

気温の変動に応じたデータ送信頻度の増減による IoTデバイスの省電力化

五味 滉人^{1,a)} 中川 翔太^{2,b)} 串田 高幸¹

概要：電力供給のための設備を持ち合わせていないビニールハウスでは、一次電池を用いて IoT デバイスを稼働させている。しかし、一次電池は再充電が行えず、電池残量がなくなった場合に交換しなければならない。本研究では、IoT デバイスに取り付けられた温度センサーから取得したデータをもとに、気温の上がり下がり予測点を 3~5 点に絞ることによって、サーバ側でそれ以降のデータ送信間隔を決定するアルゴリズムを提案する。この手法では、データの送信回数を抑制すること、データを送信してから次に送信するまでの期間を Deep Sleep モードにすることによって消費電力を削減する。評価としてアルゴリズムを 3 パターン用意し、消費電力と温度の比較、最高気温や上がり下がり予測値と実測値との誤差の総和を比較し評価する。

1. はじめに

背景

あらゆるモノと処理の間の普遍的な接続に向けた劇的な変化の「モノのインターネット (IoT)」は第 3 次産業革命とも呼ばれる。この革命では、データ収集、電力消費、無線センサーネットワーク、無線・移動体通信、データ分析・処理、インターネット技術など、いくつかの科学技術を互いに集めたもので、ウェアラブルなフィットネストラッカーからコネクテッド・カーまで、ユーティリティ、交通、ヘルスケア、コンシューマー・エレクトロニクス、その他多くの業界に広く応用されていることから、IoT と名付けられた [1]。IoT は、人、モノ、環境を統合するもので、スマートホーム、電子商取引、コネクテッド・ヘルスケア、スマートシティの新しいアプリケーションの助けを借りて、私たちの日常生活を一変することができる。McKinsey の推定では、2025 年までに 250 億~500 億台のデバイスが存在し、潜在的な経済効果は年間 3.9~11.1 兆ドルの範囲になると推定している [2]。このような接続デバイスの爆発的な増加は、ネットワークトラフィックの増加につながる可能性があり、その増加をサポートするために必要なネットワーク機器の追加にかかるエネルギーコストは未知数で

ある [3]。

IoT で最も研究されている分野は、世界人口が急速に増加している中、食の安全を確保するために非常に重要である農業が最も研究されている分野である。農業製品には、土壌成分のモニタリングや温度や湿度などの環境条件のモニタリング、サプライチェーンマネジメント、インフラマネジメントなどのアプリケーションが必要になる。農業の未来は精密農業であり、2020 年には、40 億円の成長が見込まれており、農業現場のセンサーから生成されたデータはデータ分析に利用することで、農業の収穫量を向上することができ、農業にまつわる省力化やノウハウ継承の問題を解決することができる [4]。

理想的な IoT アプリケーションでは、センサーが単 4 電池 1 本で何年も稼働できるシステムが理想的である。一般的に、接続機器の無線技術を選択する際には、消費電力、最大の距離範囲を考慮する必要がある [1]。

課題

本研究の課題の図を図 1 に示す。課題として 2 つ挙げる。1 つ目は、IoT デバイスが充電不可能な一次電池で動作している場合、IoT デバイスに安定した電力供給がされなくなり、動作することができなくなる。そのため、一次電池で動作している IoT デバイスを長期間運用するためには、消費電力を削減する必要がある。IoT デバイスは常に継続的に安定した電力を常に供給する必要があるため、コンセントへ接続されて電力供給を行っている。一次電池を用いている場合、再充電することはできず、電池残量がな

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

a) C0118116

b) G2121036

くなった際に交換しなければならない。

2つ目は、IoT デバイスに取り付けているセンサーから取得したデータを送受信するときに消費電力が大きくなる。データ送受信の頻度を減らして消費電力を抑えようとした場合、センサーからデータを取得し、サーバーにデータを送信する頻度が減ってしまい、管理が適切に行えない。IoT デバイスは常にネットワークに接続されているため、消費電力も大きくなる。例として、ESP32 の Wi-Fi を接続されていない時の消費電力は 4.5mW、ESP32 の Wi-Fi 接続時の消費電力は 660mW、ADT7410 から温度データを取得した時の消費電力は 0.693mW、Deep Sleep 時の消費電力は 0.495mW の電力を消費する。

