Vol.2020-CDS-29 No.5
2020/12/3

データ送信量解析を用いた農業 IoT を対象とするセンサネットワーク（異常予測）異常検出手法の提案

中濱広夢[1]　加藤亜慧[1]　清原良三[2]　斎藤正史[3]　寺島美昭[1]

概要：本項では，農地にセンサ端末を配置する農業 IoT のセンサアドホックネットワークを対象に，通信が完全途絶する前に通信異常を検出する（異常予測）手法を提案する．長期運用，かつ広域な農業 IoT において，農地に配置するセンサ端末の異常を予測することは，安定した農業 IoT 運用やセンサ端末保守の省力化に有効である．ここではプロトコルチューニングやタイムアウト時間などのパラメータ設定を調整することにより，農地の環境や規模に応じた接続性を実現しているため，個々のネットワーク仕様に応じた解析方法が必要となり，手法の汎用性が確保できない問題がある．提案手法は，各センサ端末のデータ送信量のみを用いて通常通信時と異常通信時の違いやアドホック通信路に応じた伝搬を追跡する共通的な解析手順により，一般的なパケットキャプチャを用いる解析ほどの高精度は実現できないまでも，汎用性のある異常動作予測を実現する．報告では，ネットワークシミュレータ評価により，送信量解析による異常検出を行う実現性と検出精度についての考察も述べる．

Proposal of Sensor Network (Abnormality Prediction) Abnormality Detection Method for Agricultural IoT Using Data Transmission Amount Analysis

HIROMU NAKAHAMA[1]　ASATO KATO[1]　RYOZO KIYOHARA[2]　MASASHI SAITO[3]
YOSHIAKI TERASHIMA[1]

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，センサ端末間の通信異常の発生は，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，農地の作物情報の取得等にも影響を及ぼし信頼性を下げることに繋がりかねない．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，通信途絶前に端末の交換や通信を妨害する落下物等による異常を発見するための異常検出が重要となる．通信途絶発生前のセンサネットワーク内の異常箇所の検出には，異常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，ネットワーク内に配置されたセンサ端末の動作状態を継続的に監視することで，ネットワーク異常を通信途絶する前に検知するネットワーク異常予測手法を提案する．

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．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．

監視手順では，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

1. 創価大学大学院　理工学研究科
2. 神奈川工科大学　情報学部
3. 金沢工業大学　情報フロンティア学部

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．監視構成のイメージを図 1 に示す．

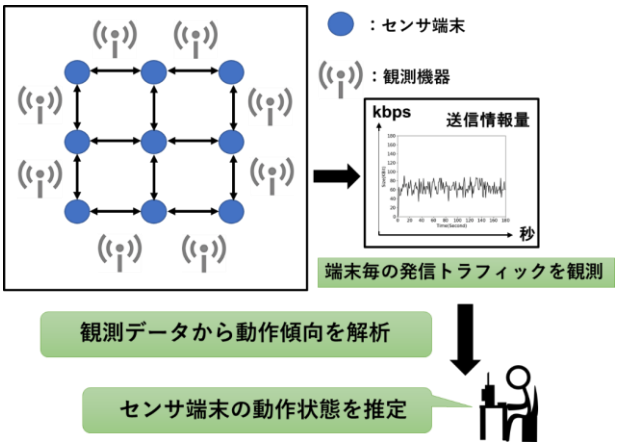


図 1　センサネットワーク監視構成

2. 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って，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，機器内部の故障や環境の変化による通信障害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，外部から異常発生を事前に確認することは難しい．また，広域範囲において，故障端末の交換やネットワーク内の保全をするためには，正確に異常発生箇所を推定する必要がある．

