

森林内ネットワークにおける複数ノードが機能停止した場合の情報伝達手法の提案

田中 佑一[†] 塚田 晃司[‡]

和歌山大学大学院システム工学研究科[†] 和歌山大学システム工学部[‡]

1 はじめに

近年センサの高性能化、低価格化によりセンサを用いた IoT 技術の需要が高まっている。このようなセンサネットワークの利用には LPWA と呼ばれる無線通信が用いられており、Low Power Wide Area の略である。この無線通信の特徴として、低消費電力かつ長距離通信可能で、通信インフラの乏しい地域でも利用可能であるという特徴がある。

しかし、LPWA のデメリットとして、非常に通信速度が遅い、一度に通信可能なデータ量が非常に小さいというデメリットが存在している。

具体的な想定環境として森林内ネットワークがある。森林内では火災やノードの電池残量不足等で、同時に複数のノードが機能停止状態に陥る場合がある。本研究では、隣接する複数のノードが機能停止、または機能停止手前のような状態になった場合に経路を適切に設定し、情報伝達を行う手法を提案する。

2 関連研究

関連研究として、森林内において、火災発生時にノードが焼失した場合の、データ優先度を考慮した経路制御に関する研究[1]がある。あるノードが火災によって焼失した場合、その周りのノードも焼失してしまう可能性がある。それらの焼失手前ノードが持つデータに優先度をつけ、さらに、焼失手前であるノードを経由しないような経路制御を行うことにより、重要なデータの損失を避けるような研究となっている。

複数のノードが故障、または故障手前であるとする点において本研究と関連性がある。また、迂回路構築方法について、機能停止手前のノードを避けるという点においても関連があると言える。しかし、この研究は森林内で火災が発生した場合に限定した経路制御手法であり、それ以外の複数ノードが機能停止してしまう場合には対応できない可能性がある。

Proposal of Information Transmission Method when Multiple Nodes Stop Functioning in Forest Network

[†]Tanaka Yuichi [‡]Tsukada Koji

[‡]Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

3 提案手法

本研究では、LoRaWAN によるマルチホップネットワークにおいて、局所的に複数のノードが機能停止、または機能停止手前状態になった場合の迂回路の構築を考慮した情報伝達手法について提案する。

3.1 想定環境

本研究の想定環境は森林内や山間部のような通信インフラの十分整っていない地域にセンサノードを複数配置したマルチホップネットワークを想定する。配置するノード数は格子状に 4×5 の 20 個配置し、各ノードの状態は図 1 を想定する。それぞれのノードは定期的にセンシングし、それらのデータを保持しておくが、機能停止・機能停止手前ノードが隣接して複数発生した場合に本研究の手法を用いて迂回路を形成するものとする。また、機能停止手前状態への移行は、火災の場合は観測温度が火災検知温度に達した場合、電池不足による機能停止は、電池残量が一定以下になった場合とする。

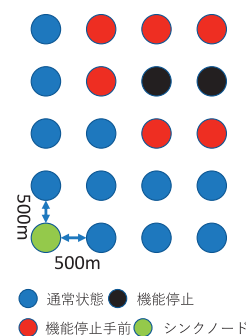


図 1 ネットワークトポロジ

3.2 SF 値

本研究では迂回路構築の際に、LoRaWAN 特有の値である SF (Spreading Factor) 値を用いる[2]。受信機において雑音に打ち勝って信号を復調できる限界レベルを受信感度と言い、SF 値と受信感度にはトレードオフの関係にある。SF 値が大きくなるにつれ、受信感度があがり、より遠距離の通信を行うことができるようになるものの、伝送速度が遅くなっていくという関係にある。

3.3 迂回路構築法

複数ノードの故障発生時、各ノードはシンクノードに向けて自身の状態を含めた状態メッセージを伝達し、シンクノードがネットワーク全体の状況を把握する。状態メッセージには、自ノードの状態、バッテリー残量、観測温度を記載する。その後、シンクノードはノード状態表を全ノードに届くようにブロードキャストする。その際、ノード状態表に機能停止手前ノード間の経路表を記載しておくことで、機能停止前ノードの次のホップ先等の情報を、機能停止前ノード間でやりとりすることができる。これにより、機能停止前ノードは、送信先ノードの状態・自身と送信先ノードの距離・他の機能停止前ノードの送信先予定・電池残量の4つの情報を保持しているため、それらをもとに送信先を適切に決定することができる。その際、宛先決定時に用いる指標は以下である。

$$C_i = \begin{cases} 1(\text{通常状態のノード}) \\ \alpha(\text{機能停止前状態のノード } \alpha > 1) \end{cases}$$

$$index(i, j) = \frac{C_i * L_{ij} * n_j}{Elc_j}$$

ここで、 n_j は送信先として選択されている数、 Elc_j は電池残量、 L_j はノード*i, j*間の距離とする。そのため、指標 $index(i, j)$ は、通常状態のものが選ばれやすく、また、距離が短い・送信先として選択されている数が少ない・電池残量が多いものほど、選ばれやすくなる指標となっている。

3.4 ノード間の SF 値決定方法

機能停止前ノードは送信先ノード決定後、従来の SF 値では通信可能距離にない場合があるため、送信先として決定したノードにビーコンを送信し、RSSIを計測する必要がある。

まず、送信元ノードから送信先ノードにビーコンを送信し、送信先ノードで RSSI を計測する。そして測定した RSSI をビーコンの送信元ノードに送信し、その後適切な SF 値を割り当て、通信を開始する。ここで、RSSI と SF 値の関係について実測を行なった研究[3]がある。この研究に用いられた RSSI と SF 値のモデル式を本研究でも使用する。RSSI と SF 値割り当ての関係式は以下である。

$$SF:8 \quad RSSI \geq -80dBm - \beta$$

$$SF:10 \quad -80dBm - \beta > RSSI \geq -110dBm - \beta$$

$$SF:12 \quad -110dBm - \beta > RSSI$$

ここで、 β はドップラー効果等の誤差によるズレをなくするための値として設定されていたが、本研究でも森林内の雑音等の誤差が生じることが予想されるため、適切に設定するものとする。

4 評価

図1のネットワークにおいて、1000秒間のシミュレーションを行なった結果を表1に示す。それぞれの値は、シミュレーション10回分の平均の値である。

表1 シミュレーション結果

	提案手法	比較対象の手法
送受信にかかる消費電力	1114.5[J]	937.6[J]
機能停止手前ノードがデータを保有していた時間	252.9[s]	898.3[s]
データ到達率	87.2[%]	86.6[%]

シンクノードへのデータ到達率はあまり差が見られないものの、機能停止手前ノードがデータを保有していた時間を、およそ70%程度削減することができた。これにより、機能停止手前ノードは通常状態のノードに迅速にデータを送信していることがわかった。課題点として、消費電力が20%程度増えることが確認された。これは指標における距離の影響が少なく、SF値が大きくなる宛先が多く選択されてしまったためであると考えられる。

5 おわりに

本研究では、森林内ネットワークにおいて複数ノードが機能停止に陥った場合の、情報伝達手法について提案した。その際、機能停止手前ノードは、最適な宛先を選択し、そのノードとの通信では適切な SF 値を設定した。この手法を用いることで、機能停止手前ノードがデータを保持する時間が短くなることが確認できたため、故障の可能性があるセンサネットワークにおいて、有用性が確認できた。課題として、比較対象の手法に比べ、提案手法は送受信にかかる消費電力が20%程度増えることが確認された。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 19K11925, 22K12012 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1]古閑他：火災検知データの優先度を考慮した経路選択を用いた無線センサ森林火災監視システム, 信学技報, IEICE Technical Report CS2013-58 (2013)
- [2]AN1200.22 LoRaTM Modulation Basics, Semtech(2015)
- [3]脇森他：Private Lora を用いた移動車両からのデータ収集のための送信制御手法, 信学技報, vol.121, No.433(2022)