これらの課題を解決するために、デバイスの消費電力を削減する手法が必要になる。

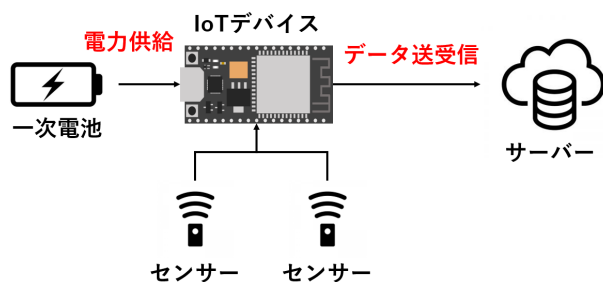


図 1 課題図

各章の概要

第 2 章では本研究の関連研究について説明する。第 3 章では第 1 章で説明した課題を解決をするシステムの提案について説明する。第 4 章では本研究で提案するシステムの実装と実験環境について説明する。第 5 章では本研究で提案するシステムの評価方法と分析方法について説明する。第 6 章では本研究で提案したシステムの議論を行う。第 7 章では本研究でのまとめを行う。

2. 関連研究

この章では、本研究と関連する既存研究について取り上げ、その違いについて述べる。

Mukesh Taneja は、M2M/IoT デバイスとゲートウェイの消費電力を削減するためのフレームワークを提案している [5]。この研究では、電力やエネルギー消費が激しいことを課題とし、M2M/IoT デバイスとゲートウェイノードを長期間スリープ状態に保ち、IoT ゲートウェイでメッセージを集約することで、デバイスとゲートウェイノードの消費電力を削減している。しかし、使用されるワイヤレスアクセステクノロジーに新しい同期要件を導入することができない問題がある。

Meihua Jin らは、マルチメディアビデオトラフィックの特性を考慮して、Wi-Fi Direct 省電力のエネルギー効率

を高めるアルゴリズムを提案している [6]。この研究では、エネルギー節約を目的とし、エネルギー効率を高めるために、ビデオフレームサイズ分布に基づいてビーコン間隔をスケジューリングしている。しかし、ビデオトラフィック以外のトラフィックに対して適切な省電力アルゴリズムを適応できないという問題がある。

Sulochan Naik らは、隠れマルコフモデル (HMM) に基づくチューニングアルゴリズムを使用して Wi-Fi Direct デバイスの効率的な省電力手法を提案している [7]。この研究では、デバイスのバッテリーエネルギーを課題とし、電力を節約してデバイスの寿命を 8 パーセント伸ばすことができている。しかし複数のデバイスを使用した時に対応できないという問題がある。

Keisuke Miyanabe らは、ネットワークの省電力に焦点を当て、ファイバーワイヤレスを使用したクラウド無線アクセスネットワークでデバイスとの間のデータ転送を担当する機器である光回線端末と光ネットワークユニットに基づく省電力方法を提案している [8]。この研究では、消費電力を削減することを目標として、PoE を使用した新しい ONU スリープ方式を提案し、外部電源なしで自律的な操作を可能にした。しかし、タイムスロットの数を注意深く構成しないとエネルギー消費を大幅に削減することができない問題がある。

Wail Mardini らは、新しい読み取り値が古い読み取り値と異なる場合にのみデバイスが読み取り値を送信できるようにし、デバイスがサーバーにデータを送信する回数を減らすことで、IoT デバイスのバッテリー寿命を延ばすアプローチをしている [9]。この研究では、バッテリーが限られていることを課題としていて、サーバーが常に最新の状態に保たれること、異なる読み取り値を送信することで、同じ値を何度も読み取る場合に、デバイスのバッテリーを大幅に節約できる 2 点の利点がある。しかし、デバイスが故障していてデータを送っていないのか判断できない問題がある。

