

送信データ量の大きさに基づく IoT デバイスの BLE と Wi-Fi の切り替えによる省電力化

筒井 優貴¹ 大沢 恭平¹ 串田 高幸¹

概要：農場で農作物の生育状況を取得するために IoT デバイスが稼働している。IoT デバイスには電源に接続されているものとバッテリーで稼働しているものが存在する。バッテリーで稼働しているデバイスは、バッテリーが枯渇するとセンシングデータが取得できない。本稿では、IoT デバイスを省電力化するために送信するデータ量を基準値に基づいて BLE と Wi-Fi を切り替える手法を提案する。基準値は、基礎実験より約 232[kB] とした。基礎実験では、処理を行っていない場合の消費電力及び BLE と Wi-Fi の消費電力と通信速度を測定した。その結果、BLE でデータを送信する方が Wi-Fi でデータを送信するよりも消費電力が少なくなることが分かった。評価実験では、提案手法を用いる場合と、Wi-Fi のみで通信する場合と、BLE のみで通信する場合の 3 つの方法でデータの送信を行った。その結果、消費電力は Wi-Fi のみで通信する場合 1 秒当たり約 381[mW]、BLE のみで通信する場合は 1 秒当たり約 320[mW]、提案手法を用いる場合は 1 秒当たり約 324[mW] であった。よって、提案手法の 1 秒当たりの平均消費電力は、Wi-Fi と比べて約 57[mW] 少なく、BLE より約 4[mW] 多かった。

1. はじめに

背景

IoT デバイスは製造業や家庭の分野で急速に普及している [1]。また、農業の分野では、気温や湿度、農作物の生育状況や病害虫の感染の調査のために IoT デバイスが利用されている [2]。農場で取得したセンシングデータを送信する際に Wireless Sensor Network(WSN) が利用されている。WSN はセンサーとバッテリーを搭載した自律的な小型デバイスで構成されるネットワークであり、センシング、センシングデータの保存、センシングデータの処理、他のデバイスとの相互通信を行うことができる [3]。WSN は通信、農業、産業、スマートヘルスの分野で研究・開発が行われている [4]。WSN には、センサーノードの電力、CPU、メモリ、ストレージが制限されている [5]。

WSN ではセンサーノードの小型化に伴い、バッテリーの容量も制限される。また、センシングを行う全ての環境においてバッテリーの充電や交換が容易に行えるとは限らない。したがって、バッテリーの充電、交換の頻度を削減するために長時間の駆動が求められる [6, 7]。

WSN には Wi-Fi を利用するものと BLE を利用するものがある [8, 9]。Wi-Fi と BLE を比較すると、BLE は Wi-Fi

よりも消費電力が少ないという利点がある。

無線通信規格の一つに Bluetooth Low Energy(BLE) がある。現在、BLE はほとんどのモバイルスマートフォンに組み込まれている。非常に少ない消費電力で動作し、リチウムコイン電池で最長 1 年間動作する [10]。

[11]。BLE を用いた通信は Wi-Fi を用いた通信と比較してエネルギー効率は 30% 高い [12]。一方、Wi-Fi の利点は、高度な暗号化方式により安全性が高いこと、BLE よりも通信可能範囲が広いこと、ビットレートが高いことである [13, 14]。したがって、データサイズの小さなセンシングデータを送信する場合は BLE を用いた通信がエネルギー効率が良いが、データサイズの大きなセンシングデータを送信する場合は、ビットレートの面で優れている Wi-Fi を用いる必要がある。

課題

IoT デバイスはバッテリーで駆動している。課題は、IoT デバイスのバッテリーが枯渇してしまうとデータを取得し、送信することができなくなってしまうことである。図 1 は課題の概要図である。

