

神奈川工科大学

次世代センシングシステム研究所

研究報告

第 16 卷

2022 年度

研究推進機構

目次

- ・ 太陽光電池駆動型省電力無線センサネットワークを用いた土砂災害監視システムの研究

ホームエレクトロニクス開発学科 安部 恵一

- ・ IoT によるセンシングデータ利活用に関する調査とシステム試作研究

ホームエレクトロニクス開発学科 杉村 博

太陽光電池駆動型省電力無線センサネットワークを用いた 土砂災害監視システムの研究

研究者名：創造工学部 安部恵一

1. 研究の目的

本研究は無線センサネットワークを用いた土砂災害監視システムに着目し、3軸加速度センサなどによる傾斜センサを搭載した無線センサノードのバッテリーレス化を実現することを目的とする。現在、無線センサノードのバッテリーレス化を実現する技術として、身の周りのエネルギーを回収して発電するエナジーハーベスト(Energy Harvesting; 以下 EH と呼ぶ)技術[1]がある。この EH は安全かつクリーンなエネルギー発電として高い注目を浴びている。今回想定するアプリケーションは土砂災害監視システムであるため、屋外で使用することから EH のなかでも発電効率の高い太陽光電池による発電と、発電した電気を貯蔵する上で高速充電が可能であり、かつ充放電サイクルによる長寿命性の高い特性をもつ電気二重層コンデンサを組み合わせた太陽光発電回路を考案し実装することで、無線センサノードのバッテリーレス化及び電池交換作業などのメンテナンスフリーの実現を目指す。

2. 研究の必要性及び従来の研究

日本の令和 3 年における 1 年間の土砂災害発生件数は 972 件で、土砂災害での死亡者は 33 名であった。令和 3 年における平均土砂災害発生件数が 1450 件と、平成 14 年から平成 23 年の 10 年間平均値と比べて 1.3 倍と増加傾向になった[2]。これは近年続く不安定な気候と前線の活発化や台風による大雨が原因となり、逃げ遅れ被災しているのが原因と考えられる。また他に地震や、雪の積雪・融雪による土砂災害も原因の一つと考えられる。これらの土砂災害の解決方法として、先行研究に無線センサネットワークを用いた土砂災害監視システムがある。小泉氏らの土砂災害監視システムの研究[3]では斜面に無線センサノードを面的に設置することで、一点集中型監視方法と比べて監視精度の向上並びに誤報削減を可能としている。また、メッシュネットワークを導入したことにより無線センサノードの電源を入れると無線センサノード間で自律的にネットワークを構築するため、無線センサノードの設置にかかる時間を削減できる。さらに無線センサノードが故障したとしても新しい無線センサノードを追加することで新たにネットワークを自律的に構築するため、無線センサノードの設置が容易な技術を提案している。しかし、この提案システムで使用する無線センサノードは電池式駆動のため、10 分以上の周期間隔で計測し、かつ大容量の電池を使用したとしても約 3 年間以上稼働させるのは困難な課題がある。一方、岩井氏らの研究[4]では地震や台風などで被災に遭い、大規模な通信インフラ崩壊時にも災害情報を検知・把握するため、道路や山間部の地盤状況の変化を検知し、データ転送する機能を有した低コ

スト型の杭タイプの無線センサノード iPicket を提案している。この iPicket は 3 軸加速度センサと 3 軸回転加速度センサに加え、温度センサ及び照度センサなどの情報を組み合わせ、かつ計測間隔や送信間隔を変化させることで省電力化を図り、かつ太陽光蓄電センシングを兼ね備えることで長期的な稼働を行う技術を提案している。しかし、実際の運用ではセンサノード自体の消費電力が高いため、10 秒周期のデータ送信で約 1 週間程度の運用が限界である。次に柿内氏らの土砂災害監視システム[5]では 3 軸の加速度センサを傾斜センサとし、低消費電力に特化した通信プロトコル及びファームウェアを独自に実装している。また 3VDC/9600mAh の容量の電池を使用し実証評価したところ、1 日数回の計測で 3 年前後の稼働が限界であり、長期的な稼働が難しいとしている。

以上のことから、先行研究の無線センサネットワークを用いた土砂災害監視システムの課題をまとめると、土砂災害監視システムには省電力型の 3 軸加速度センサを傾斜センサとして使用しているが、課題は無線センサノード自体の消費電力が大きいため、3 年以上の長期的な稼働が困難であるという課題が存在する。また過去の研究では電池交換作業が必要となる。このため険しい斜面に無線センサノードを設置した場合は、人手による電池交換作業が困難である。