3. 提案方式

基礎実験

提案を決定する際に実際のビニールハウス内外の温度を知る必要があるため基礎実験としてビニールハウス内と外の温度の測定を行った。図 2 に 2021 年 7 月 21 日 (晴れ) のビニールハウス内外の温度グラフ、図 3 に 2021 年 7 月 26 日 (くもりのち晴れ) のビニールハウス内外の温度グラフ、図 4 に 2021 年 7 月 28 日 (晴れ) のビニールハウス内外の温度グラフを示す。縦軸は温度、横軸は時刻である。3 つのグラフの結果からビニールハウス内の温度の方が外の気温より高くなっていることがわかる。また、気温が一番高かったのは 13 時か 14 時の間になっていることがわかる。ビニールハウス内の温度もビニールハウス外の温度も

同じような間隔で温度が上がり下がりしている。

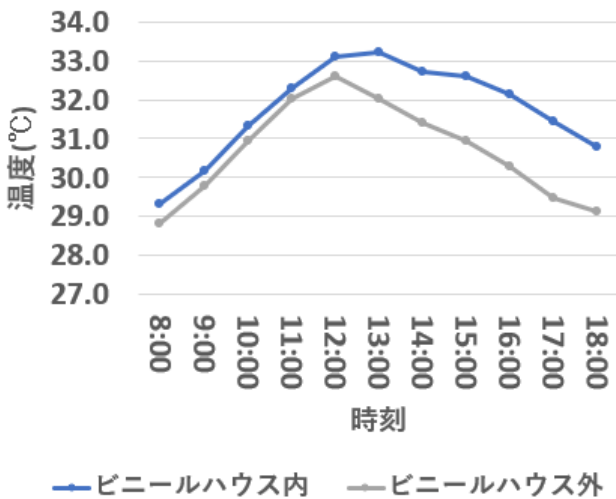


図 2 ビニールハウス内外の温度

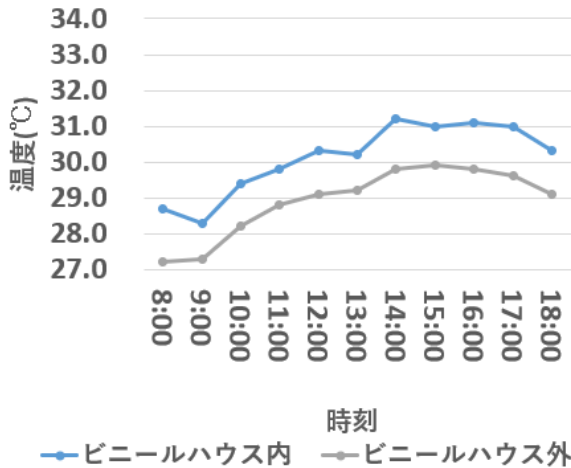


図 3 ビニールハウス内外の温度

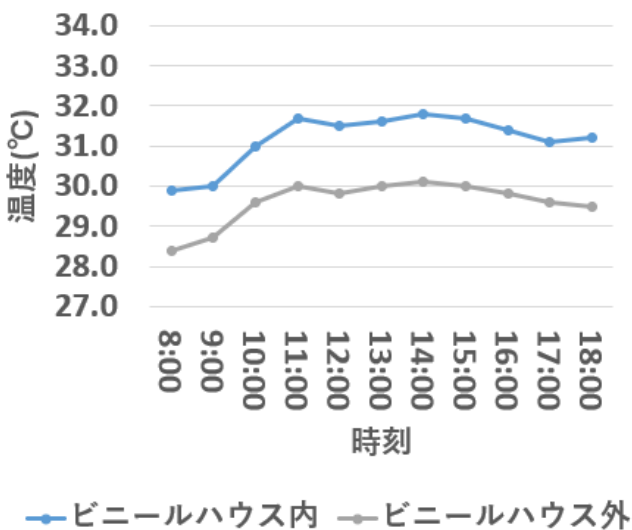


図 4 ビニールハウス内外の温度

2021年7月21日(晴れ)の日には、最高気温に達するまでは下がることなく最高気温に達してから下がっていくことがわかる。2021年7月26日(くもりのち晴れ)の日には、13時まで曇りで温度の上がり下がりが安定しなかった。13時以降は晴れで14時に最高気温になり、その後徐々に温度が下がっていることがわかる。2021年7月28日(晴れ)は、最高気温に達するまで上がり下がりを繰り返しているが、最高気温に達してからは徐々に温度が下がっていることがわかる。