図 1 では、1 台のセンサーノードのバッテリーが枯渇している。したがって、センシングデータを送信できていない。

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

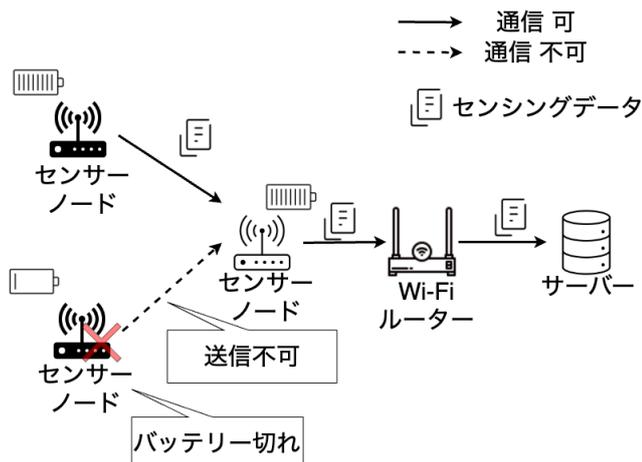


図 1 課題概要図

各章の概要

第 2 章では関連研究について述べる。第 3 章では基礎実験と提案方式，ユースケースシナリオについて述べる。第 4 章では実装について述べる。第 5 章では実験環境と実験結果，及び実験結果の分析について記述する。第 6 章では本提案の議論について記述する。第 7 章では本稿のまとめを記述する。

2. 関連研究

Wi-Fi と Bluetooth を自動的に切り替えてバッテリー寿命を延ばす研究が存在する [15]。この研究では，帯域幅，電力，距離を考慮して最適な無線構成を決定し，使用している。その結果，ワイヤレスサブシステムのエネルギー消費量を 50%以上削減することができ，それに伴いバッテリー寿命も延びている。しかし，この研究では，使用している通信方法が Wi-Fi と Bluetooth である。BLE と Bluetooth では帯域幅が異なる [16]。この研究は，前述のように帯域幅を通信方式を使い分ける基準のひとつとしているため，BLE を使用する本研究にそのまま使用することができない。

3. 提案

本提案ではファイルサイズに基づき，Wi-Fi と BLE を切り替える。通信方法を切り替えるファイルサイズの基準値は，基礎実験により決定した。

基礎実験

基礎実験では，何も処理を行っていない状態の消費電力と Wi-Fi と BLE の通信速度及び消費電力を測定する。まず，何も処理を行っていない状態の消費電力，BLE でデータを送信している状態の消費電力，Wi-Fi でデータを送信している状態の消費電力をそれぞれ 5 分間測定した。結果は図 2，図 3，図 3 のようになった。