本研究で対象としている通信途絶は，図 2 に示すように一方向的に途絶するものとする．

図 2　異常箇所における通信途絶

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. 関連研究

従来の有線環境におけるネットワーク動作推定として，パケットキャプチャを用いたネットワーク動作推定方式が存在する．パケットキャプチャでは，通信回線を流れるパケットをキャプチャしてパケットの中身を表示する[3]．これを解析することによってネットワークを流れるデータの通信量やその変化の推定，障害発生時の原因の推定が可能となる．しかし，無線ネットワークでは通信が不安定であるため，実用に耐える精度でのパケットキャプチャが困難である．また，有線と比較して周波数やルーティングプロトコル等各種パラメータが多様であり，対象ネットワークのパラメータへ合わせたキャプチャが必要不可欠になってしまう．以上のような特性があるため，無線ネットワークに適さない推定方式である．

一方，ネットワーク管理の面では，有線環境において Simple Network Management Protocol(以下 SNMP)が用いられている．SNMP は，ネットワーク監視，ネットワーク管理を行うためのプロトコルであり，各端末の状態やリソース，トラフィック等様々な項目の監視が可能となっている[4]．しかし，SNMP はこれらの情報交換のために通信を行うため，ネットワークのトラフィックに負荷をかける．無線ネットワークでは，帯域幅が細く通信リソースが少ない．その為、SNMP を用いたネットワーク管理は無線ネットワークには適さない管理方式である．

4. 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で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，ネットワーク異常検出の推定アルゴリズムの詳細を示す．通信経路の違いによる検出精度の問題がある．

図 3　通信経路に伴う検出精度の問題

4.1 ネットワーク異常予測手法

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[5]．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．

