

IoT デバイスのアクセスポイントモード動作時間の短縮による消費電力の削減

大沢 恭平¹ 杉本 一彦² 串田 高幸¹

概要：屋外環境の監視に用いられる IoT デバイスは小型のバッテリーで動作する。また、屋外では全ての IoT デバイスが直接サーバと通信できる保証が無いため、他の IoT デバイスを經由してサーバにセンシングデータを送信するマルチホップ通信を行う。マルチホップ通信において中継機能 (AP モード) を起動する IoT デバイスの消費電力量が停止時と比較して約 2.5 倍多くなり、動作可能時間は減少する。課題は、IoT デバイスの電力が無くなるとセンシングデータがサーバに送られなくなること、また、中継を行う IoT デバイスが他の IoT デバイスより先に電力不足によって停止すると他の IoT デバイスのセンシングデータをサーバに送れなくなることである。提案では送信側の IoT デバイスが自身の送信時にのみ AP モードを起動することで、各 IoT デバイスの AP モード起動時間を削減している。

1. はじめに

背景

WSN(Wireless Sensor Network) は近年の活発な研究領域の一つである。WSN は軍事、ヘルスケア、屋外環境、工業の監視に用いられる [1]。人間の入れない場所の監視にも用いられるため、バッテリーの取り換えや充電が可能であるとは限らない。IoT(Internet of Things) デバイ스에搭載出来るバッテリーの大きさや電力量には限りがある [2][3]。それゆえ、消費電力の削減は WSN における重要な課題である。WSN を構成する IoT デバイスには、センサーデータを取得するセンサーノードとセンシングデータをサーバまで送信するためにノード間のセンシングデータ送信の中継を担う中継ノードがある。マルチホップ通信において中継機能 (Access Point mode : AP モード) を起動する IoT デバイスの消費電力量は停止時と比較して約 2.5 倍多くなり、動作が可能な時間は減少する。中継ノードは、次の 3 つのセクションの操作を行う。

- 1) 情報の送受信を行う RCS(Radio Communication Section)
- 2) センサーノードから受信した情報を蓄積する IRS(Information Recording Section)
- 3) 情報の送信先を決定する ICS(Information Conveying

¹ 東京工科大学コンピュータサイエンス学部
〒192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1

² 東京工科大学大学院バイオ・情報メディア研究科コンピュータサイエンス専攻
〒192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1

Section)

このうち RCS において最も電力を消費する [4][5]。WSN のネットワークトポロジーとして図 1 のようなライン型ネットワークがある。

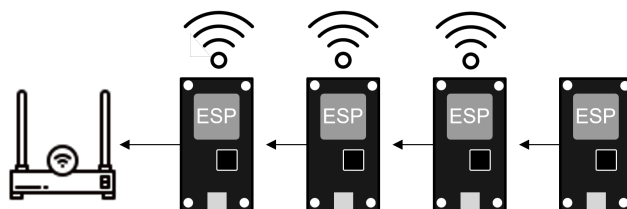


図 1 ライン型ネットワーク

ライン型ネットワークは IoT デバイスが一直線上に配置され、各 IoT デバイスは隣の IoT デバイスと通信を行う。

課題

WSN において AP モードを起動する IoT デバイスの消費電力は、起動しないデバイスに比べて高くなる。それにより、AP モードを起動する IoT デバイスが他の IoT デバイスより先に電力不足で停止してしまう。また、ライン型マルチホップネットワークにおいて、図 2 の IoT デバイス A のように一台の IoT デバイスが停止すると、IoT デバイス B,C,D は電力が残っていたとしてもセンシングデータをサーバへ送れなくなる。

従来の通信方法では、IoT デバイス C と D 間で通信をしている間も A や B は AP モードを起動して待機している。よってトポロジー上でサーバに近い IoT デバイス程待機中