図 2 は何も処理を行っていない状態の消費電力を 5 分間

測ったものである。何も処理を行っていない場合の 1 秒当たりの平均消費電力は約 296[mW] であった。

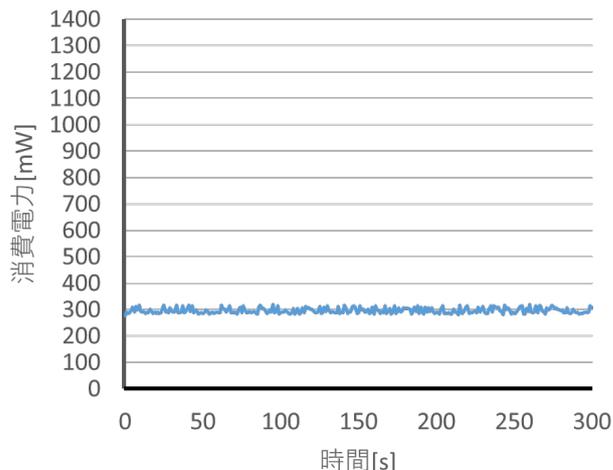


図 2 何も処理を行っていない際の消費電力

図 3 は BLE で 5 分間データを送信した際の消費電力である。BLE で 5 分間データを送信した際の平均消費電力は約 340[mW] であった。

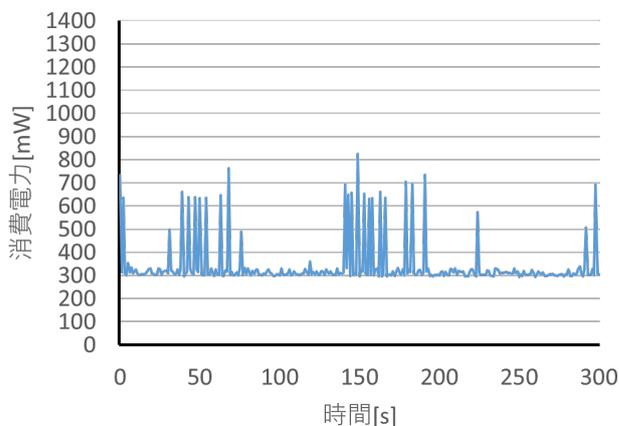


図 3 BLE の消費電力

図 4 は Wi-Fi で 5 分間データを送信した際の消費電力である。Wi-Fi で 5 分間データを送信した際の平均消費電力は約 447[mW] であった。

次に Wi-Fi と BLE の通信速度を測定した。実験には 100[KB] と 200[KB] のファイルを使用し，ファイルサイズの差によって通信速度が変化するかどうかを測定した。その結果，Wi-Fi の通信速度はファイルサイズに関わらず約 95[Kbps]，BLE の通信速度はファイルサイズに関わらず約 31[Kbps] であった。

さらに，100[KB] や 200[KB] のファイルを送信しながら消費電力を測定し，ファイルサイズが平均消費電力に影響を与えるかを調べた。その結果，ファイルサイズによる平

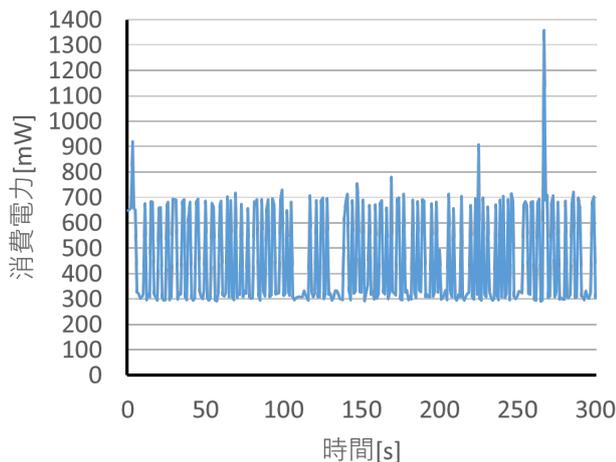


図 4 Wi-Fi の消費電力

均消費電力の違いは見られなかった。この結果から、ファイルサイズは消費電力や通信速度に影響を及ぼさないことが分かった。このことから、どのファイルサイズであっても Wi-Fi を使用するより BLE を使用する方が平均消費電力が少ないことが分かった。しかし、本提案では、1分毎にデータを送信する。そのため、1分毎にデータを送信する必要がある [17]。従って、基礎実験で得られたデータより、BLE で 1 分間に送信できるデータ量を基準値とする。1分間に送信できるデータ量は $[bps] \times 60 / 8$ で求められるので、 $31 \times 60 / 8 = 232.5$ となる。よって、通信方法を切り替えるファイルサイズの基準値は、BLE で 1 分以内に送信できる約 232[KB] を基準値とする。

提案方式

本提案手法では、ファイルサイズの大きさに基づいて Wi-Fi と BLE を切り替えて通信を行う。具体的には、約 232[KB] 以上のデータ量を送信する際は Wi-Fi で通信を行う。逆に、約 232[KB] 未満のデータ量を送信する際は BLE で通信を行う。このデータ量は、後述する基礎実験により決定した。データ量が約 232[KB] 以上であるか否かは、データを送信するノードでファイルを読み込むことでファイルサイズを取得し、判定を行う。基礎実験の結果、送信するデータ量に関わらず BLE を使用する方が消費電力が少なく済むことが分かった。本提案では、参考文献をもとに 1 分毎にデータ送信を行うこととした [17]。そのため、データ送信が 1 分以内に完了するように約 232[KB] を Wi-Fi と BLE を切り替える基準値として設定した。データ受信側では、BLE で 10.24[s] 間スキャンを行い、データが取得できなかった場合に Wi-Fi に切り替えて通信を行う。BLE のスキャン時間を 10.24[s] に設定した理由は、BLE のスキャン持続時間の最大値だからである [18]。