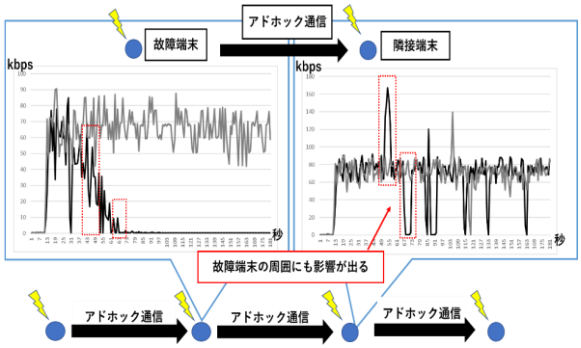


図 4　故障端末の周囲に発生する送信量変化の影響

1. 創価大学大学院　理工学研究科
2. 神奈川工科大学　情報学部
3. 金沢工業大学　情報フロンティア学部

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．

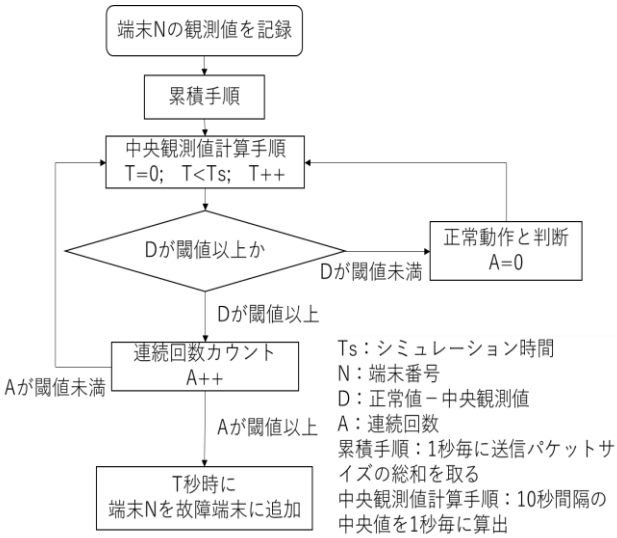


図 5　ネットワーク異常検出手法フローチャート

4.2 累積手順

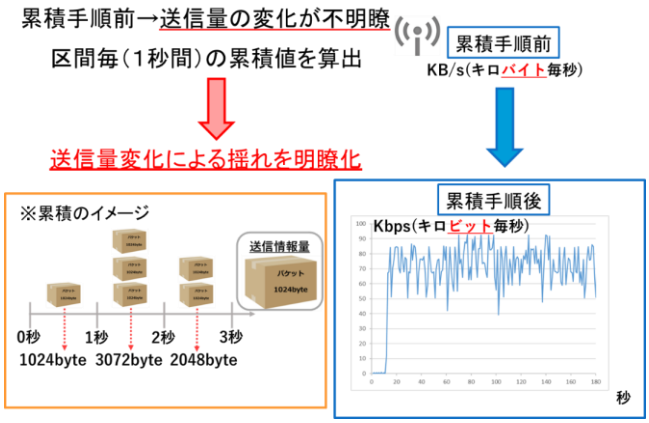
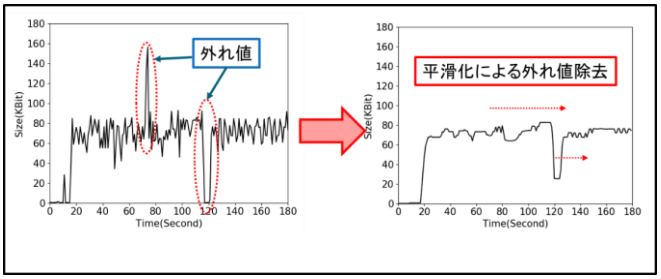


図 6　累積手順のイメージ図

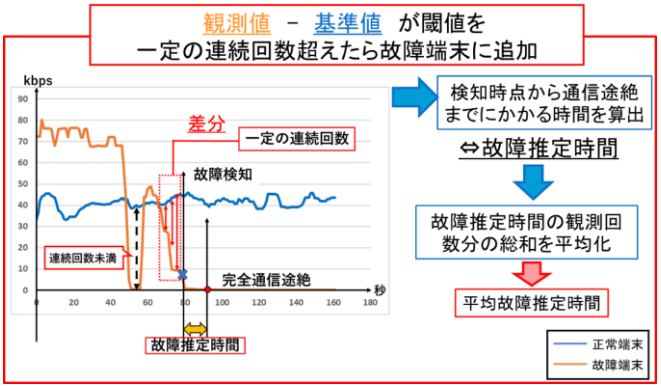
4.3 移動中央値平滑化手順

区間内で標準偏差の閾値を超えた場合のみ，中央値化する．

1. 創価大学大学院　理工学研究科
2. 神奈川工科大学　情報学部
3. 金沢工業大学　情報フロンティア学部



4.4 異常検出手順



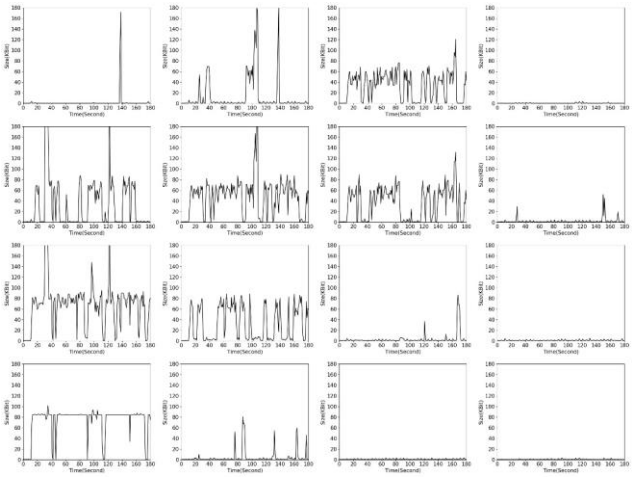
5. 検証実験

5.1 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1,2,3 では，それぞれ，端末数 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[6]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異常予測手法を検証する．

設定項目	設定値
Simulation Time	180s
Radio Type	802.11b
Data Rate	2Mbps
Frequency Band	2.4GHz (1)
Routing Protocol	OLSR INRIA
Application	CBR ☆1024byte/ds



本稿では，4×4 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あり，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，図 5 に示すモデルのように配置されている 1 端末を電波減衰させ，故障端末と模した．トポロジー1 では，Node12 を故障させる端末として設定している．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[7]を用いた．