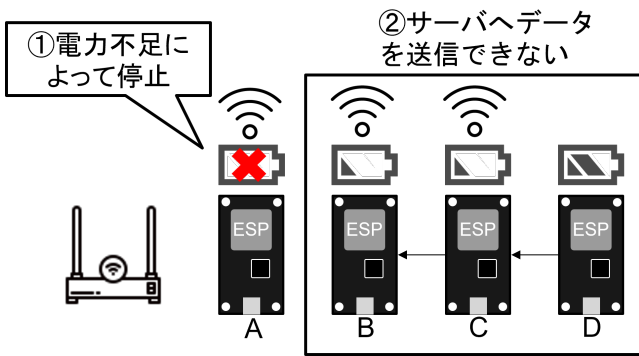


図 2 サーバと直接通信できる IoT デバイス A が停止している状態

に消費する電力量が大きくなる。したがって、中継機能を起動する IoT デバイスの待機時間を削減する必要がある。

各章の概要

2 章では、本稿の関連研究について記述する。3 章では本稿の提案方式について記述する。5 章では行った実験についてと評価を記述する。6 章では提案方式についての議論を記述する。7 章では本稿のまとめを行う。

2. 関連研究

LEACH プロトコルでは、中継ノード (クラスターヘッド) をランダムに選出することで中継にかかる電力を分散している [6]。クラスター内のメンバーノードはセンシングデータをクラスターヘッドに送信するための TDMA (Time Division Multiple Access) スケジュールを持つ。

しかし、全てのメンバーノードが送信する間クラスターヘッドは中継機能を動作させ続けなければならないため、メンバーノードが多いほど電力を消費する。また、LEACH プロトコルはセンシング範囲の規模が大きくなるとベースステーションから遠いクラスターヘッドの消費電力が高くなってしまふ。よって、広大なエリアの監視時にクラスターヘッドとなるノードの消費電力が削減できない。

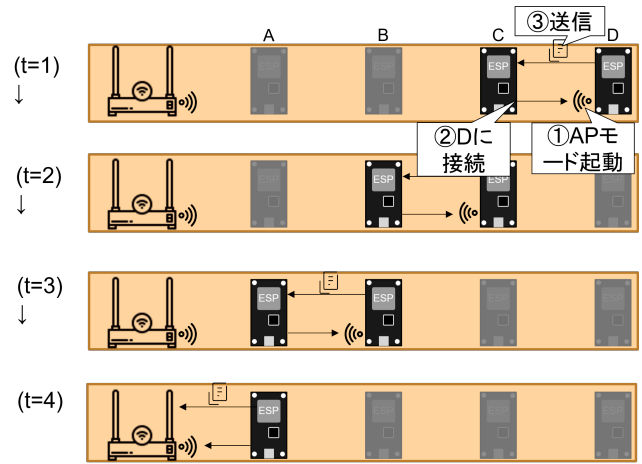
3. 提案

提案方式

本提案の目的は IoT デバイスの AP モード時間を短縮することで消費電力を削減することである。IoT デバイス間でセンサデータの送受信をする際、送信側 IoT デバイスのみが AP モードを起動し、受信側 IoT デバイスは AP モードを起動せずに送信側の Wi-Fi に接続する。センシングデータの送受信が終了すると、2 つの IoT デバイス間で次の通信時間までのタイマーを設定し、通信を終了する。これにより、各 IoT デバイスの AP モードの動作時間を短縮し、消費電力を削減することが出来る。

図 3 は IoT デバイス A~D のセンシングデータをサーバに送る一連の動作を示している。IoT デバイス C、D が通

信をしている間、IoT デバイス A、B は AP モードを起動していない。よってセンシングデータの送受信を行っていない間の消費電力を削減できる。



□: センサデータ

図 3 提案手法概要図

本提案方式では各 IoT デバイスは以下の 4 つの動作を行う。

- AP モード起動/停止
- 隣接 IoT デバイスとの接続/切断
- データの送受信
- タイマーの起動/停止

図 4 に IoT デバイス D-C, IoT デバイス C-B, IoT デバイス B-A 間での動作フローを示す。それぞれの IoT デバイスはこの一連の流れを繰り返す。サーバと通信できる