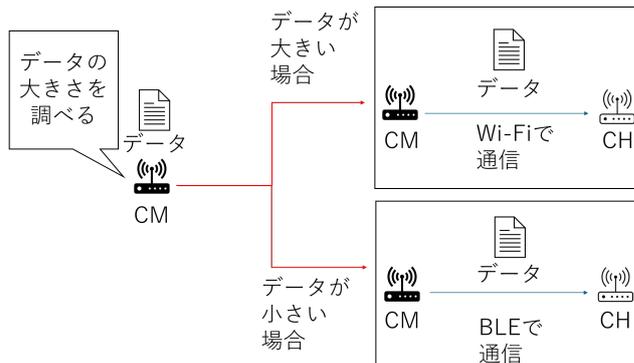


図 5 提案

ユースケース・シナリオ

図 6 はユースケース・シナリオの概要を示している。提案手法は畑での農作物の生育状況のセンシングデータを取得する際に使用することを想定する。センシングデータの取得は 1 分毎とする [17]。

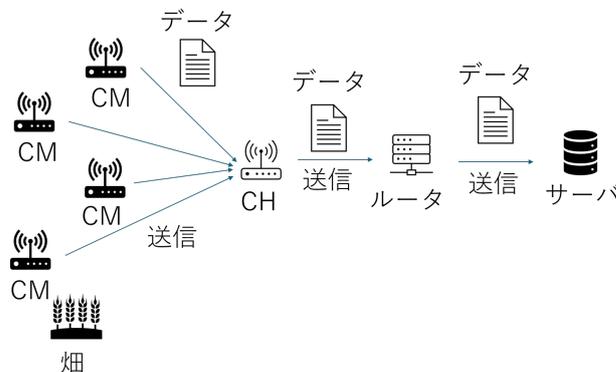


図 6 ユースケース図

IoT デバイスを用いたセンシングの一例として農地での環境監視がある [6, 7]。農地での環境監視では、主に温度データ、水温データ、監視画像を収集する。温度データや水温データは数 [byte]~数十 [byte] のテキストデータである。そのため、BLE での通信によって消費電力を削減できる。しかし、画像のデータはサイズが 100[KB]~数 [MB] になる [19]。そのため、BLE の通信では送信に時間がかかるため、Wi-Fi によって通信を行う。

BLE を用いた通信の最大データレートは 1[Mbps] である [20]。一方、Wi-Fi の最大データレートは 802.11n 規格で 600[Mbps] である。したがって、センシングデータのサイズによって通信方法を変更することで通信にかかる消費電力量を削減することができる。

4. 実装

IoT デバイスとして 2 台の ESP32 を利用し MicroPython1.21.0 で実装する。まず、センシングデータを取得したノードがセンシングデータの大きさを調べる。センシ

データの大きさが基礎実験で決めた基準値未満の場合は BLE でセンシングデータを送信し、基準値以上の場合は Wi-Fi でセンシングデータを送信する。BLE は GATT で通信を行い、Wi-Fi はソケットで通信を行った。センシングデータを送信するノードのフローチャートを図 7 に示す。データを受信するノードはまず BLE でセンシングデータ

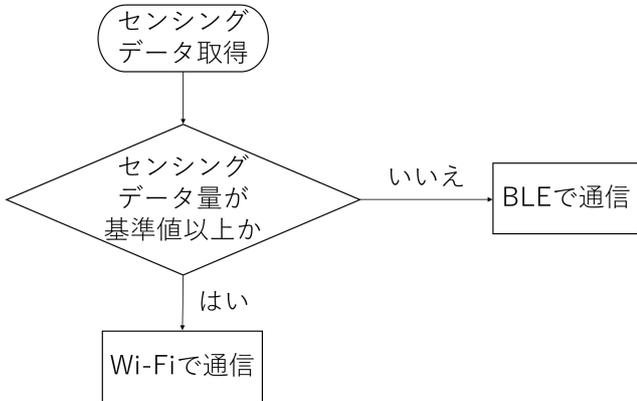


図 7 センシングデータ送信側の実装

の受信を試みる。BLE でセンシングデータの受信を試みる時間は 10.24[s] とする。これは、BLE のスキャン持続時間の最大値である [18]。センシングデータを受信できた場合はそこで通信を終了する。センシングデータを受信できなかった場合は Wi-Fi で通信を行う。センシングデータを受信する側のフローチャートを図 8 に示す。

