

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11869

研究課題名(和文) 無線・有線階層型センサネットワークにおける超省電力グループ内ネットワークの開発

研究課題名(英文) Development of low power local network on wired and wireless hybrid sensor network

研究代表者

山脇 彰 (Yamawaki, Akira)

九州工業大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：10325574

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：ワイヤレスセンサネットワーク(WSN)の普及には、電源配線が不要で任意の場所に設置できるバッテリー駆動型、または、無バッテリー型センサノードが望ましいが、前者ではバッテリーの交換・充電が、後者では環境発電機の設置コストやメンテナンスの負荷が課題である。本研究では、コンデンサを電源とした無バッテリー・待機電力ゼロ型センサノードをグループ化し、グループに1個の環境発電機と無線モジュールを持たせた超省電力・メンテナンスレスなWSNを提案する。そして、提案センサグループの試作機を完成させ、太陽光発電とコンデンサで、十分な時間、正しく動作可能であることを確認し、その実現可能性を示せた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

提案WSNは無線と環境発電を親ノードのみに持たせた有線-無線の階層構造をなす新しいWSNアーキテクチャである。また、従来WSNでは環境発電機の出力安定化に使用されてきたコンデンサをセンサグループの動作電源とし、グループ内の電力制御は分散コンデンサに充電された電力をきめ細かく無駄なく使用する新しい方式である。グループ内ネットワークは、配線数固定の省電力な有線によるスケーラブル接続網であり、任意の場所に任意個のノードを持つWSNを容易に構築できる。結果、バッテリー不要で、環境発電機や無線機能のコストやそれらのメンテナンスも大幅に削減でき、設置も容易な超省電力・メンテナンスレスWSNが実現される。

研究成果の概要(英文)：The spread of wireless sensor networks (WSNs) requires battery-powered or battery-less sensor nodes that can be installed anywhere without the need for power wiring. However, the former requires battery replacement and charging, while the latter requires the installation cost and maintenance burden of the energy harvester. In this study, we propose an ultra-low-power, maintenance-free WSN to solve these problems. The proposed WSN has battery-less, zero-power standby sensor nodes powered by capacitors. These are then grouped together, with each group equipped with one energy harvester and wireless module. We have completed a prototype and confirmed that it can operate correctly for a sufficient period of time using solar power generation and a capacitor. Demonstration experiments have demonstrated the feasibility of the proposed sensor group. Therefore, the proposed sensor network can contribute to the realization of a better social life.

研究分野：デジタル回路システム

キーワード：センサネットワーク 省電力 メンテナンスレス スケーラブル

1 . 研究開始当初の背景

ワイヤレスセンサーネットワーク (WSN) は、インフラ整備、災害対策、防犯、スマート農業・スマートシティなど、さまざまな用途に活用できる有望な技術の一つです。しかし、電池の交換や充電にかかるコスト、無線モジュールやエネルギーハーベスターのコスト、それらのメンテナンスが、WSN の普及を妨げています。その普及には、電源配線が必要なく任意の場所に設置できるバッテリー駆動型、または、無バッテリー型センサノードが望ましいが、前者ではバッテリーの交換・充電が、後者では環境発電機の設置コストやメンテナンスの負荷が課題に挙げられる。

従来から、環境発電を用いたバッテリーレス・センサノードは研究開発されている^(1,2)。ただし、すべての独立したセンサノードに環境発電機と無線モジュールを持たせており、それらのコストとメンテナンスの負荷はセンサノード数に比例する。また、我々の知る限り、無線 - 有線の階層化 WSN に関する研究開発はほとんど無い。

[1] 川喜田佑介, 市川晴久:「自立給電型ワイヤレスセンサのためのユビキタス・センシング・プラットフォーム”, 計測と制御, 第 52 巻, 第 11 号, pp.966-972 (2013)

[2] M. Mabon et.al.: “The Smaller the Better: Designing Solar Energy Harvesting Sensor Nodes for Long-Range Monitoring”, Wireless Communications and Mobile Computing, Vol.2019, Article ID 2878545 (2019)

2 . 研究の目的

本研究では、コンデンサを電源とした無バッテリー・待機電力ゼロ型センサノード (Zero Power Sensor Node: ZPSN) をグループ化し、各グループに対して唯一の環境発電機と無線機能を持たせた WSN アーキテクチャを提案する (図 1)。

グループ内ネットワークは、配線数固定の省電力な有線によるスケラブル接続網であり、任意の場所に任意個のノードを持つ WSN を容易に構築できる。結果、バッテリー不要で、環境発電機や無線機能のコストやそれらのメンテナンスも大幅に削減でき、設置も容易な超省電力・メンテナンスレス WSN の実現が期待される。

研究期間において、親ノードの試作機を開発し、複数の環境発電機と組み合わせて実現性に関する検討を行う。そして、複数ノードからなるグループ内ネットワークを構築し、その実現性を検討する。最後に、グループ内ネットワークの性能や電力を評価する。

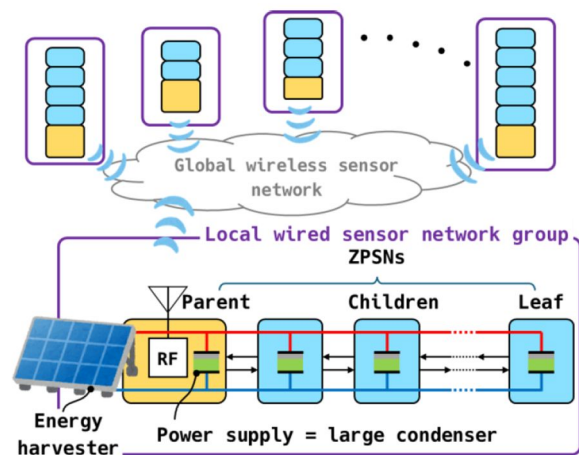


図 1 提案 WSN アーキテクチャ

3 . 研究の方法

(1) 親ノードの試作機と実証実験

親ノードに対する読み実験を行うために試作機を開発した (図 2)。そして、実証実験を通じて、以下の確認を試みる。

コスト削減の観点から、市販の安価なソーラーパネルの使用を想定する。安価なソーラーパネルでは大容量コンデンサ (10F) の充電時間が長すぎるか不可能な場合、提案は実用的ではない。そこで、安価なソーラーパネルで大容量コンデンサを充電するのにどのくらいの時間がかかるかを調査する。

バッテリーと比較してコンデンサは自己リーク電流が大きいことが欠点である。スタンバイ中にコンデンサの充電電力がすぐに空になり、使いたいときに ZPSN が使用できないと提案は実用的ではない。そこで、待機状態の親ノードを完全に充電された電源コンデンサに接続し、電源コンデンサがセンサノードの許容電圧の下限値まで放電するのにかかる時間を確認する。

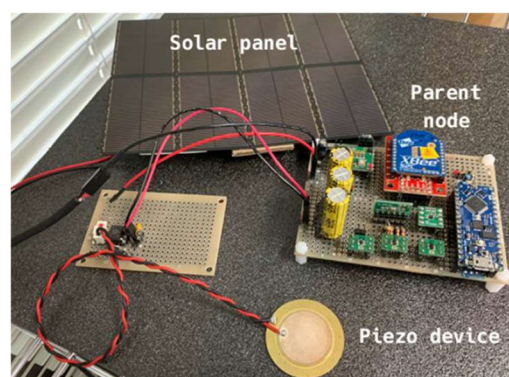


図 2 親ノードの試作機

(2) 有線センサグループの試作機と実証実験

単一の有線センサー群を用いた基礎実験を行うために、親ノードと 2 つの子ノードからなる試作機を開発した (図 3)。そして、実証実験を通じて、以下の確認を試みる。

大容量コンデンサの電力を使った親ノードと子ノードの動作限界時間を評価する。各ノードは市販の温度・湿度センサ(SHT31)のセンサデータを繰り返し取得し、ホスト PC に送信する。親ノードは、自身の無線モジュールを介してホスト PC にデータを送信する。一方、子ノードは、別の電源に接続された別の無線モジュールを介してホスト PC にデータを送信する。これは、無線モジュールが子ノードのコンデンサに蓄えられた電力を消費するのを防ぐためである。コンデンサに充電された電力のみを使った 3 つのノードからなる有線ネットワークグループの動作限界時間を評価する。図 3 の圧電素子を指で押してから、起動した有線ネットワークグループが 3 つのセンサデータをホスト PC に渡すまでの時間を計測する。

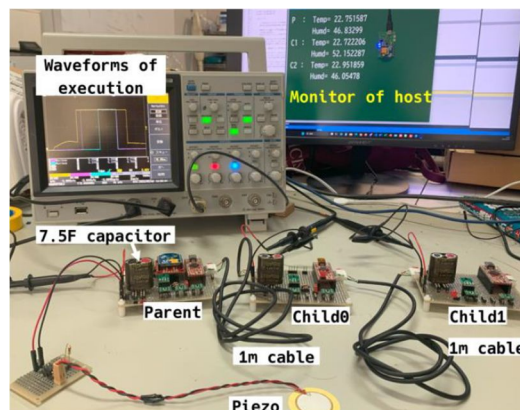


図 3 有線ネットワークグループの試作機

4. 研究成果

(1) 親ノードの基礎実験

10F のコンデンサを完全に放電した後、晴天時においてソーラーパネルの充電開始から約 8 分で、蓄電電圧が所望の電圧に達し、充電が完了した。なお、曇りの日にも同様の実験をしたが、同様の傾向を示し、充電時間は約 21 分であった。次に、太陽光パネルを外し、蓄電電圧の変化を、長期間、測定した(親ノードは待機状態)。その期間は約 48 日であった(図 4)。

48 日の間、コンデンサを再充電するのに十分な時間、晴天や曇天が続くことは非常に高い確率でありうる。検査時に充電を使い果たしたとしても、次回検査時に、電源コンデンサの蓄電電圧が不足して親ノードが使用できない可能性は極めて低い。

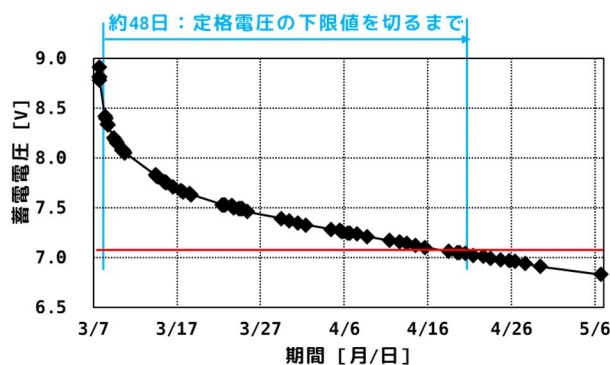


図 4 長期間の電源用コンデンサ放電特性

(2) 有線センサグループの基礎実験

図 9 は測定した動作持続時間と送信できた総バイト数を示す。親ノードは約 266 秒、子ノードは約 484 秒動作できた。分に換算すると、それぞれ約 4.4 分と 8.1 分である。送信できたバイト数は、親ノードが約 88K バイト、子ノードが約 160K バイトだった。子ノードは親ノードよりも約 1.8 倍長く動作し、より多くのデータを送信できた。これは、子ノードには電力消費が高い無線モジュールがないためである。この実験は、ノードが常にセンサーを駆動してデータを送信する最悪ケースの実験と言える。よって、ノードはこの時間以上動作可能と推測される。最悪でもこの程度の時間動作できれば、提案する有線ネットワークグループはさまざまなアプリケーションに適用できると考える。

図 10 は有線センサーネットワークグループの動作時間を測定した波形である。オレンジ色の線は親ノードの動作を、青と緑の線はそれぞれ子ノード 0 と子ノード 1 の動作を表す。親ノードから逐次の子ノードが起動され、集計したセンサデータがホスト PC に送られるまで約 329ms となった。親ノードと子ノードの動作時間制限はそれぞれ 266 秒と 484 秒であり、有線センサーネットワークの動作時間は十分に短いと言える。

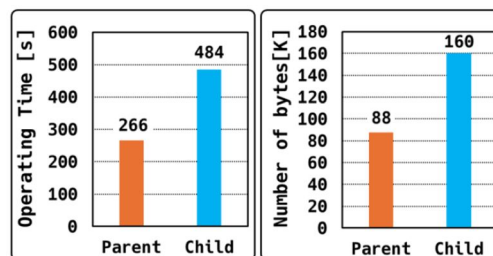


図 5 親ノードと子ノードの動作持続時間

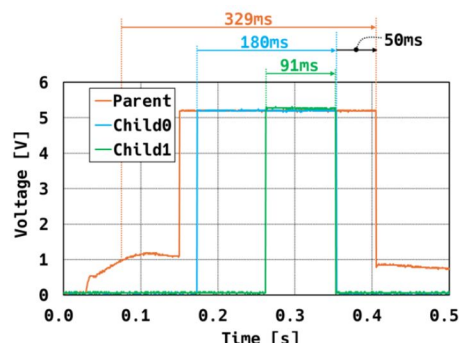


図 6 有線グループの動作時間

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yamawaki Akira, Miyauchi Makoto, Serikawa Seiichi	4. 巻 2559
2. 論文標題 Wired-Wireless Hierarchical Sensor Network using Zero power Sensor Node	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012004 ~ 012004
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1742-6596/2559/1/012004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Akira Yamawaki, Seiichi Serikawa
2. 発表標題 Development of Wired Zero-powered Sensor Network Group in Wired-wireless Hierarchical Sensor Network
3. 学会等名 The 12th IIAE International Conference on Industrial Application Engineering 2024（国際学会）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 山脇 彰, 宮内 真人, 芹川 聖一
2. 発表標題 待機時無電力センサノードによる無線-有線階層型センサネットワークの提案
3. 学会等名 システム/スマートファシリティ合同研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akira Yamawaki, Makoto Miyauchi and Seiichi Serikaw
2. 発表標題 Wired-Wireless Hierarchical Sensor Network using Zero power Sensor Node
3. 学会等名 The 12th International Conference on Information and Electronics Engineering 2023 (ICIEE 2023)（国際学会）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------