提案方式

本研究は、ビニールハウス内の温度を適温範囲内に保ちつつ、一次電池をから電力供給をしているIoTデバイスの電力消費量を削減することが目的である。

システムの全体構成図を図5に示す。IoTデバイスでは、取り付けているI2Cセンサーから温度データと消費電力を取得する。また、温度データと消費電力を取得するプログラムを実行した日付と時間を保存する。取得した温度データ、消費電力、日付、時間をIoTデバイスからサーバーに送信し、サーバー上に構築してあるデータベースにIoTデバイスから受け取ったデータを登録する。登録したデータを確認して、次の送信時間を決定し、次の送信時間までIoTデバイスをDeep Sleepモードにし、消費電力を抑える。

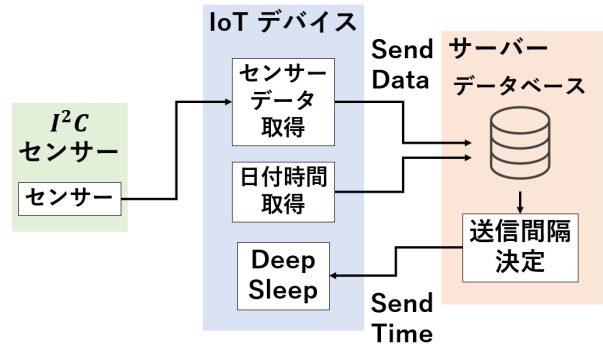


図 5 全体構成図

本提案の流れとして、最初の1時間で1分間隔で温度データを取得し、取得した温度データをサーバーに送信し、温度変化の傾きを求める。傾きと過去の計測したデータを用いて、最高気温と上がり下がりの予測点を変化点検出の尤度比を用いて3~5点に絞る。その後、30分間隔で温度データを取得し、予測点より外れていた場合、サーバーに送信して予測点の修正を行い、予測点より外れていなかった場合、温度データを取得を行うがサーバーには送信せず、テキストファイルに書き込みを行う。データを取得してから次のデータを取得する時まではIoTデバイスをDeep Sleepモードに切り替える。

ユースケース・シナリオ

ユースケースシナリオの図を図6に示す。具体的なユースケースとして、図6のような電力供給のための設備を持ち合わせていないビニールハウスが挙げられる。電力供給が難しい理由として、コストと時間がかかってしまうからである。例として、大葉をビニールハウス内で栽培する場合、温度を20度以上30度以下に保つ必要があり、IoTデバイスに温度センサーを取り付けサーバーに温度データを送信してサーバー側で温度管理をする必要がある。IoTデバイスに電力供給ができない場合、一次電池を使用することになり、電池の交換などユーザの負荷がかかってくる。なので、消費電力を抑えることで、長期間運用できるようになり、一次電池の交換する手間を省くことができる。

