるセンサ端末の故障端末推定が可能であることが検証できた。しかし、隣接端末では 74%の誤検知が起きているため、十分な精度とは言い難い。ただし、途絶前に故障端末の推定は行えたため、アルゴリズムの改良は必要なもの、小改良で制度の改善は見込めるものと考えられる。

5. おわりに

本稿では、農地のアドホックネットワークを対象として、ネットワーク動作推定方式を用いた、相対劣化型故障端末推定アルゴリズムを提案した。この提案アルゴリズムは、ネットワークシミュレータ QualNet を用いて、故障を模擬したトポロジーで実験を行い、提案アルゴリズムの有効性を検証した。検証によって、検知精度に不十分な面があることや、閾値の設定が難しい点が課題として見つかったため、これらを考慮してアルゴリズムの改良に取り組む。

6. 参考文献

- [1] 松井 進, “アドホックネットワークの実用化に向けた課題と実用化動向”, 日本信頼性学会誌, 第 34 巻, pp.532-539, (2012).
- [2] 寺島 美昭, 他, “センサアドホックネットワーク管理のための動作推定方式の検討”, 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2013)シンポジウム論文集, 2013.
- [3] 福岡 宏一, 他, “データ送信量解析を用いたアドホックネットワークの動作推定手法の提案”, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO), 8B-2, pp.1610-1615, (2019).
- [4] QualNet Network Simulation Software (<https://www.scalable-networks.com/products/qualnet-network-simulation-software-tool/>)
- [5] 小菅 昌克, 他, “アドホックネットワークが開く新しい世界 (前編)”, 情報処理学会誌, Vol44, No10, pp.1052-1055, (2003).