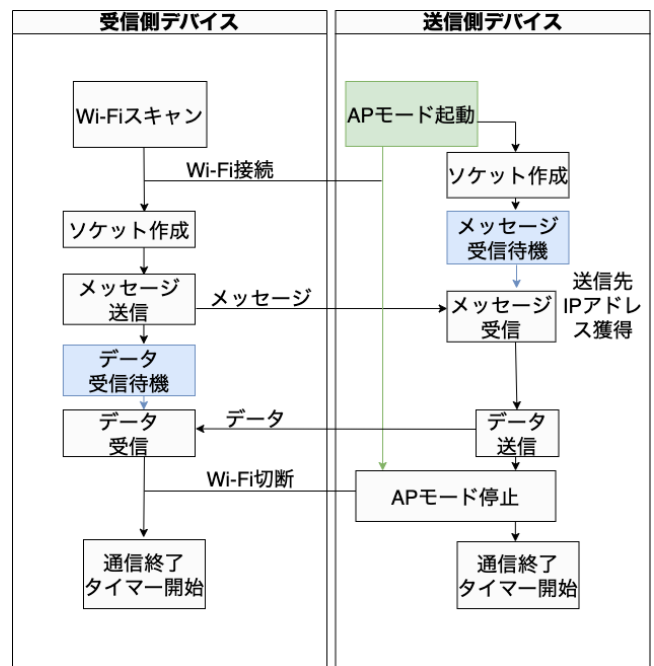


図 4 動作フロー図

IoT デバイス A はデータ受信後、ルータの Wi-Fi に接続し、HTTP リクエストを送信してサーバにデータを格納する。

AP モードの起動/停止

AP モードの起動はトポロジー上で最もサーバから遠い IoT デバイスから順番に起動する。図 3 では D → C → B の順番である。A についてはルータの AP に接続できるため、AP モードの起動は行わない。

隣接 IoT デバイスとの接続/切断

受信側 IoT デバイスは送信側 IoT デバイスの Wi-Fi に接続する。それぞれの IoT デバイスで接続可能な SSID を固定し、隣接している IoT デバイス以外の Wi-Fi には接続しない。Wi-Fi への接続が完了したことを知らせるため、受信側 IoT デバイスは送信側 IoT デバイスに対し、ソケット通信を用いてメッセージを送信する。これにより、送信側 IoT デバイスはデータ送信の宛先の IP アドレスを獲得する。

データの送受信

送信側 IoT デバイスは獲得した IP アドレスに対し、ソケット通信でデータを送信する。送信データのサイズは 10[byte] とデータ送信回数を示す 1 桁以上の数字からなる 11~14[byte] である。

タイマーの起動/停止

データの送受信の完了後、タイマーを起動し、隣接ノードとの次の通信まで待機する。時間になると送信側ノードは AP モードを起動する。

ユースケース・シナリオ

本稿の提案手法は河川の流量監視での使用を想定する。想定するユースケース・シナリオの構成を以下の図 5 に示す。水量監視は川沿いに設置された IoT デバイスによって行われる。上流に設置されている IoT デバイスは直接サーバと通信できない。したがって、センシングデータは同じく川沿いに設置された他の IoT デバイスを介してサーバへ転送される。

日本では夏の間、台風や梅雨の影響で河川に流入する水量が増加する。水害対策や環境監視の為に河川の流量監視は有効な手段である。田舎や山間部では、電線等の電力インフラストラクチャーが整っていない場所があり、監視 IoT デバイスに電力を安定供給することができないことがある。しかし、WSN において IoT デバイスはバッテリーで動作し、IoT デバイス同士で通信を行う。したがって、電気、通信インフラストラクチャーを必要としない。また、本稿の提案手法によって IoT デバイスの動作時間を延長