そこで本研究では無線センサネットワークを用いた土砂災害監視システムで使用する無線センサノードの電池寿命の課題解決及びバッテリーレス化について検討した。

3. 期待される効果

本提案技術の利用によって、無線センサネットワークを用いた土砂災害監視システムで使用する無線センサノードのバッテリーレス化及び長期稼働を実現できる。これにより、険しい斜面に設置した無線センサノードの電池交換が不要になり、メンテナンスフリーで土砂災害監視システムを運用できる。

4. 研究の経過及び結果・評価

2022 年度では研究体制及び研究方針を決めた。今回の研究では Fig.1 に示す開発フェーズで本提案の無線センサノードのプロトタイプ開発を進めた[6]。フェーズ 1 の開発では太陽電池による発電で稼働と考えられる電源電圧 DC 3V で消費電流 $50\mu\text{A}$ (消費電力約 $150\mu\text{W}$ 以下)を目標に無線センサノードの消費電力化を行った[7]。Fig.2 に本研究で使用した無線センサノードの概要図を示す。またフェーズ 2 の開発では太陽光電池と電気二重層コンデンサ、環境発電用 DC/DC コンバータなどで構成した電源回路を考案した(Fig.3) [8]。次にフェーズ 3 ではフェーズ 1 とフェーズ 2 の回路を組み合わせることで、太陽光発充電により稼働するバッテリーレス型無線センサノードの完成を目指した。今回プロトタイプの評価として、Fig.4 に示すようにプロトタイプ無線センサノードと親ノードである PAN(Personal Area Network)コーディネーターと 1:1 で通信する構成とした。このとき無線ノードは間欠制御で 2 分周期でコーディネーターへデータ送信を繰り返す動作とし、太

陽光の発充電エネルギーだけで稼働できるか検証した.今回実験条件として予め 15 分程, 無線センサノードの回路を直流安定化電源などで充電してから屋外で検証を行った.その結果, 日中及び日没後でもプロトタイプ開発した無線センサノードを稼働できた. 今後は長期的な稼働実験などを行っていく予定である.

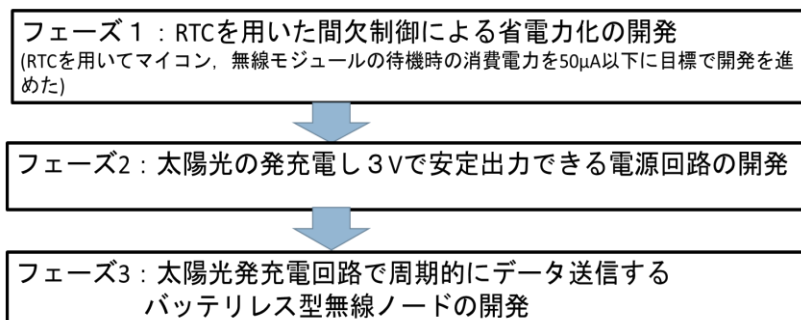


Fig.1 プロトタイプの開発フェーズ[7]

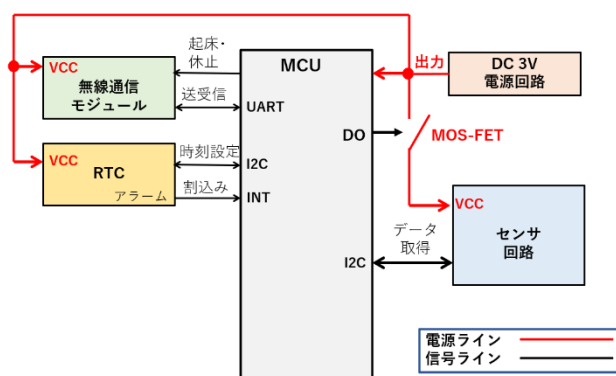


Fig. 2 省電力型無線センサノード回路の概要[6]

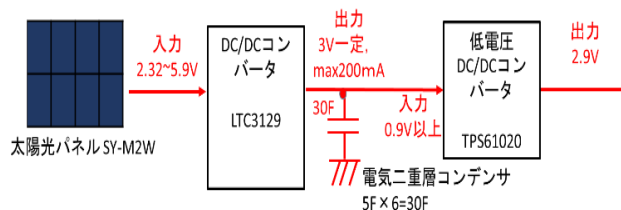


Fig. 3 二段式 DC-DC コンバータの太陽光発充電回路[8]



Fig. 4 プロトタイプの評価実験

5. 今後の計画

今回開発した無線センサノードが屋外で長期的に稼働できるか実証評価していく予定である。最終的には実際の土砂災害監視システムに実装して、システム全体として使用可能かどうか検証を行っていく予定である。