本実験では，正常観測時の基準値と異常発生時の観測値との差分閾値は，0Kbps として，連続回数は，10，15，20 回とした．また，今回の異常検出手法を用いた実験では，100 ケース試行した．

1. 創価大学大学院　理工学研究科
2. 神奈川工科大学　情報学部
3. 金沢工業大学　情報フロンティア学部

1. 創価大学大学院　理工学研究科
2. 神奈川工科大学　情報学部
3. 金沢工業大学　情報フロンティア学部

Vol.2020-CDS-29 No.5
2020/12/3

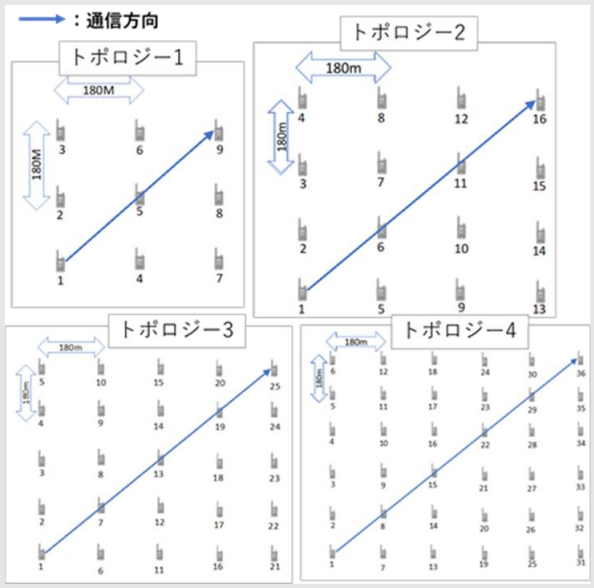


図 7　本実験にて用いるトポロジーモデル

5.2 実験結果

本稿では，トポロジー１（4×4 グリッド型トポロジー）においての結果を述べる．一番高い検出精度は，標準偏差の閾値 30，連続回数 20 回に設定したとき誤検知率は 15%となった．しかし，異常検出時間は，0.32 秒と遅く，一番早く異常検出したのは，閾値 100，連続回数 10 回の時で，30.02 秒前であったが，この場合の誤検知率 83%と精度が低くなった．

ネットワーク異常予測手法の実験結果を表 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 Node12 の異常検知率が 100%になる値から，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，送信量の変動が大きくなったためと考えられる．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．