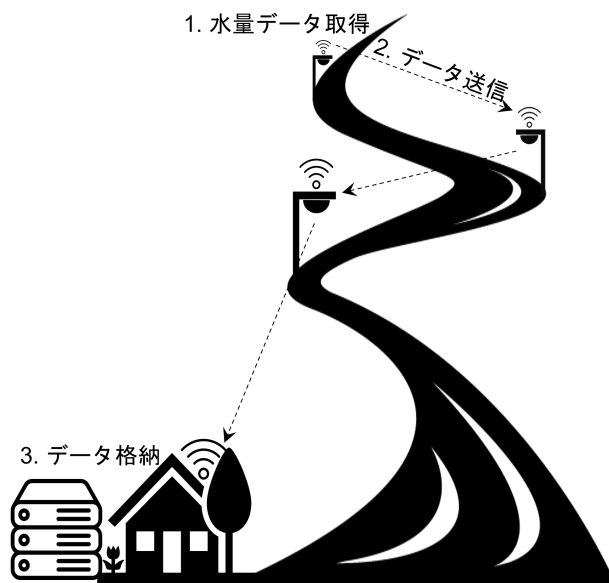


図 5 ユースケース概要図

することでバッテリー交換の頻度を削減することが可能である。

4. 実装

実装には ESP32 とサーバを用いた。図 6 は ESP32 とサーバの通信の構成図である。サーバの OS として

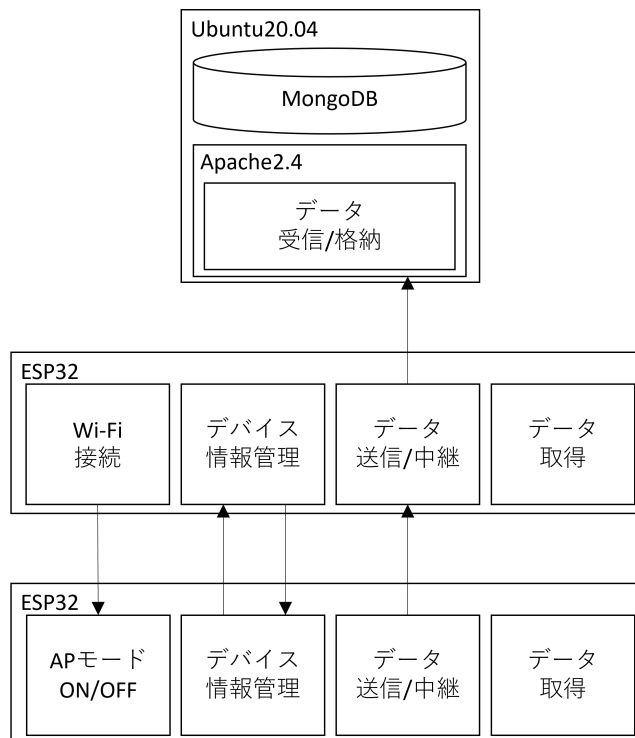


図 6 通信構成図

Ubuntu20.04, ESP32 から送信されるデータを受信するための Web サーバとして Apache2.4, 受信したデータを格納するデータベースとして MongoDB を用いている。

ESP32 同士の通信にはソケット通信を使用している。図 7 は ESP32 同士の通信の構成図である。最初に送信側 IoT

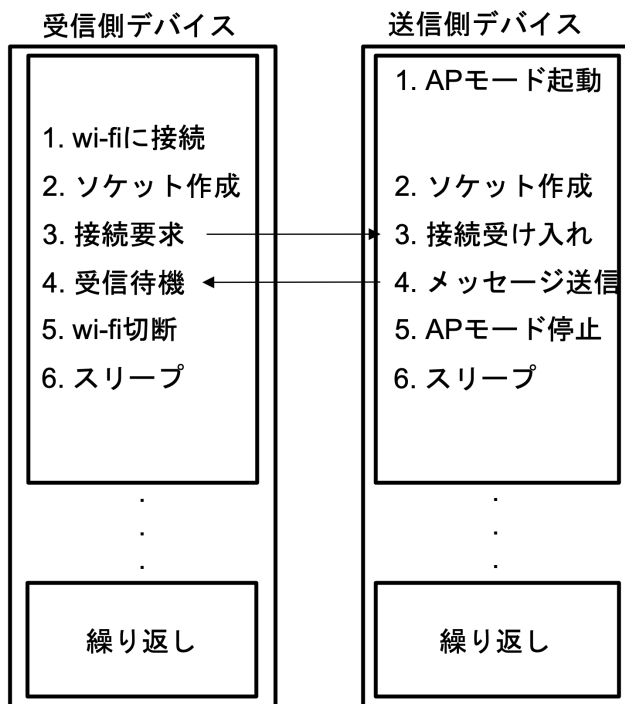


図 7 ESP32 通信構成図

デバイスは自身の AP モードを起動し、受信側 IoT デバイスは送信側 IoT デバイスの Wi-Fi に接続する。受信側 IoT デバイスは送信側 IoT デバイスにソケット通信の接続要求を行い、メッセージの受信待機をする。送信側 IoT デバイスは接続要求を確認し、メッセージを送信する。受信側 IoT デバイスと送信側 IoT デバイスはそれぞれ Wi-Fi の切断と AP モードの停止を行い、スリープ状態に入る。これを 1 セットとして繰り返し行う。

