

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：24403

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25730062

研究課題名(和文) 太陽光発電を用いた無線センサネットワーク長期間稼働のためのノードの移動手法

研究課題名(英文) Deciding Movement of Sensor Nodes Using Solar Energy Generation for Extending WSN Lifetime

研究代表者

勝間 亮 (Katsuma, Ryo)

大阪府立大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：80611409

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：無線センサネットワークを展開したフィールドでは定期的に温度や湿度などの環境情報を収集することができ、少数のノードでフィールドを長時間被覆することが望ましい。本研究では、農地と水面の2種類のフィールドに対して、可動ノードを用いて被覆する手法をそれぞれ提案した。

農地フィールドにおいては、発電量予測を行うことで10%の被覆時間延長と、4%のノード数削減ができることを確認した。水面フィールドにおいては、海流により流されたノードの位置調整手法の各部位が、1.3倍～1.6倍の被覆時間を得られることを確認した。

研究成果の概要(英文)：Wireless sensor networks (WSNs) that periodically collect the environmental information such as temperature, humidity, and so on require the coverage of a given target field any time and the operation lifetime longer than an expected duration by the minimum number of sensor nodes. For these WSNs, we propose two methods deciding a schedule of node movement to cover the agricultural field and water surface field, respectively.

For agricultural field, simulation results confirm that our method achieves 4% reduction of the number of nodes and 10% extension of the operation lifetime compared to the method without estimation of power generation amount. For water surface field, simulation results confirm that the proposed features for adjusting the positions of nodes moved by water current can improve the duration of field coverage by 48% for WSN with 360 nodes.

研究分野：アドホックネットワーク

キーワード：無線センサネットワーク 可動ノード 太陽光発電 領域被覆

1. 研究開始当初の背景

無線センサネットワーク (WSN) では、バッテリー駆動の各センサノードがセンシングや無線通信によって電力を消耗するため、稼働時間に限りがある。WSN では領域を長期間被覆することが求められている。この問題は古くから存在する研究テーマであり、各ノードの残存電力を平均化することが効率的であると言われている。近年、小型機器の発展に伴い、移動可能なノード (可動ノード) や、太陽光などの環境エネルギーから電力を獲得するエナジーハーベスティングを利用した WSN が注目されている。しかし、可動ノードは移動のための電力が非常に大きく、水流などで強制的に移動したときには、流された距離によって元の位置に戻るために必要な電力も変わり、各ノードの電力を平均的に保つことは難しい。また、エナジーハーベスティングの中でも太陽光発電は障害物による日陰や天候による発電量の違いのため、一定時間経過後のバッテリー残量に大きな差が生じる。

そのため、電力消費が不安定なケース、発電量が不安定なケースについて、太陽光発電が可能な各可動ノードのバッテリー量を均等化するようにノードをダイナミックに移動させる領域被覆手法が必要となってきた。

2. 研究の目的

本研究では、電力消費が不安定な環境、発電量が不安定な環境について、それぞれ各ノードのバッテリー残量を均等化することによる WSN の長期間稼働を目的としたノードの移動手法の提案および評価を目的とする。

(1) 電力消費が不安定な環境 ~ 水上で展開する WSN ~

電力消費が不安定な環境として、水上モニタリングアプリケーションを対象とする。水上モニタリングではフィールドの全被覆を長期間保つ必要があるが、センサノードは水流や風によって意図せず移動してしまう。移動可能なノードを用いることによって一時的に被覆を保つことは可能であるが、移動のための消費電力は太陽光発電より大きいと考えられるため、フィールドを全被覆するために必要十分な数のノードだけでは各ノードのバッテリーが枯渇し、WSN の長期間稼働は困難である。そこで、多数のノードを配置することにより、バッテリー残量が少ないノードをスリープ・充電させ、その代わりとして充電が完了したノードを充電中に流された位置から移動させてフィールドの被覆を保つ方法が考えられる。しかし、設置するノードの数に応じたコストがかかるため、なるべく少数のノードによる WSN の長期間稼働が望ましい。そこで、海上を移動可能なセンサノードを用いて、最少ノード数で WSN を長期間稼働させるダイナミックなノードの移

動手法の考案および評価を行う。

(2) 発電量が不安定な環境 ~ 農場で展開する WSN ~

発電量が不安定な環境として、農場での温度や湿度管理を行い、病気の起こりそうなエリアなどを知らせるアプリケーションを対象とする。農場に配置されたセンサノードが太陽光発電を行うとき、作物の生育によって日陰の領域が拡大していくため、各ノードの発電量に大きな差が生じる。そこで、移動可能なノードを用いて対象領域を全被覆するだけでなく、作物の成長度合いと太陽の位置に基づいて発電量を予測することによって、電池残量の少ないノードの発電量が大きくなるように各ノードをダイナミックに移動させる手法を考案し、シミュレーションにより有効性を評価する。

