

大規模無線センサネットワークに向けたノード最適化の検討

平谷拓也^{†,a)} 中沢 実^{†,b)}

近年、モノのインターネット(IoT)の発展に伴い、そのIoTの基盤技術となる無線センサネットワーク(WSN)にて大規模化に向けた研究が盛んに行われている。従来までの固定型センサノードから移動型センサノードに対して研究が多く成されているのが現状ではあるが、センサノードのデバイス構成の未確立や大きな起伏や傾斜が激しい場所での可動が困難であるといった問題点が存在し、あまり実用化までに至っていないのが現状である。そこで、本研究では、WSNを構成するノードの最適化を行うため、従来までのノード問題の検討および試作を行い、小規模WSNを対象としたノードの性能評価を行う。その後、WSNの大規模化を目的としたネットワークシミュレータを用いた大規模WSNでのノードの性能評価を行い、ノードの有用性を証明する。ここで、本研究では温度や湿度、そして照度を環境情報の対象とし、一定間隔に環境情報の採取および収集するWSNを対象とする。シミュレータによるノードの性能評価結果より、大規模WSNでの本研究での試作したノードの有用性を示すことが出来た。

1. はじめに

近年の情報通信技術の急速な発展により、モノのインターネット(以下、IoT: Internet of Things)が注目されている。IoTは、パソコンやサーバなどのIT関連機器以外のモノをインターネットに接続する技術であり、2020年には世界人口約76億人に対しインターネットに接続されるデバイス数は500億台と考えられている。インターネットに接続するための技術は有線、無線と様々ではあるが、中でも無線技術はインターネットに接続されるモノの増加および対象領域の拡大に伴い必要不可欠となる。そのIoTでの基盤技術として無線センサネットワーク(以下、WSN: Wireless Sensor Network)がある。WSNは、2011年に発生した東日本大震災以降から人為的作業が困難な場所—放射能濃度の高い場所等において、その都度目的に応じたセンサ情報の集約を行うことで様々な問題点・改善策を導き出すための技術として注目が集まった。現在では、我々の身近な生活空間にも技術が応用され、M2MやCPSなどの基盤技術として確立されている。WSNは実用化が進むと同時に研究活動も盛んに行われており、大規模化に伴うリアルタイムデータの異常検知を目的としたアルゴリズムの提案¹⁾やビッグデータの蓄積や解析することを目的とした分散型センサデータ管理システムの提案²⁾などがある。また、WSNにて収集したデータに対する技術研究だけでなく、k-swap局所探索法が組み込まれたACO(Ant Colony Optimization)に基づく近似解手法³⁾や農業分野での情報管理・分析・共有を目的とした情報化農業支援システム”Agri-eye”の開発⁴⁾などの無線センサノードに関する研究も盛んに行われている。このようなことから、WSNに関する研究は実用化に向けて着実に進んでいると言える。

しかし、従来までは固定センサノードを中心とした研究が多く、障害発生時による特定ノードのネットワークから

の離脱、それに伴うデータの信頼性の低下などが懸念されている。また、センサノードのバッテリー交換など物理的なメンテナンスが必要不可欠となっている。近年では、それらを解決する手段として移動型センサノードやエナジーハーベスティング技術を用いた研究活動が盛んに行われており、WSNの稼働期間の延長と最小ノードによる対象領域の被覆率の向上を目的としたソーラパネル付きモバイルセンサノードの最適移動スケジューリング手法の提案⁵⁾や稼働時間の最大化を目的とした移動センサノードの最適移動手法及びデータ収集のためのマルチホップ通信経路の構築手法⁶⁾がある。このように、固定センサノードにて静的にデータ収集するだけでなく、自由度が高い移動型センサノードを用いることで特定ノードの障害発生時に伴うネットワーク障害の回避などを実現している。しかし、移動型センサノードの研究が進んではいるが、WSNを構築するセンサノードが全て移動型であるとは言い難い。その原因としては、以下の3点が考えられる。

- 1) 移動型センサノードの構成が確立されていない
- 2) 大きな起伏や傾斜が激しい場所での可動が困難
- 3) 固定ノードに比べ消費電力が高い

そこで本研究では、初めに移動型、固定型の共通部分に関するノードの最適化を行う。その後、ネットワークシミュレータを用いて大規模WSNを対象としたノードの性能評価を行う。

以下、2章ではノードの検討と試作に関して述べ、3章にてシミュレーションを用いた大規模WSNでのノードの性能評価結果を示す。その後、最終章にてまとめと今後の展開に関して述べる。