5. 実験と分析

実験環境

前述した通信構成の実装を行う。実験における ESP32 の配置を図 8 に示す。ESP32-A~ESP32-D の 4 台全てに

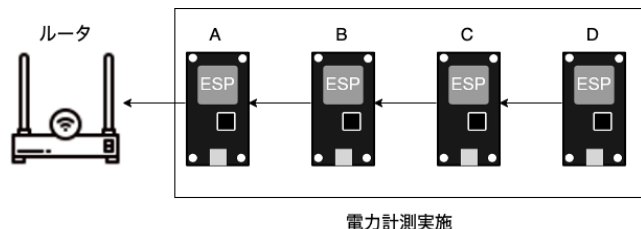


図 8 実験における ESP32 の配置

において電流計測を行い、消費電力の取得を行う。

既存手法として、データ受信側の ESP32 が AP モードを起動する場合の消費電力を計測する。

評価方法

評価では既存手法と提案手法を比較し、各 IoT デバイスの電池残量変化の推移とデータの受信時間を計測する。既存手法と提案手法で計測を行い、下記についてまとめる。

- 各 ESP32 のデータ受信時間
- 各 ESP32 の電池残量推移

6. 議論

提案手法ではデータ送信側の IoT デバイスが AP モードを起動し、受信側 IoT デバイスは AP モードを起動しない。そのため、受信待機中に AP モード起動によって消費される電力を抑えることができる。しかし、送信側の電力負担が大きくなる。

また、本稿の提案はライン型のネットワークトポロジーのみに限定しているが、IoT デバイスが活用される場面ではメッシュ型のトポロジーも多く用いられている。したがって、より実用的な提案にするためにはメッシュ型に対応させる必要がある。

7. おわりに

電池で動作する IoT デバイスで構成されるライン型ネットワークにおいて AP モードを起動する IoT デバイスを受信側ではなく送信側にすることでデータ送信可能時間を延長する手法を提案した。課題はデータを受信する IoT デバイスの電池残量が無くなると送信側の IoT デバイスの電池残量が残っていたとしてもサーバにセンシングデータを送れなくなることとした。評価はデータ受信時間で行う予定である。

参考文献

- [1] Culler, D., Estrin, D. and Srivastava, M.: Guest Editors' Introduction: Overview of Sensor Networks, *Computer*, Vol. 37, No. 8, pp. 41–49 (online), DOI: 10.1109/MC.2004.93 (2004).
- [2] Haneef, M., Wenxun, Z. and Deng, Z.: MG-LEACH: Multi group based LEACH an energy efficient routing algorithm for Wireless Sensor Network, *2012 14th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, pp. 179–183 (2012).
- [3] Lindsey, S. and Raghavendra, C.: PEGASIS: Power-efficient gathering in sensor information systems, *Proceedings, IEEE Aerospace Conference*, Vol. 3, pp. 3–3 (online), DOI: 10.1109/AERO.2002.1035242 (2002).
- [4] Vallimayil, A., Raghunath, K. M. K., Dhulipala, V. R. S. and Chandrasekaran, R. M.: Role of relay node in Wireless Sensor Network: A survey, *2011 3rd International Conference on Electronics Computer Technology*, Vol. 5, pp. 160–167 (online), DOI: 10.1109/ICECTECH.2011.5941977 (2011).
- [5] Bian, Q., Zhang, Y. and Zhao, Y.: Research on Clustering Routing Algorithms in Wireless Sensor Networks, *2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, Vol. 2, pp. 1110–1113 (online), DOI: 10.1109/ICICTA.2010.343 (2010).

- [6] Shih, E., Cho, S.-H., Ickes, N., Min, R., Sinha, A., Wang, A. and Chandrakasan, A.: Physical Layer Driven Protocol and Algorithm Design for Energy-Efficient Wireless Sensor Networks, *Proceedings of the 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, MobiCom '01, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 272–287 (online), DOI: 10.1145/381677.381703 (2001).