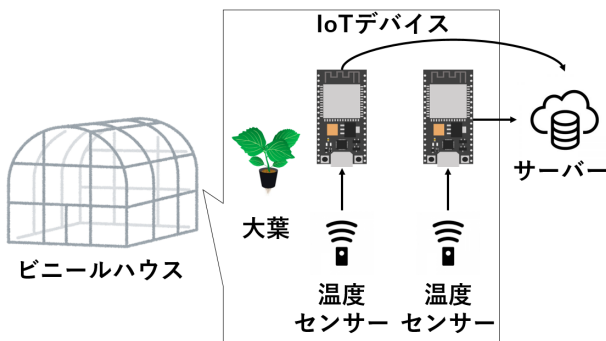


図6 ユースケース

4. 実装と実験方法

実装

図7にソフトウェア構成図を示す。

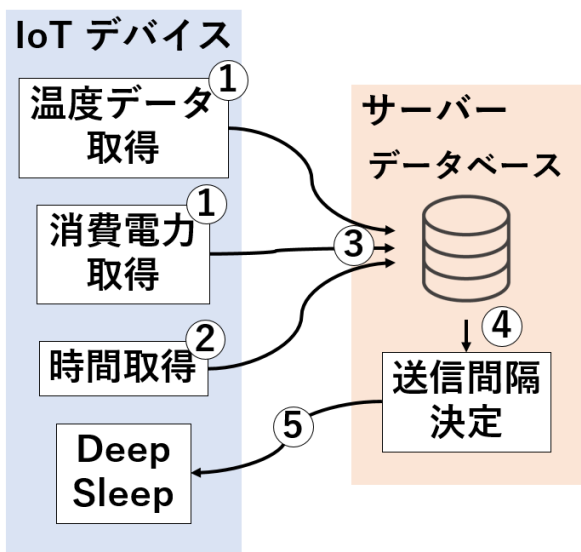


図7 ソフトウェア構成図

図7に示されているソフトウェアの流れの説明は以下に

示す。

1. I2C センサーの ADT7410 から温度データ、INA266 から消費電力を取得する
2. 温度データと消費電力を取得した時間を保存する
3. 1,2で取得した温度データ・消費電力・時間を IoT デバイスからサーバーに送信し、サーバー上のデータベースに保存する
4. データベースに保存された温度データをもとに、温度変化の傾きを求め、最高気温と上がり下がり予測点を3~5点に絞る。また、送信頻度を決定する
5. 4で決定した送信頻度を IoT デバイスに送信し、次に温度データを取得するまで Deep Sleep モードにして、消費電力を抑える

図7に示されているシステムそれぞれの説明を以下に示す。

- 温度データ取得
取り付けしたセンサーから温度データを取得する役割である。本研究では、温度データを取得できる ADT7410 から温度データを取得するものとする。
- 消費電力取得
取り付けしたセンサーから電流・電圧データを取得し消費電力を求める役割である。本研究では、電流・電圧データを取得できる INA226 から電流・電圧を取得するものとする。
- 時間取得
NTP サーバーから現在時間を取得する役割である。
- 送信間隔決定
IoT デバイスから送られてきたデータをデータベースから取得し、ビニールハウス内の温度が適温範囲内か確認し次の温度データを取得し IoT デバイスからサーバーに送信する時間を決める役割である。
- Deep Sleep
次の送信時間をサーバーから取得し、次の送信時間まで IoT デバイスを Deep Sleep モードにし、消費電力を抑える役割である。
- データベース
本研究で使っているデータベースの構成を表2に示す。このデータベースは MySQL で構築している。

表1 Database 構成表

日付	温度 (°C)	消費電力 (mW)
YYYY-MM-DD hh:mm	23.3	0.66
YYYY-MM-DD hh:mm	23	0.63
...

実験環境

本研究のソフトウェアの実験環境を以下に示す。

- IoT Device : ESP-WROOM-32

- Sensor Module : ADT7410/INA226
- Server : Ubuntu 20.04.2 LTS
- Database : MySQL 8.0.25-0ubuntu0.20.04.1

本研究のIoT DeviceとしてESP-WROOM-32を使用した。Sensor Moduleは温度データを取得できるADT7410と電流・電圧・電力データを取得できるINA226を使用した。ServerはLinuxディストリビューションの1つであるUbuntu 20.04.2 LTSにWebサーバーソフトウェアのNginxを使用している。RDBにMySQLを使用している。MySQLは、リレーショナルデータベースで高い柔軟性や高性能や開発の容易さという利点があるため、MySQLを使用して実装を行っている。

実験に使用した構成を図8に示す。実験はビニールハウス内にIoTデバイスとADT7410とINA226を置き、データ送信間隔を決めるアルゴリズムを3パターン使用し、消費電力と温度を比較を行う。

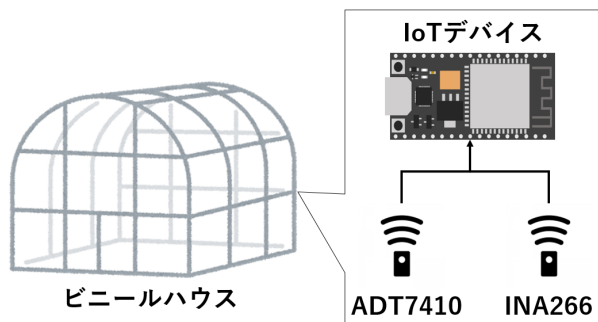


図8 実験環境

5. 評価手法と分析手法

評価手法は以下の2種類を評価手法とする。

- 送信頻度を決定するアルゴリズムを3パターン用意し、3パターンの消費電力と温度を比較し評価する。評価で使用するグラフは横軸を時間、縦軸を消費電力と温度にする
- 最高気温や上がり下がり予測値と実測値との誤差の総和を比較し評価する。評価で使用するグラフは横軸を時間、縦軸を消費電力と温度にする