1. 創価大学大学院　理工学研究科
2. 神奈川工科大学　情報学部
3. 金沢工業大学　情報フロンティア学部

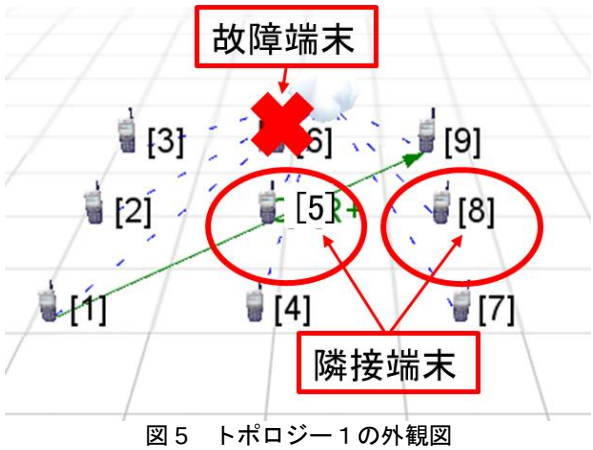


図 5　トポロジー１の外観図

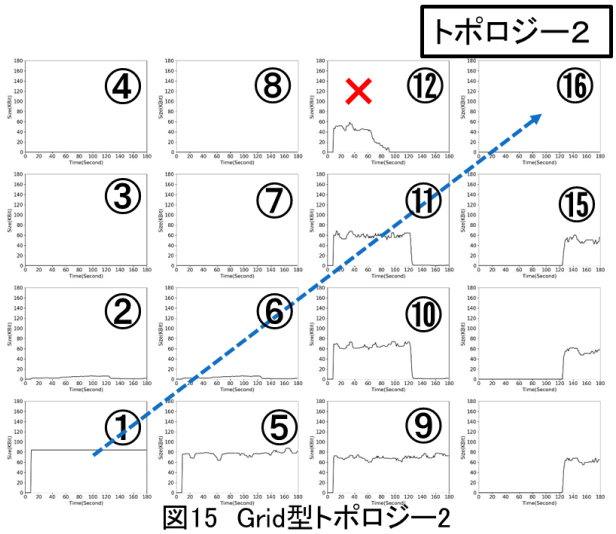


図15　Grid型トポロジー2

表 1　異常検出推定の実験結果

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

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

5.3 考察

今回の実験により，提案手法を用いた異常検出では，故障端末である Node12 と周囲の端末 Node7 では中央値平滑化の閾値に寄らず高い検出精度を示しており，通信途絶する前に異常箇所を検出することが可能であることが確認された．また，3 つのモデルの解析結果を比較すると，異常が発生した箇所から離れた Node1,2,6 において中央値化における標準偏差の閾値 0 と閾値 100 の時には多く誤検出しており，閾値 30 の時，一番検知精度が高いことが確認できた．し

かし，検出時間に関して，精度があまり高くないモデル 2 が一番早く事前の異常予測が可能であった．

今回の実験により，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の，小改良で精度の改善は見込めるものと考える．
・検証結果から異常検知手法が可能，隣接端末の誤検知が多く検知精度が不十分．端末数が増えると，誤検知率が高くなった．通信途絶前の故障検知に成功．小改良で精度の改善は見込めるものと考える．
Grid 型トポロジーでシミュレータによる検証．実環境を想定したトポロジーも検討していく．ランダムなトポロジー配置による検証．通信経路に追従したアルゴリズム設計，通信経路を推定する既存アルゴリズムの利用．

6. おわりに

本稿では，農地のセンサネットワークを対象として，ネットワーク内の通信動作を監視することによって，ネットワーク内の異常を検出するアルゴリズムを提案した．区間内で標準偏差の閾値を超えた場合のみ，中央値化する手順で任意の閾値で区分した 3 つのモデルを用いたシミュレーション実験によって本アルゴリズムの有効性を検証した．
提案したアルゴリズムでは，ネットワークの規模が大きくなるほど通信経路が多数存在するため，同一経路から基準値を設定し，検出時間と検知精度を確認した．検出時間が縮まったかどうか．送信量データを 10 秒間毎に標準偏差をとり閾値によって，中央値化する箇所を変えた場合，中央値化しているときが，精度何割と高く，検出時間は何時間になった．この結果から，当初の想定において，規模が大きくなると，検知精度が低くなると考えていたが，このアルゴリズムにすると規模による違いが出なくなる．以上，検証実験により端末数を増やしていったときに検知精度が下がるが，このアルゴリズムによって検知精度が上がり，検出時間が縮まったため，管理者が早期に発見することが可能になった．
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，センサネットワーク異常検出手法を提案した．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．

1. 創価大学大学院　理工学研究科
2. 神奈川工科大学　情報学部
3. 金沢工業大学　情報フロンティア学部

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] 加藤亜慧，他，“複数ドローンによる運用計画変更のための送信量解析を用いた事前故障検知方式の検討”，情報処理学会マルチメディア，分散，協調とモバイルシンポジウム(DICOMO), 1D-3，pp.29-34，(2020).
[4] 竹下恵：パケットキャプチャ無線 LAN 編，リックテレコック，2016
[5] ダグラス・R.マウロ：入門 SNMP，O’Reilly Japan，2002
[6] 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).
[7] QualNet Network Simulation Software (https://www.scalable-networks.com/products/qualnet-network-simulation-software-tool/)
[8] 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).