

BLEマルチホップ通信の経路選択および取得データの送受信

Route selected by BLE multi-hop communications and transmission and reception of acquired data

東京工科大学 戦略的教育プログラム(IoT Dojo)
佐々木 光¹⁾, 荒井 十視¹⁾, 鈴木 飛鳥¹⁾, 山下 直希¹⁾, 吉野 啓汰¹⁾
指導教員 串田 高幸²⁾, 研究協力者 増田 和範²⁾

1) 東京工科大学コンピュータサイエンス学部 3年生

2) 東京工科大学 クラウド・分散システム研究室

キーワード: ESP32, IoT, 経路選択, BLE, マルチホップ

1. はじめに

代々木公園は年間利用者が一千万人を超え、利用者の憩いの場である。

令和4年度に実施された「代々木公園アンケート調査」では、総合満足度が97%に対し、「トイレ・休憩所などの施設の清掃状況」が92%である。代々木公園の改善点の1つに園内施設の管理・清掃が挙げられる。しかし、代々木公園内のトイレやゴミ箱を常に綺麗に保つことは、現場の清掃員と管理者にとって容易ではない。問題は敷地面積が約54haと広く、通信環境が未整備である。清掃作業の効率化のためにリアルタイムでトイレの使用状況とゴミの堆積状況のデータをWi-Fi通信を用いて送信する事は困難である。

作業の効率化を果たす為にはWi-Fiが不十分な公園での通信、機器故障時の経路変更、リアルタイム情報の取得が課題である。

2. 提案

提案はBluetooth Low Energy(BLE)マルチホップ通信による複数経路作成とダッシュボードによる可視化である。これにより、マルチホップ通信の経路の可視化が可能になる。

公園内での通信環境の不十分な環境の問題を解決するために、BLE通信技術を使用する。BLE通信は、低電力でデバイス間の通信を可能にし、公園内での信号の弱さや干渉に対処するのに適している。これにより、通信環境が未整備な公園であっても、通信手段を確立できる。

BLEマルチホップ通信による経路の構築のために、複数のESP32を中継器として使用する。始めに複数の中継ポイントを通じて通信を行う。すべての中継器とつなげることで通信可能である。最適な経路を確立するために最少ホップ数の経路を選択する。ホップ数を最小にすることでネットワークレイテンシを低くすることにある。ネットワークレイテンシはネットワーク通信における遅延で

あり、ホップ数が多くなると遅延時間の増加する。確立した経路を通じてセンサで取得したトイレの人数データとゴミの堆積率データをサーバに送信する。

ダッシュボードの可視化は経路選択による結果とセンサから取得したデータを表示する。

ゴミ箱内部の堆積度を計測する距離センサを設置し、ゴミの量に応じた高さとの距離をデータとして取得する。その後データをサーバに送ることで、ゴミの堆積状況をリアルタイムでモニタリングすることが可能となり、公園の清掃効率が向上される。

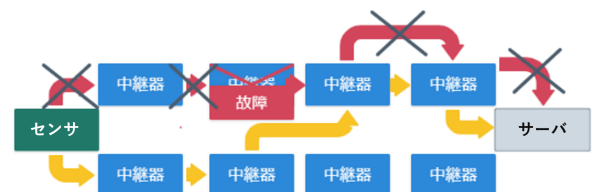


図1: BLEマルチホップ通信と経路選択の構成図

図1にセンサ付きデバイスとサーバ間の経路選択の流れを示す。複数の中継器から最短経路でデータの送受信が行われる。マルチホップをするネットワークを作ってその中から最小ホップ数を探す。通信途中で中継器が破損した場合、最短ホップ数で繋がる別の経路を探す。

3. 実装開発

本実装ではマイクロコントローラESP32、距離センサVL53L1X、Webサーバを使用した。距離センサをESP32に接続することで、センサで取得したデータの送受信を可能にする。