6. 研究成果の発表

- [1] 山本成世, 安部恵一, “土砂災害推定システムに対応した太陽光発電回路を搭載したメンテナンスフリー型無線センサノードの検討”, 第 85 回情報処理学会全国大会論文集, 4Y-02, No. 3, pp.107-108, Mar. (2023). (第 85 回情報処理学会全国大会学生奨励賞受賞)
- [2] 山本成世, 安部恵一, “土砂災害推定システムに対応した太陽光発電回路を搭載したメンテナンスフリー型の無線センサノードのプロトタイプ開発”, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO 2023)シンポジウム論文集, 6E-2, pp.1009-1014, Jul. (2023).

<参考文献>

- [1] 鈴木雄二, “環境発電技術の展望”, 日本 AEM 学会誌, Vol. 22, No. 3, pp. 339-342, (2014).
- [2] “水管理・国土保全局砂防部「令和3年の土砂災害発生件数は972件」”, 2022年, <<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001470608.pdf>>, (参照: 2022-12-20).
- [3] 小泉圭吾, 平田研二, 藤田行茂, 小田和広, 上出定幸, “土砂災害監視のための無線センサネットワークの実用化に向けた実験的研究”, 土木学会報告(地圏工学)2013 (1), pp.46-57, 2013.
- [4] 岩井将行, 今井大樹, 西谷哲, 小林正典, 戸辺義人, 瀬崎薫, “iPicket:無線センサ杭を用いた地滑り計測”, 情報処理学会研究報告, vol.2010-MBL-52, No.1, (2010).
- [5] 柿内徳人, 岩渕透, 池田雄貴, 渡邊雄彦, “無線センサネットワークによる土砂災害監視システムの開発”, 日本無線技法, No. 66, pp1-4, Nov. (2014).
- [6] 山本成世, 安部恵一, “土砂災害推定システムに対応した太陽光発電回路を搭載したメンテナンスフリー型無線センサノードの検討”, 第 85 回情報処理学会全国大会論文集, 4Y-02, No. 3, pp.107-108, Mar. (2023).
- [7] 安部恵一, 峰野博史, 水野忠則, “無線センサネットワーク向けの省電力型無線ノードの開発”, 情報処理学会研究報告(MBL) 2011 (5), pp.1-8, (2011).
- [8] 山本成世, 安部恵一, “土砂災害推定システムに対応した太陽光発電回路を搭載したメンテナンスフリー型の無線センサノードのプロトタイプ開発”, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO 2023)シンポジウム論文集, 6E-2, pp.1009-1014, Jul. (2023).

IoTによるセンシングデータ利活用に関する調査とシステム試作研究

研究者名：杉村 博

1. 研究の目的

本研究はウェアラブル端末、スマートフォン、スマートホーム、又はそれらに設置するWiFi/Bluetoothでつながるセンサ端末といったIoTを利用したデータ集約及びそのデータ活用方法について、調査・試作を実施する。集約されるデータの分析は利用者や住人の生活を改善する利活用方法を念頭に、現在の応用システムを幅広く調査し、この調査からの知見を得ていくつかのシステムを試作することで次世代のセンシング技術としてのIoTセンサについて研究調査を実施する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

次世代のセンシング技術として、IoTセンサが話題となっている。IoTセンサとはデバイスにWiFi通信やBluetooth通信機能が内包されてOneChip/OneDeviceまたはそれに準じる価格で製品化したものであり、従来と比較して一般消費者による購入が簡便、単体で動作する、動作させるソフトウェアがセットになっている、汎用ソフトウェアでセンシング可能、シンプルな設定でインターネット接続からデータ蓄積が可能、複数センサのデータ集約が簡便、といった利点がある。今後はこのようなIoTセンサを利活用し、データ分析することによって高い利便性の情報センシングネットワークが構築されていくと予想でき、本学でも遅れることなく研究してゆく必要がある。

IoTセンサに関するテーマは継続的に広く深く研究を進めてゆく予定であるが、その中でも今年度の研究としては広くサーベイ的に実施した。そこで、様々な場面やシステムを検討し、それぞれから知見を得ることとする。具体的には、下記3点についてシステムを開発して仕組みを提案する。

1. ウェアラブルデバイスを利用した生活習慣病の予防システムの提案
2. 幼児の手の動作取得グローブの提案
3. センシングやデータ分析結果の複数人への優先度を含めた通知方式の提案