分析手法は、送信頻度を決定するアルゴリズム3パターンのうち、適温範囲内に温度を保っているかつ、消費電力を抑えられているかどうかを分析する。また、どのくらいの精度で誤差が少なくなったのか分析する。

6. 議論

本研究では、温度差に応じて送信頻度を決め、データを送信しない時にDeep SleepモードにしてIoTデバイスの省電力手法を提案した。しかし、課題もいくつか残っている。

まず、温度データの精度についてである。センサーを用いて温度データを取得するとハードウェアの関係上ばらつきが出てしまう。そのため、今後の実装では、1分間で10回温度データを取得し、温度データの精度向上に見込みがあるか検証する必要がある。

次に、Deep Sleepモードの解除の時間についてである。今後の実装でDeep Sleepを解除してから温度データを取得するまでの時間を検証する必要がある。

さらに、データの送信頻度についてである。消費電力を抑えるために、送信頻度を一定頻度ではなく、温度の傾きから次の送信時間を決めるアルゴリズムを作成するので、どのような間隔でデータを送信するのか検証する必要がある。

7. おわりに

課題として充電不可能な一次電池で動作しているIoTデバイスを長期間運用するには、消費電力を削減する必要がある。また、IoTデバイスの無線通信は消費電力が大きい。この課題を解決するために、温度差に応じて送信頻度を決め、データを送信しない時にDeep SleepモードにしてIoTデバイスの省電力手法を提案した。しかし、送信頻度を決定するアルゴリズムの検証が不十分である。今後の課題として実際にシステムを稼働させ、実験を行い、実験から得られたデータからさらに効率の良い手法を検証できないか検討していく。

参考文献

- [1] Mahmoud, M. S. and Mohamad, A. A.: A study of efficient power consumption wireless communication techniques/modules for internet of things (IoT) applications (2016).
- [2] Zhang, J., Li, G., Marshall, A., Hu, A. and Hanzo, L.: A new frontier for IoT security emerging from three decades of key generation relying on wireless channels, *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 138406–138446 (2020).
- [3] Gray, C., Ayre, R., Hinton, K. and Tucker, R. S.: Power consumption of IoT access network technologies, *2015 IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW)*, IEEE, pp. 2818–2823 (2015).
- [4] Doshi, J., Patel, T. and Kumar Bharti, S.: Smart Farming using IoT, a solution for optimally monitoring farming conditions, *Procedia Computer Science*, Vol. 160, pp. 746–751 (2019).
- [5] Taneja, M.: A framework for power saving in IoT networks, *2014 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, IEEE, pp. 369–375 (2014).
- [6] Jin, M., Jung, J.-Y. and Lee, J.-R.: Dynamic power-saving method for wi-fi direct based iot networks considering variable-bit-rate video traffic, *Sensors*, Vol. 16, No. 10, p. 1680 (2016).
- [7] Naik, S., MeenakshiD' Souza : Efficient power saving method for WiFi direct devices in IoT based on hidden Markov model, *2019 11th International Conference on Communication Systems & Networks (COMSNETS)*,

IEEE, pp. 565–567 (2019).

- [8] Miyanabe, K., Rodrigues, T. G., Lee, Y., Nishiyama, H. and Kato, N.: An Internet of Things traffic-based power saving scheme in cloud-radio access network, *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 6, No. 2, pp. 3087–3096 (2018).
- [9] Mardini, W., Yassein, M. B., AlRashdan, M., Alsmadi, A. and Amer, A. B.: Application-based power saving approach for IoT CoAP protocol, *Proceedings of the First International Conference on Data Science, E-learning and Information Systems*, pp. 1–5 (2018).