マルチホップ通信のため、デバイスはセンサデータの取得、中継器経由でのデータ転送、サーバでのデータ受信を行う。これにより通信範囲の拡大と中継器間通信が可能になる。

経路選択のため、センサ付きESP32は送信前に全経路で通信を行う。図2は経路選択の流れを示す。データ

は中継器を経てFlaskサーバに送られ、データベースに保存後、経路データがセンサのESP32に返される。これにより、最適な経路選択が可能となる。

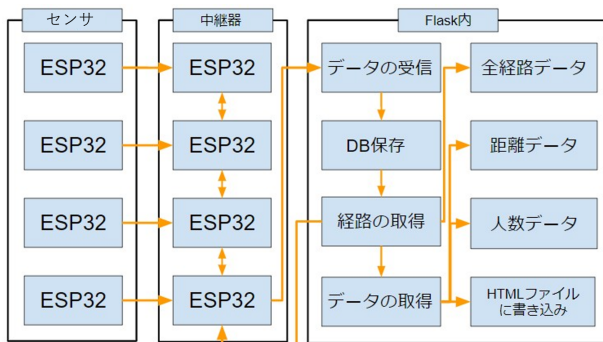


図2:ソフトウェア構成図

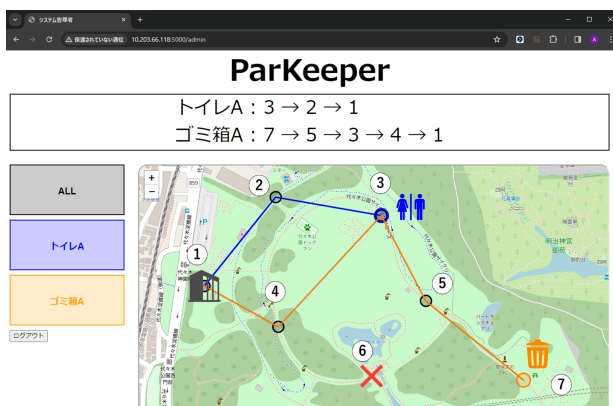


図3: 確立された経路の一例

本提案において複数の中継機間で通信を行うが、経路途中の機器の故障によりデータの送受信行えなくなる問題を解決するために図3のような経路変更を行う。図3では6番ノードが故障し、経路の変更を行う。

4. デモンストレーション

本デモンストレーションでは、代々木公園のスマールスケールとして、BLEマルチホップ通信を利用したトイレとゴミ箱の管理システムのデモンストレーションを行う。予め取得した公園内のトイレの利用人数とゴミ箱の堆積状況をサーバに送信し、ダッシュボードに計測したデータが表示されることと、データの送受信でLEDが適宜点灯することを本デモンストレーションでは紹介する。ESP32にはLEDが取り付けられており、通信の状態を視覚的に示す。データ送信時には1秒ごとに青または緑のLEDが点滅し、青は経路構築時のデバイス情報の送信を、緑のLEDはゴミ箱の堆積率の指標となる距離又はトイレの利用人数データの送信中であることを示す。機器やサーバ間で接続が確立されると、赤のLEDが2秒間点灯する。

サーバでのデータ処理とダッシュボードでの可視化について説明する。サーバでは、センサデバイスから受信した経路データ、距離データを処理し、トイレの利用人数、ゴミ箱の現在の堆積状況を算出する。利用人数と堆積状況はリアルタイムで利用者向けダッシュボードに数値として

反映され、清掃業者は一目で各ゴミ箱の状態を把握し、必要に応じて清掃作業を行うことができる。通信経路やデバイスの状態も管理者用のダッシュボード上で確認することが可能であり、システムの運用状況をリアルタイムでモニタリングすることが可能である。

初期状態では、地図登録済みのESP32の位置情報のみがダッシュボードに表示される。

センサデバイスからサーバまでの通信経路情報を受け取り、処理を行うと経路情報が反映されサーバで受け取る。受け取った経路情報を管理者用のダッシュボードに反映する。選択されている経路は図3のように色別に判別できる。

最適な経路でデータの送信を行い、サーバでセンサのデータを受け取り利用者用のダッシュボードに反映する。トイレとゴミ箱のアイコンを用いる。中継器が故障した場合を想定し、中継器を一つとめる。

故障して経路が変更にしたことをダッシュボードに反映する。この際に故障した中継器の場所を画面上でバツ印で反映している。

5. おわりに

本提案では、公園のような通信環境が整っていない場所でのデータ収集の課題を解決するため、BLEマルチホップ通信技術を取り入れ、通信の安定性を向上させ範囲を拡大した。ESP32を中心に、現場の経路や機器の状態を視覚的に把握する方法を実装した。

通信の安定性を高めるために経路選択の方式を導入し中継機の故障による通信トラブルへの対応を向上させた。これにより、通信の信頼性が上がり、安定したデータの送受信を可能にした。管理者向けのダッシュボードを開発し、通信状況を視覚化した。

参考文献

- [1] 吉崎徹, 内藤克浩. "BLE 通信を用いるスマートフォン OS 用マルチホップ通信技術の提案." 研究報告モバイルコンピューティングとパーベイシブシステム (MBL) 2018.20 (2018): 1-8.
- [2] 藤本まなと, et al. "Bluetooth Low Energy マルチホップ通信を用いた斜面崩壊予兆検知システムの実装と評価." マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2016 論文集 2016 (2016): 638-644.