

# Bluetooth mesh を用いた環境モニタリングにおける 送信回数最適化の検討

市位 裕幸<sup>†</sup> 角 武憲<sup>†</sup> 坂口 尚駿<sup>†</sup> 永井 幸政<sup>†</sup> 北沢 祥一<sup>‡</sup>

三菱電機株式会社 情報技術総合研究所<sup>†</sup>

室蘭工業大学 もの創造系領域 航空宇宙システム工学ユニット<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

近年、身近になっている IoT (Internet of Things) 機器では、BLE (Bluetooth Low Energy)、無線 LAN などの無線通信方式が使用されている。特に、多対多間の通信を可能とし、大規模な IoT ネットワークの構築が可能な Bluetooth mesh が注目されている。Bluetooth mesh では、データ転送方式として通信範囲内のノードから受け取ったデータを隣接ノードに転送するフラッディングが採用されており、これによりデータ到達率の向上が図られる。しかし、隣接ノードが少ない場合、E2E (end-to-end) のデータ到達率が低下する課題がある。

本稿では Bluetooth mesh を用いた環境モニタリングにおいて、隣接ノードが少ないノードに対してのみ適切に送信回数の値を増やすことで、消費電力の増加を抑えつつデータ到達率を向上させる送信回数の最適化の手法を提案する。

## 2. Bluetooth mesh の通信方式

Bluetooth mesh は、Bluetooth SIG により規格化された 2.4GHz 帯のメッシュネットワークの無線通信規格である [1]。図1に示すように、Bluetooth mesh で用いられる通信方式フラッディングでは、各ノードはデータを受け取ると隣接ノードにデータを転送する。それにより、転送中にデータが宛先となるシンクノードに到達する。この時、転送済みのデータと同じデータを受け取ると再度転送は行わず、データを破棄し冗長な転送を抑制する。通常、データは複数のノードにより転送されるため、あるノード間でデータが欠落しても別ノードが受信していればシンクノードに到達する。しかし、図1に示すようにシンクノード向けに中継ノードが 1 台しかない場合、ノード A とシンクノード間でデータが欠落するとシンクノードまでデータが到

達しない。解決策として、全ノードに対して送信回数 (「Network Transmit Count」, 「Relay Retransmit Count」) を増やすことで、データ到達率の向上が期待される。しかし、各ノードの送信回数の増加により消費電力が増加する課題が発生する。したがって、中継ノードが少ないノードに対してのみ適切に送信回数を増やし、消費電力増加を抑えつつデータ到達率の向上を図る必要がある。

## 3. 提案手法

提案手法では、各ノードがシンクノードまでの中継ノード数を把握し、中継ノード数が少ない場合に、該当ノードの送信回数の値を制御する。これにより、消費電力増加を抑えつつデータ到達率の向上を図る。

Bluetooth mesh で規定される「Heartbeat message」に含まれる転送情報 (「送信時の初期 TTL」, 「TTL」) を用い、各ノードが中継ノード数を把握し、送信回数を制御する方法を提案する。まず、シンクノードは全ノード「Heartbeat message」を複数回送信する。各ノードは「Heartbeat message」を 1 つ以上受信すると、送信元の「送信時の初期 TTL」を受信時の「TTL」で減算して 1 を加算し、シンクノードまでのホップ数を算出し、最小ホップ数を保持する。その後、各ノードは自身のシンクノードまでの最小ホップ数の情報を「Heartbeat message」に含めて隣接ノードに送信し、各ノードは自身と他ノードの最小ホップ数を比較することで、各ノードは同ホップ及び 1 ホップ少ない中継ノード数を把握することができる。ここで各ノードは、中継ノード数がシステムで設定された閾値以下であれば、送信回数 (「Network Transmit Count」, 「Relay Retransmit Count」) の値を設定値に増やす。これにより、中継ノードが少ないノードに対してのみ適切に送信回数を増やすことが可能となる。

## 4. 評価方法

定期的にセンサデータを収集するアプリケー

Transmission count optimization for environmental monitoring using Bluetooth mesh.

<sup>†</sup> Hiroyuki Ichii, Takenori Sumi, Naotaka Sakaguchi, Yukimasa Nagai, Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation.