2. ノードの検討と試作

本章では、最適化ノードの検討と試作に関して述べる。本研究では、WSNにおけるノード問題を検討し、試作を行いノードの最適化を実現する。そこで、温度や湿度、そして照度を環境情報の対象とし、一定間隔に環境情報の採取および収集するWSNを対象とする。本試作では、環境情報の採取するためのセンサとして温湿度・照度を、対象環

† 金沢工業大学大学院 工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Kanazawa Institute of Technology

a) b6300331@planet.kanazawa-it.ac.jp

b) nakazawa@infor.kanazawa-it.ac.jp

境を視覚的するためのカメラモジュール、ローカル環境でのデータ・ロギングのためのSDカードデバイスを採用し、採取したデータを収集するためにIEEE802.15.4/ZigBeeを採用した。以下、最適化ノードの検討に関して述べた後、試作に関して述べる。

2.1 ノードの検討と試作

従来のWSNでは、LAN/WLANの敷設・設置といった物理的な工事が必要不可欠となる。そのため、導入までのインニシャルコストに多くを費やしてしまうことになる。また、収集したセンサデータを数値的に表示するだけでなく、異常検出時の通知機能および遠隔機器制御など従来に比べ更に高度な技術が求められているのが現状である。そこで、本研究では、ノードの最適化を目的として、以下の3点を検討項目として試作を行う。

- 1) 設置工事無しでのシステム構築
- 2) 急激な環境変化への対応
- 3) 柔軟なWSNの構成に対応

図1に試作したノードの構成を示す。ここで、図左がシンクノード、図右がセンサノードの構成を示す。シンクノードは、ワンボードマイコン(Arduino Mega Pro)、広域通信(IEEE802.16)、近距離無線通信(IEEE802.15.4/ZigBee)、各種センサ等から構成され、センサノードは、ワンボードマイコン(Arduino Pro)、近距離無線通信(IEEE802.15.4/ZigBee)、各種センサ等から構成される。本研究でのシンクノードは、センサノードから取得したセンサデータをクラウドにデータアップロードすると共に、ネットワーク障害によるデータ欠落を事前に防ぐためにノード本体に搭載しているSDカードにデータを適宜格納していく。SDカードに格納するデータ情報として、環境情報ファイルが1つあたり50[byte]、画像データファイルが1つあたり50[Kbyte]、そしてデバッグ用ログが1つあたり100[byte]となっている。そのことから一日あたりの格納データサイズは1.3[Mbyte]となる。本研究では、2[Gbyte]のマイクロSDカードを採用していることから、約1500日分のデータ格納を可能としている。また、リアルタイムなセンサデータの管理を行うため広域通信モジュールとしてArduino 3Gシールドを採用し、ノードへの電源供給開始と同時にインターネット時刻と同期し、正確な時刻管理を実現する。本ノードは、電源供給開始と同時に起動し、各モジュール・ライブラリの初期化、センサノードでの環境情報の採取およびシンクノードでのセンサノードからのデータ取得、そして一定間隔でのインターネット時刻との同期を行う。ここで、環境情報の採取間隔はインターネットを介した直接的な変更を可能とし、また各ノードに固有の識別番号を割り当てていることから対象ノードのみ設定の変更を可能とする。

図2に試作したノードを示す。図左がシンクノード、右がセンサノードを示す。ルーターに関しては、センサノードと同様のデバイス構成とし、中継機能のみを有する。以降、



図1 ノードの構成図

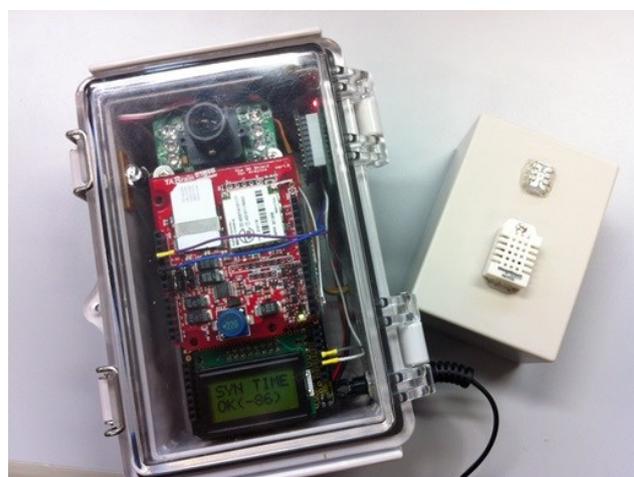


図2 試作ノードデバイス



図3 各種センサの測定結果

試作ノードを用いた小規模WSNシステムでの環境情報の測定およびその他モジュールでの結果を述べる。

2.2 測定結果

本節では、試作したノードで構成されるWSNシステムでの測定結果について述べる。試作ノードを用いた小規模WSNでの対象環境の測定は、シンクノード1台、センサノード3台を用いて実施した。図3に温湿度センサで取得した温度の測定結果およびカメラモジュールにて撮影した画像を示す。ここでは、湿度および照度も温度同様に正確な測定結果の取得が可能であることを確認した。

3. 評価

試作した最適化ノードの性能評価をするべく、ネットワークシミュレータを用いて大規模WSNでのノードの性能評価を行った。本章では、シミュレーションでの条件および領域分割に関する内容を述べる。



図 4 未分割領域

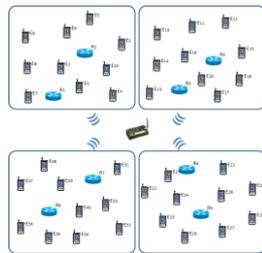


図 5 分割領域

3.1 評価条件

本研究では、領域サイズを $1,000 \times 1000[m]$ とし、シンクノードを中心にルーター、センサノードを配置した WSN を対象とする。中継機能を有するルーターは、2.1 で述べたセンサノードと同様のノード構成とし、シンクノードから直接通信出来ないセンサノードからでもデータ送受信を可能とする。ただし、環境情報の採取およびシンクノードへのデータ送信機能は有しないものとする。全ノードは、配置後の移動はないものとし、シンクノードを除くノードは同じ電力及び通信性能を有する。通信では、ネットワーク開始後にある一定のデータ通信を行った後、既定の通信間隔で通信を行う。本研究では、通信間隔は $1[m]$ 、データパケットサイズは $40[byte]$ 、ノード間の最大通信距離は $300[m]$ とし、最大バッテリー容量は $2,000[mAh]$ とする。以上を、シミュレーションのパラメータとし、以下の2種類の条件のもと、シミュレータを用いた性能評価を行う。

- 1) 対象領域を分割しない構成
- 2) 対象領域を分割した構成

図 4 に未分割領域の図を、図 5 に分割領域の図を示す。本研究では、最適化ノードの性能評価に重点を置いているため、使用周波数帯でのチャンネルを各領域に割り当てることで電波干渉が起こりにくい環境下でのシミュレーション評価を行う。そこで、従来までの未分割領域での WSN システムの評価に加え、領域分割による通信量の分散化による性能評価を行う。ここで、領域分割に関しては、対象領域を $N(N=1,2,\dots,n)$ 分割させることで通信量の分散化を実現する。表 1 に、シミュレーションに用いるパラメータを示す。

3.2 評価結果

本節では、領域分割および未分割でのデータパケット到達数、平均バッテリー残量について評価に関して述べる。ここで、データパケット到達数はシンクノードでの全パケット送信数に対するセンサノードでのパケット受信数を示す。また、平均バッテリー残量はセンサノードの稼働に伴う消費電力量を最大バッテリー容量から減算したものを示す。ここで、評価に伴い、ルーターに関しては中継機能のみを有するため、センサノードのみの評価結果を示す。図 6,7 に各領域でのデータパケット到達数のグラフを、図 8,9 に各領域での平均バッテリー残量のグラフを示す。

表 1 シミュレーションにおけるパラメータ設定

パラメータ	値
シミュレーション時間	21600, 86400 [sec]
対象領域のサイズ	$1,000 \times 1,000 [m]$
伝送速度	250 [kbps]
ノード数	101
データサイズ	40 [byte]
最大通信距離	300 [m]
通信間隔	1000 [msec]
最大バッテリー容量	2,000 [mAh]

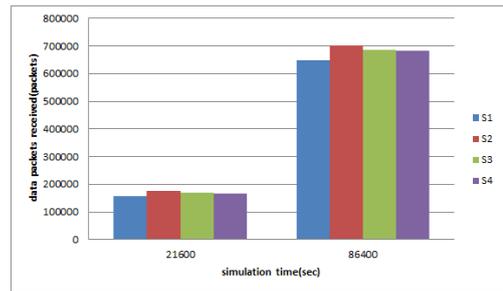


図 6 未分割領域でのデータパケット到達数

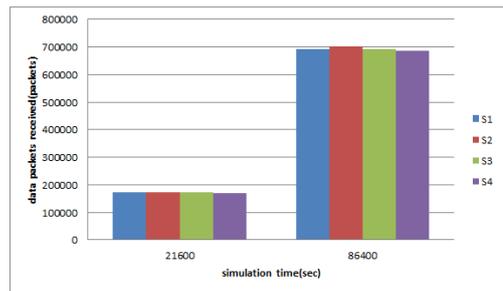


図 7 分割領域でのデータパケット到達数

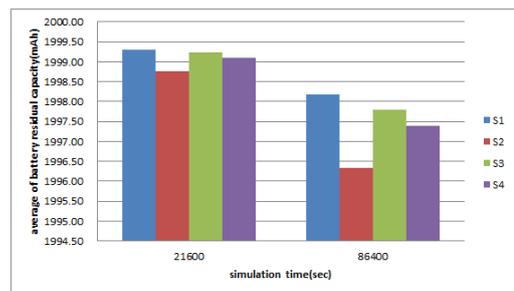


図 8 未分割領域での平均バッテリー残量

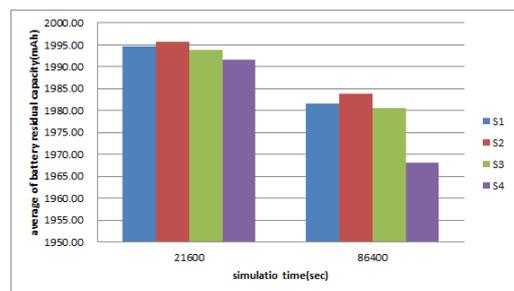


図 9 分割領域での平均バッテリー残量

評価結果より、未分割領域にて最大で90%、分割領域にて最大で98%のデータパケット到達が可能であることを確認した。また、平均バッテリー残量に関しては、シミュレータ環境にも左右されるが、一定の消費電力量となることを確認した。これらの評価結果を元に以降まとめを述べる。

4. まとめ

本研究では、従来のWSNを構成するノード問題を解消すべく検討項目を設け、試作に取り組んだ。また、試作ノードの有用性を評価すべく、ネットワークシミュレータを用いて性能評価を行った。評価結果から、ノードの有用性を証明することが出来た。また、本研究では2種類の条件のもと、シミュレータを用いたノードの性能評価を行った。分割領域におけるノードの性能は未分割領域でのWSN構築に比べ、データパケット到達数は8%向上するという結果を得ることを確認した。ただし、平均バッテリー残量に関しては、3.2の評価結果で述べたとおりシミュレータ環境に左右されるため、実環境下での運用において同様の結果を得ることが出来るとは言い難い。そのため今後の課題としては、実環境下でのバッテリー残量の評価を行うとともに、ノード数の増加に伴う大規模WNSの評価および実環境下での大規模WSNの性能評価を行うことが挙げられる。

参考文献

- 1) 山内正人,砂原秀樹”広域センサネットワーク活用システムのための信頼性確保アーキテクチャ”,DICO2010,July-2014
- 2) 松浦伸彦,鈴木誠二,峰野博史,太田賢,水野忠則,”センサデータ収集システムにおける分散データベースの性能評価”,2011-DPS-146(10),Mar-2010
- 3) 大倉慶一,片山謙吾,船曳信生,南原英生,西原典孝,”ノード配置問題に対するアント最適化法”,NS2010-134,Dec.2010
- 4) 岡安崇史,有田大作,アンドリプリマヌグロホ,星岳彦,吉永崇,井上英二,平井康丸,光岡宗司,”農業におけるセンサネットワークシステムの活用”,2014-CVIM-191(12),Feb.2014
- 5) 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”,2014-DPS-158(10),pp.1-8,Feb.2014
- 6) 勝間亮,村田佳洋,柴田直樹,安本慶一,伊藤実,”移動センサノードを用いたデータ収集型WSNでのk重被覆時間の最大化手法”,2009-MPS-73(13),Dec.2009
- 7) 久保祐樹,野崎正典,”大規模センサネットワークにおけるチャンネル切り替えによる干渉回避方式”,USN2011-52,Oct-2011
- 8) 松本祐也,田野哲,富里繁,秦正治,”同一チャンネル干渉下での周波数オフセット推定法の検討”,RCS2011-287,Jan-2012
- 9) 平谷拓也,鷹箸孝典,中沢実,大黒篤,”3G及びZigBeeを利用したクラウドセンサネットワークシステムの検討と試作”,2013-DPS-157(8),Oct-2013