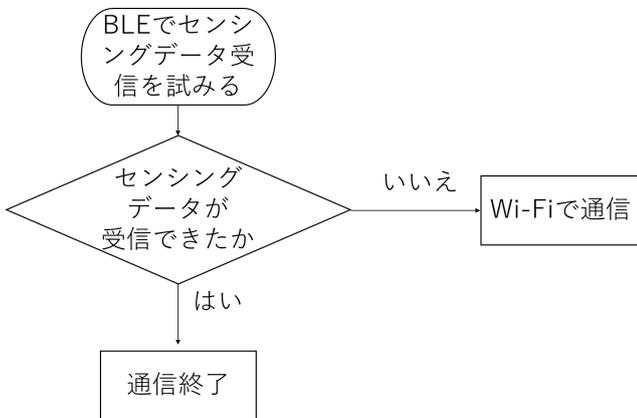


図 8 センシングデータ受信側の実装

5. 評価実験

実験環境

図 9 のように ESP32 から提案手法を用いて通信方法を使い分けて通信した際と Wi-Fi のみで通信した際と BLE のみで通信した際の消費電力を比較する。通信内容は、最初に画像データ及び温度や湿度のデータを送信し、その後は 1 分に 1 回温度や湿度のデータを送信した。この方法で 10 分間通信を行った際の消費電力を比較する。画像データは 500[KB] のファイルを使用した。



図 9 評価実験

実験結果と分析

図 10 は Wi-Fi のみで通信を行った場合の消費電力である。Wi-Fi のみで通信を行った場合の 1 秒当たりの平均消費電力は約 381[mW] となった。

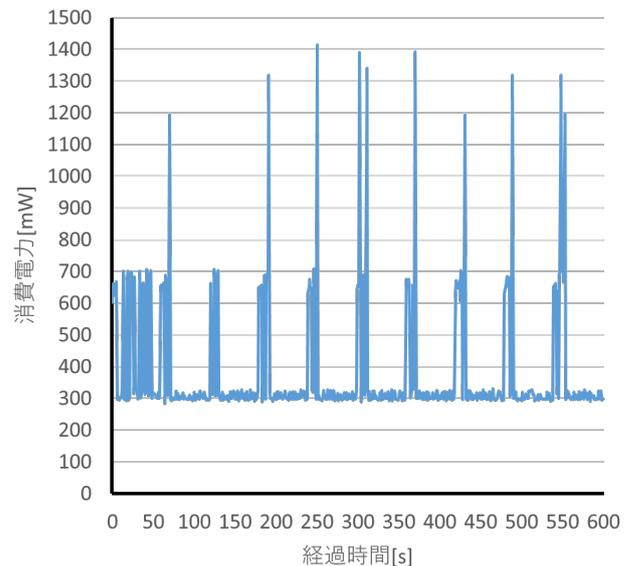


図 10 Wi-Fi のみで通信した際の消費電力

図 11 は BLE のみで通信を行った際の消費電力である。BLE のみで通信を行った場合の 1 秒当たりの平均消費電力は約 320[mW] となった。

図 12 は提案手法を用いて通信した際の消費電力である。提案手法を用いて通信した場合の 1 秒当たりの平均消費電力は約 324[mW] になった。

この結果より、Wi-Fi のみで通信を行った場合と比べて、

1秒当たり約57[mW]消費電力を削減できることが分かった。また、BLEのみで通信した場合と比較すると消費電力は1秒当たり約4[mW]高かった。よって、消費電力が最も低いのはBLEのみで通信する方法である。また、BLEのみで通信を行った場合は、画像の送信に130秒かかったため、気温や湿度のデータが送信できない時間があった。そのため、BLEのみでのデータの送信は不適切であると言える。その一方で、提案手法を用いて通信した場合は、1分以内に画像データを送信することができた。そのため、気温や湿度のデータを問題なく送信することができた。このことから、本提案によって、省電力化をすることができた。

また、全ての通信方法において1分毎に消費電力が高くなった。これは、Wi-FiやBLEを起動する際に電力を多く消費するためであると考えられる。

6. 議論

本提案では、基礎実験によってWi-FiとBLEを使い分けるファイルサイズの基準値を決定し、その基準値に基づいてWi-FiとBLEの切り替えを行った。しかし、実際には、通信する環境によって通信速度は変動する。そのため、通信環境が異なる場合、本稿の基礎実験によって決めた基準値が適さない。また、本稿で設定した基準値が適切な環境であっても、電波干渉や天候の変動により、基準値が適さなくなる。これらのいずれかの状況が発生すると、本提案での省電力化の効果が弱まるという問題がある。この問題を解決するには、セットアップフェーズを設け、通信速度を測って基準値を決定すればよい。1日に1回セットアップフェーズを実行し、通信速度を測ることによって基礎実験と異なる環境や天候の変動に対応できる。