<sup>‡</sup> Shoichi Kitazawa, Muroran Institute of Technology

ションを想定し、データ欠落率と単位時間あたりの送信回数を評価指標として実機評価を行った。図2に屋内実験でのノード配置を示す。実機評価では、屋内にノードを配置し、各ノードが1秒周期に1データのセンサ情報をシンクノードに送信することを想定した。表1に評価用の測定パラメータ諸元を示す。本評価では、3種類の測定を行った。評価①は、全ノードに対して「Network Transmit Count」の値を3、「Relay Retransmit Count」の値を2に設定した。評価②は、評価①に対し、送信回数を1ずつ増やすことで、データ到達率が向上することを確認するため測定を行った。評価③は、提案手法を適用することで、図2のノードAに対して送信回数が1ずつ増え、その他の送信回数は評価①の値となる。本評価では、評価指標としてデータ欠落率、1分あたりの送信回数を使用する。ここで、1分あたりの送信回数は、1分間にノードから送信するデータの送信回数と転送時のデータの送信回数との総和とする。なお今回の想定アプリケーションでは、所要データ欠落率を0.01以下と仮定した。

5. 評価結果

全ノードのデータ欠落率、1分あたりの送信回数を図3に示す。評価①では、データ欠落率が0.0257、1分あたりの送信回数が2,154回となった。評価②では、データ欠落率が0.0059、1分あたりの送信回数が3,199回となり、評価①に比べ、データ欠落率が0.0198低下したが、1分あたりの送信回数が約1.49倍増加した。

一方、評価③では、データ欠落率が0.0094、1分あたりの送信回数が2,393回となり、提案手法を適用したことで、評価①に比べ、データ欠落率を0.0163低下させ、評価②に比べ、送信回数を約0.75倍減少させることができたため、消費電力を抑えつつデータ到達率を向上することが可能となる。

なお、本評価は送信回数を1増やしたことにより、所要データ欠落率を達成したが、送信回数が増えるほど、データ欠落率は低下する。しかし、送信回数をむやみに増やすと消費電力が増加するため、システムで求められるデータ到達率に合わせて送信回数の増やす値を決定する。

6. 結論

本稿では、Bluetooth meshを用いた環境モニタリングにおいて、中継ノードが少ないノードに対してのみ適切に送信回数の値を増加させ、データ到達率向上の手法を提案した。また、実

機評価により、データ欠落率及び1分あたりの送信回数を評価指標として提案手法の有効性を確認した。

今後、送信回数の最適化に加え、ノードが密集して余分な転送が発生する場合や、宛先に隣接するノードによって送信された不必要な転送が発生する場合、などの検討課題に取り組む予定である。

参考文献

[1]Bluetooth SIG, "Mesh Profile" v1.0.1, 2019

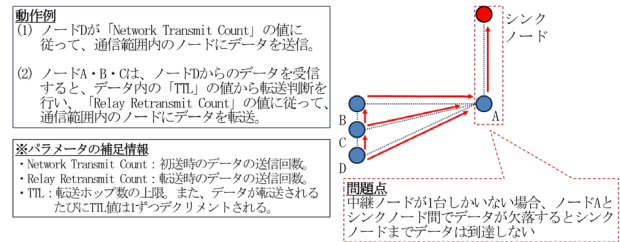


図1 Bluetooth meshの通信方式

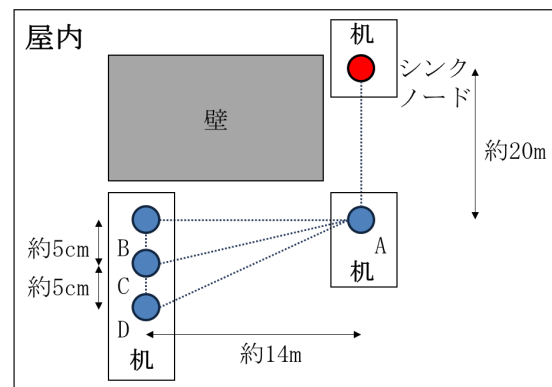


図2 ノード設置位置

表1 測定パラメータ諸元

パラメータ	評価①	評価②	評価③
Network Transmit Count	3	4	ノードA:4, その他:3
Relay Retransmit Count	2	3	ノードA:3, その他:2
TTL	8	8	8
データ送信周期	1 [s]	1 [s]	1 [s]
測定時間	1800 [s]	3600 [s]	3600 [s]

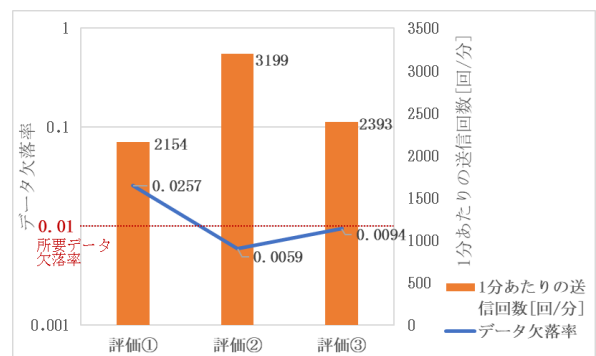


図3 データ欠落率と1分あたりの送信回数