本報告においては、これら3点についてそれぞれ効果や研究の経過について述べ、全体としてまとめる。

3. 期待される効果

3. 1 ウェアラブルデバイスを利用した生活習慣病の予防システムの提案

近年のインターネットWebサービスや宅配サービスなどの充実により、インターネットショッピングで全ての買い物を済ませている人が増加して来ている。例えば総務省「社会課題解決のための新たなICTサービス・技術への人々の意識に関する調査研究」ではインターネットショッピングの利用状況が各世代全体の平均72.2%と全年代の

7割以上いることが分かる。インターネットショッピングの利用状況を Fig. 1 に示す。また新型コロナウイルスによる外出自粛により、屋外の移動頻度の減少や家に巣籠もり状態の増加、さらに屋内でも運動しないことや、EC サイトや宅配サービスなど外出せずに食事や買い物が出来る事によって屋外への移動頻度の減少につながり、運動不足になり健康を損ねやすい環境になっていると考えられる。本テーマでは自身の不健康度を視覚的なグラフなどによって見える化し、運動したいと本人が屋外に出る習慣をつけることや屋内でも運動を行う様にする支援型アプリケーションの開発として、常日頃から体に装着しているウェアラブルデバイスから取得できる生体データや心拍数、睡眠量などを計測しそれらのデータから対象者の日々の運動量を測定し、携帯などのアプリケーション内で独自の指数を用いた健康状態を視覚的にわかりやすいグラフによる表示を行い、さらにその指数の傾向からある程度絞られた内容の家の中でも行える運動プランの提案をする。

3. 2 幼児の手の動作取得グローブの提案

幼児の手の動作をとらえるためにデータグローブを開発し、器用さを客観的に評価し、発達を支援する目的で設計した。通常は成人用に使用される曲げセンサーを小型化し、幼児用に適用する。幼児が遊ぶ際の手の動きを記録して、そのデータを活用する方法についてシステム化し、知見を得ることで幼児教育に役立てる。

3. 3 センシングやデータ分析結果の複数人への優先度を含めた通知方式の提案

熱中症警報のような、共有の問題に直面している利害関係者間のコミュニケーションを向上させるための新しい通知アルゴリズムについて提案する。個々の好みを考慮し、「通知可能性」値に基づいて通知を動的に調整することで、不快度を最小限に抑えつつ、応答性を最大化するように設計することを目指す。

4. 研究の経過及び結果・評価

4. 1 ウェアラブルデバイスを利用した生活習慣病の予防システムの提案

本研究ではウェアラブルデバイスから取得されたデータをもとにシステムを作成する。日常的に装着しやすく、日頃の生活に邪魔になりにくい腕時計型を選択した。機能面では心拍数や歩数計、睡眠量、運動の種類を測定できる製品を選択する必要がある、ガーミン社が出しているスマートウォッチを選択した。提案するシステムは自身の健康状態を見やすいグラフによる表示するホーム画面、過去の履歴として何日にどの位運動をしたかを表示する履歴画面、そして独自指数(仮名 HILAY 指

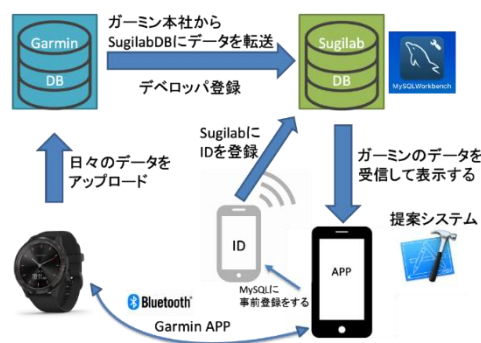


Fig. 1 ウェアラブルデバイスを利用した生活習慣病の予防システム

数)に当てはめて足りていない運動項目並びに足りてない項目から参照した比較的効率の良い運動方法(屋外、屋内)を表示する提案画面の3つの画面を作成する。屋外に限らず屋内でも行える運動プランの提案を行えるパターンとシステムを作成し、対象者にそのアプリケーションを使用してもらうことで問題を解決するように働きかけることを目的としている。そのため腕時計の生体データを利用し対象者の運動量と消費カロリー、睡眠時間を測定して独自の指数にてその人の健康状態の記録並びに健康促進の提案を行うシステムを考え、iOSのアプリケーション開発を行う。本システム全体をFig. 1に記す。