3. 研究の方法

(1) 水上で展開する WSN

海流の影響でセンサノードは初期位置から不規則に移動し、対象領域のセンシングでなくなる場合がある。それを修復するため、移動機構を持つモバイルノードを使用する。この WSN を長期間稼働させるには、十分な数のノードを配置し、対象領域の被覆に必要な十分なノードのみを稼働させ、残りのノードをスリープさせて必要に応じて稼働させる方法が考えられる。しかし、この方法ではノードの配置数に応じてコストが大きくなる。本研究の目的は、このような WSN を少ないノード数で長期間稼働させることである。対象領域全体を常時被覆しつつ、各ノードが周辺状況のみから独自に判断してアクティブ/スリープのスケジューリングを行う。また、必要に応じて移動先を決定し自律的に移動する手法を提案する。

提案手法では、ノードの移動スケジューリングを計算能力の乏しいノード自身が計算するため、ノードがセンシングする位置を固定することで計算量を減らしている。また、移動の消費電力を抑えるため、海流によりセンシングを行う位置から移動した2つのノードがそれぞれ戻る際の2つのノードの残存電力を予測し、そのうちの最小値が大きくなる場合にのみそれらの戻るべき位置を入れ替えている。

(2) 農場で展開する WSN

農場で温度や湿度をセンシングする WSN では、データ収集頻度が数時間に1度の低頻度であるため、データ収集が行われるまでにすべての領域がセンシングできていれば、常に被覆状態でなくとも良いため、少ないノード数で被覆が可能となる (図4)。本研究では、次のデータ収集までに複数の可動ノードが協調して領域すべてをセンシングする問題を新たに定義し、その問題を

解決するための分散アルゴリズムを提案し、シミュレーション評価を行った。提案手法では、各ノードの現在の位置と日時、作物により生成される日陰領域からセンシングを行う各地点の発電量を予測することによって、フィールドを被覆し、かつ、ノードの電池が枯渇しないよう各ノードの移動経路を決定する。そして、対象領域の全被覆を一定期間 T 以上保持することができる最少のノード数を求める。提案手法における課題は、(a) 発電量をどのように予測するか、(b) ノードの移動方法をどのように決定するか、(c) どのようにスケジュールの計算を行うか、の3点である。(a) の課題を解決するために、作物の成長モデルを導入し、対象領域内の日陰領域を予測する。(b) の課題を解決するために、フィールドを一つのセンサノードで被覆可能なグリッドに分割し、各センシング周期において各グリッドにセンサノードが一つ以上存在する瞬間があり、かつ、周期終了時の全ノードの電池残量の最小値ができるだけ最大となるように移動スケジュールを決定する。(c) の課題を解決するために、複数の隣接グリッドからなる小領域を定義し、小領域ごとに選出されたリーダーノードがその小領域内の他のノードから情報を集め小領域内のすべてのグリッドの被覆を完成させる移動スケジュールリングを計算する。

提案手法の有効性を評価するためのシミュレーションにおいて、84[m]四方の水上領域、0~0.1[m/s]および0~0.3[m/s]の一定方向への水流、20[m]のセンシング範囲、100[m]の通信範囲、単3電池二本の電池容量を設定した。移動後の残存電力予測をせずに距離のみで戻るべき位置の入れ替えを判断する手法 (no-prediction)、戻るべき位置の入れ替えを行わない手法 (no-exchange)、太陽光発電を行わない手法 (no-generation) を比較対象とした。その結果を図1と図2に示す。平均的に提案手法の残存電力予測部位が約1.3倍、移動先入れ替え部位が1.6倍の被覆維持時間を得られ、太陽光発電は非常に大きく被覆維持時間に影響することが確認できた。また、水流の速さが増すと被覆維持時間が減少することも確認できた。最大水流速度が0.1[m/s]のとき、40時間の被覆を達成するために必要なノード数に関して、残存電力予測部位が約100ノード、移動先入れ替え部位が約220ノード削減できていることが確認できた。

4. 研究成果

(1) 水上 WSN に関する評価実験

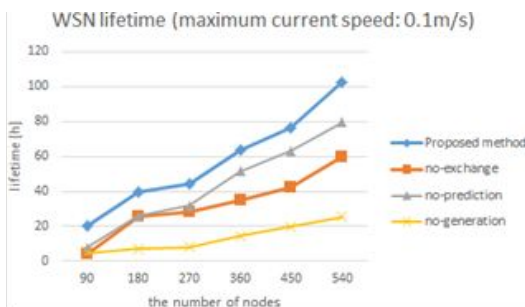


図1 WSN 稼働時間の実験結果
(最大水流速度 0.1[m/s])