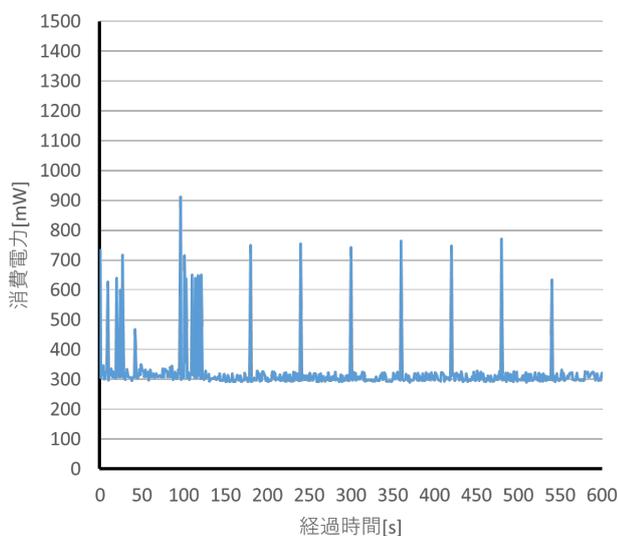


図 11 BLEのみで通信した際の消費電力

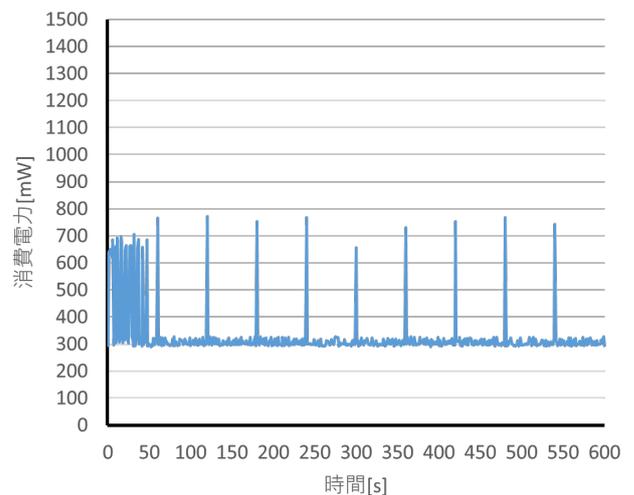


図 12 提案手法で通信した際の消費電力

7. おわりに

本稿では、IoTデバイスのバッテリーが枯渇してしまうとデータを取得し、送信することができない点を課題点として挙げた。この課題に対して、Wi-FiとBLEを使い分けて通信することで省電力化する手法を提案した。基礎実験では何も処理を行っていない消費電力、Wi-FiとBLEの消費電力及び通信速度を測定した。その結果、送信するデータ量に関わらず、BLEを使った方が消費電力が少なくなることが分かった。評価実験では、Wi-Fiのみで10分間通信を行った場合とBLEのみで10分間通信を行った場合と本提案で10分間通信を行った場合を比較した。その結果、Wi-Fiのみで通信する場合の消費電力は1秒当たり約381[mW]、BLEのみで通信する場合は1秒当たり約320[mW]、提案手法を用いて通信する場合は1秒当たり約324[mW]であった。よって、本提案手法の1秒当たりの平均消費電力はWi-Fiのみで通信する場合と比較して約57[mW]少なく、BLEのみで通信する場合と比較して約4[mW]多いことが分かった。

参考文献

- [1] Mazhar, N., Salleh, R., Zeeshan, M. and Hameed, M. M.: Role of Device Identification and Manufacturer Usage Description in IoT Security: A Survey, *IEEE Access*, Vol. 9, pp. 41757–41786 (online), DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3065123 (2021).
- [2] Farooq, M. S., Riaz, S., Abid, A., Umer, T. and Zikria, Y. B.: Role of IoT technology in agriculture: A systematic literature review, *Electronics*, Vol. 9, No. 2, p. 319 (2020).
- [3] Bellavista, P., Cardone, G., Corradi, A. and Foschini, L.: Convergence of MANET and WSN in IoT urban scenarios, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 13, No. 10, pp. 3558–3567 (2013).
- [4] Haseeb, K., Ud Din, I., Almogren, A. and Islam, N.: An energy efficient and secure IoT-based WSN framework:

- An application to smart agriculture, *Sensors*, Vol. 20, No. 7, p. 2081 (2020).
- [5] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. and Cayirci, E.: A survey on sensor networks, *IEEE Communications magazine*, Vol. 40, No. 8, pp. 102–114 (2002).
- [6] 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).
- [7] 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).
- [8] Mendez, G. R., Yunus, M. A. M. and Mukhopadhyay, S. C.: A WiFi based smart wireless sensor network for an agricultural environment, *2011 Fifth international conference on sensing technology*, IEEE, pp. 405–410 (2011).
- [9] Hughes, J., Yan, J. and Soga, K.: Development of wireless sensor network using bluetooth low energy (BLE) for construction noise monitoring, *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, Vol. 8, No. 2, pp. 1379–1405 (2015).
- [10] Gupta, R. and Gupta, R.: ABC of Internet of Things: Advancements, benefits, challenges, enablers and facilities of IoT, *2016 Symposium on Colossal Data Analysis and Networking (CDAN)*, pp. 1–5 (online), DOI: 10.1109/CDAN.2016.7570875 (2016).
- [11] Thomas, D., Wilkie, E. and Irvine, J.: Comparison of power consumption of WiFi inbuilt internet of things device with Bluetooth low energy, *International Journal of Computer and Information Engineering*, Vol. 10, No. 10, pp. 1856–1859 (2016).
- [12] Putra, G. D., Pratama, A. R., Lazovik, A. and Aiello, M.: Comparison of energy consumption in Wi-Fi and bluetooth communication in a Smart Building, *2017 IEEE 7th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*, pp. 1–6 (online), DOI: 10.1109/CCWC.2017.7868425 (2017).
- [13] Khan, F. U., Awais, M., Rasheed, M. B., Masood, B. and Ghadi, Y.: A comparison of wireless standards in IoT for indoor localization using LoPy, *IEEE Access*, Vol. 9, pp. 65925–65933 (2021).
- [14] Sadowski, S. and Spachos, P.: Rssi-based indoor localization with the internet of things, *IEEE access*, Vol. 6, pp. 30149–30161 (2018).
- [15] Pering, T., Agarwal, Y., Gupta, R. and Want, R.: Coolsots: reducing the power consumption of wireless mobile devices with multiple radio interfaces, *Proceedings of the 4th international conference on Mobile systems, applications and services*, pp. 220–232 (2006).
- [16] Kajikawa, N., Minami, Y., Kohno, E. and Kakuda, Y.: On availability and energy consumption of the fast connection establishment method by using Bluetooth Classic and Bluetooth Low Energy, *2016 Fourth International Symposium on Computing and Networking (CANDAR)*, IEEE, pp. 286–290 (2016).
- [17] Mois, G., Folea, S. and Sanislav, T.: Analysis of three IoT-based wireless sensors for environmental monitoring, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 66, No. 8, pp. 2056–2064 (2017).
- [18] Liu, J., Chen, C., Ma, Y. and Xu, Y.: Energy analysis of device discovery for bluetooth low energy, *2013 IEEE 78th Vehicular Technology Conference (VTC Fall)*, IEEE, pp. 1–5 (2013).
- [19] Gürdal, P., Hildebolt, C. and Akdeniz, B.: The effects of different image file formats and image-analysis software programs on dental radiometric digital evaluations., *Dentomaxillofacial Radiology*, Vol. 30, No. 1, pp. 50–55 (2001).
- [20] Shahzad, K. and Oelmann, B.: A comparative study of in-sensor processing vs. raw data transmission using Zig-Bee, BLE and Wi-Fi for data intensive monitoring applications, *2014 11th International Symposium on Wireless Communications Systems (ISWCS)*, pp. 519–524 (online), DOI: 10.1109/ISWCS.2014.6933409 (2014).