4. 2 幼児の手の動作取得グローブの提案

幼児の手の動きの妨げを最小限にすることを目標に子供用データグローブを開発した。複数のセンサーモジュールを手の甲に着け、伸縮性のあるひもで指の関節を固定した。無線通信はZigBeeを利用したが、WiFiやBluetooth電波と干渉したので最終的に有線シリアル通信を利用した。有線接続は腕の動きが制限されるが、子供が2歳前後であればデータグローブを自分で外さないため、腕の動きを調整可能であった。ケーブルが絡まないように腕の動きを調整し、大きな問題は回避できた。無線は電波干渉が起きるので困難を伴うが、子供用デバイスとしてIoTセンシングができた方が良いとの結論になった。デバイスやシステムの構造をFig. 2に記す。



Fig. 2 幼児の手の動作取得グローブとデータ収集システム

データは可視化ソフトウェアを作成し、指や手の相関に関して分析可能とした。相関係数行列を可視化して、相関の強い部分を赤色で表示することとした。また、分析結果として、相関係数の絶対値を表示している。アプリケーションをFig. 3に記す。指の動きの左右の偏りや、手の動きの発達を見て取ることができた。また、保育所や家庭でのデータから、手指の麻痺や異常を検知できる可能性がある。しかしながら、子供による手の大きさの違いへの対応が難しいことや、グローブをはめたままでは子供が不満を漏らしたので、装着に関する改善が必要である。

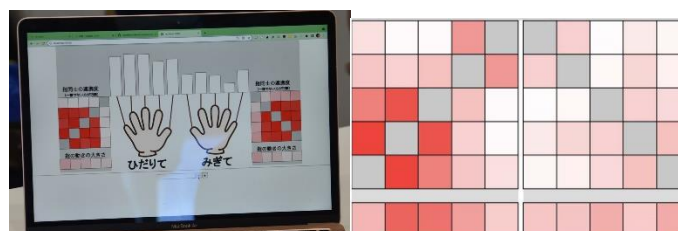


Fig. 3 データ分析の可視化と指の動きの相関の例

4. 3 センシングやデータ分析結果の複数人への優先度を含めた通知方式の提案

複数の利害関係者が共有する問題（例：熱中症のリスク）に対して、適切なタイミングで通知を行い、迅速な対応を促すことを目的とする。通知に関するユーザーの個別の状況や好みを考慮し、それぞれに適切な通知を送信することで、ユーザーが不快に感じることなく、必要な情報を受け取れるようにすることを目指した。例えば、集中しているユーザーや他の理由で通知を受け取りたくないユーザーへの配慮が可能となる。今回は特に熱中症のリスクを軽減するために、環境センサーを活用して温度や湿度を監視し、危険な状況が発生した際に適切な通知を行うことが目的とした。アルゴリズムの特徴として、各ユーザーに対して「通知可能性」値を計算し、通知を送信するかどうかを判断する。この値は、ユーザーの状況や行動（運動中や運転中、睡眠中など）に基づいて決定する。ユーザーの個別の好みや状況を考慮し、通知を送信するタイミングを調整する。もし通知可能性が閾値を超えるユーザーがない場合、最も高い通知可能性を持つユーザーに通知を送信し、反応がない場合は、次に高いユーザーに通知を送るというプロセスを繰り返す。実験を通じて、ユーザーの応答率を時間帯ごとに分析し、個々の応答能力をモデル化した。

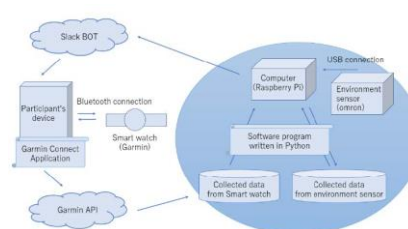


Fig. 4 センシングやデータ分析結果の複数人への優先度を含めた通知方式

5. 今後の計画

次世代センシング技術として IoT センサが台頭してきている。本学でも IoT センサを活用し、センシングからデータ分析に繋げられる技術開発が重要と考えている。また、要素技術だけでなく具体的なサービス・アプリケーションを提案することによって、技術の具体的な利点を表出し、社会のニーズに合った研究となる。そのような観点で、今後も広く研究を調査しながら、具体的な応用事例を研究開発する。

6. 研究成果の発表

- [1] 福沢 豊璽, 杉村 博, 一色 正男: ウェアラブルデバイスを利用した生活習慣病の予防システムの提案, 第 84 回情報処理学会全国大会論文集, No. 3, pp. 281-282, 2022.
- [2] Shigru Owada, Hiroshi Sugimura, Masao Isshiki: Toddler's Hand Motion Acquisition with Hand-Made Data Glove, 2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech2022), pp. 100-101, 2022.
- [3] Momonosuke Ishida, Yurina Kurisu, Hiroshi Sugimura: Prioritized Notifications for Multiple People, 2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech2022), pp. 104-105, 2022.