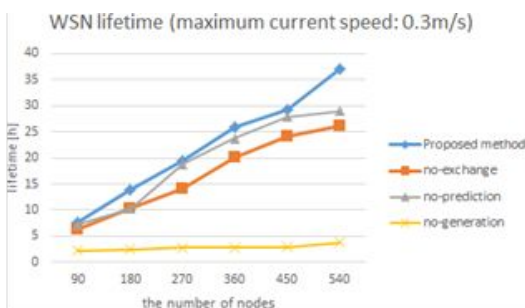


図2 WSN 稼働時間の実験結果
(最大水流速度 0.3[m/s])

(2) 農場 WSN に関する評価実験

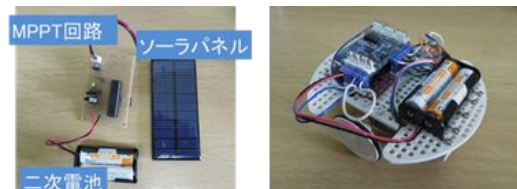


図3 太陽光発電機構

図4 移動機構

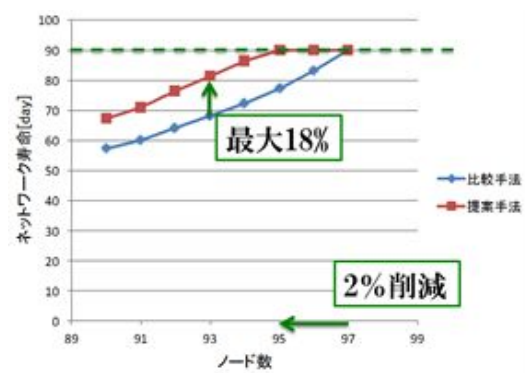


図5 稼働時間の実験結果

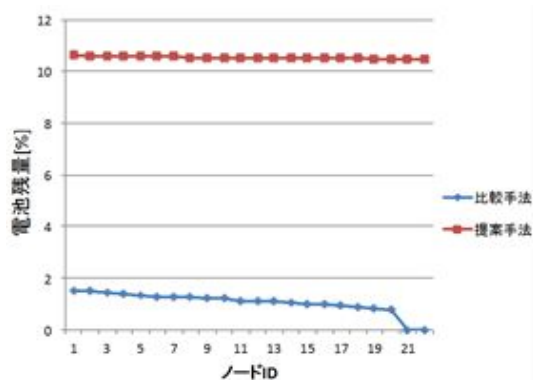


図6 電池残量の実験結果

ソーラパネルを用いた充電機構および移動機構を装備したセンサノードを制作し、発電量と電力消費量を計測する予備実験を行った(図3, 図4)。その結果, 日向における発電量は180[mW], 日陰における発電量は24[mW], 移動での消費電力量は1680[mW]であった。予備実験の結果を用いて, 農地においてWSNを運用するシミュレーションを行った。その結果, 提案手法では電力予測をしない手法に比べ, WSNを90日稼働させるためのノード数を4%抑え, また, 同じノード数のときネットワーク寿命を約10%延長することができた(図5)。90日稼働させたときの電池残量は提案手法では均一になっていることが確認できた(図6)。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0件)

なし

〔学会発表〕(計 6件)

1. Masaru Eto, Ryo Katsuma, Morihiko Tamai, Keiichi Yasumoto, Efficient Coverage of Agricultural Field with Mobile Sensors by Predicting Solar Power Generation, The 29th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2015), March 25th, 2015, Gwangju (Korea)
2. Hiroataka Ueno, Ryo Katsuma, A Method to Minimize the Number of Nodes Maintaining Water Surface Coverage by Solar Energy Generation, The 4th Int'l Conf. on Electronics, Communications and Networks (CECNet2014), December 14th, 2014, Beijing (China)
3. 江藤 大, 勝間 亮, 玉井 森彦, 安本 慶一, ソーラパネル付モバイルセンサノードで構成されたWSNのための最適移動スケジューリング手法とその評価, 情報処理学会 第158回DPS研究会, 2014年3月6日, 明治大学(東京都中野区)
4. 江藤 大, 勝間 亮, 玉井 森彦, 安本 慶一, 作物の生育に伴う太陽光発電量変化を予測したモバイルセンサノードによるフィールド被覆法, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2013)シンポジウム, 2013年7月11日, ホテル大平原(北海道河東郡)
5. 上野 弘考, 勝間 亮, 太陽光発電を用いた可動式WSNの海上フィールドの半永久被覆のための配置ノード数最少化手法, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル

(DICOMO2013)シンポジウム論文集, 2013年7月11日, ホテル大平原(北海道河東郡)

6. 江藤 大, 勝間 亮, 玉井 森彦, 安本 慶一, 作物の生育による日陰領域の変化を考慮したソーラパネル付センサノードの移動スケジューリング法, 第20回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ(DPSWS2012)論文集 2012年10月17日, ホテル奥道後(愛媛県松山市)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

特になし

取得状況(計 0件)

特になし

〔その他〕

特になし

6. 研究組織

(1)研究代表者

勝間 亮(KATSUMA, Ryo)

大阪府立大学 理学系研究科 助教

研究者番号: 80611409

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし