

モバイルシンク方式によるデータ収集システムの実現について

中山 英久*

Feasibility of data gathering system for a mobile sink

Hidehisa NAKAYAMA*

abstract

A wide area sensor network with many nodes connected is sometimes composed of both a region that need to be monitored and a region that do not need to be monitored. In such network, a mobile sink and ad-hoc communication among sensor nodes are useful for resource savings. A mobile sink is installed on a moving entity like a vehicle and moves continuously within the region that needs to be monitored based on the pre-defined configuration. Since a mobile sink enable data gathering only for a required area at a required time, frequent ad-hoc communication between sensors are not required and the resource efficient gathering can be achieved. In the previous study, I have proposed the theoretical design of mobile sink-based data gathering system. This paper shows the feasibility of the proposed system through several demonstration experiments.

1. まえがき

近年、情報通信技術が発展し、従来はあまりコンピュータに接続することのなかった「モノ」を、インターネットに接続するというモノのインターネット化(IoT: Internet of Things)に対する注目が集まっている。高性能な電子機器が広く普及したことによりユビキタス社会が到来したため、医療・交通・気象といった産業への応用ばかりでなく、趣味・スポーツ・ゲームなど生活に身近なモノへのネットワーク利用に対する期待が背景にあると考えられる。

IoTの基盤技術であるセンサネットワークは、多数のセンサを搭載した端末を広範囲に配置し、広範囲のモニタリングが行えるネットワークである。また、アドホックネットワークは、基地局やアクセスポイントに依存せず、端末間の通信のみで接続されたネットワークである。センサネットワークに用いられる端末は、長期稼働を目指した低消費電力なデバイスが用いられる。そのため、端末同士はアドホックな接続を行い、得られたセンサ情報の転送には、端末から端末へバケツリレー式に伝送するマルチホップが用いられる。そのため、低コストで大規模なセンサネットワークが構築可能である。

大規模なセンサネットワークの構築手段として、モバイルシンク方式がある。モバイルシンクを用いる手法では、ノード(端末)をクラスタリングし、各クラスタの中心もしくはクラスタヘッドをシンクノードが巡回し、クラスタ内のデータ収集を行う。これにより、人が容易に立ち入れない場所にあるセンサネットワークのモニタリングが可能となり、すべての端末を繋ぐネットワークを用いるよりも、端末間の通信量が削減され、省電力化が実現できる。

本稿では、モバイルシンクによるデータ収集システムを実現する方法について検討した。筆者らは、文献[1,2]にてシミュレーションの結果等により理論的に考察したが、今回は実現方法について実機(移動体および飛行体)を用いたシステム構成について検討を行った。

2. モバイルシンク方式

2.1 基本構成

図1にモバイルシンク方式の概念を示す。モバイルシンク方式ではシンク端末が複数のセンサネットワークを巡回し、データの収集を行う。それぞれのセンサネットワークには、研究開発用で事実上標準的な Crossbow MOTE [3]を用いる。センサ端末には、図2(a)の XM2110 ユニット(MCU:ATMega1281, Radio:RF230)と MTS300 センサ基板(光,温度,音,電圧センサ)を用いて、シンク端

2016年10月21日受理

*知能エレクトロニクス学科准教授

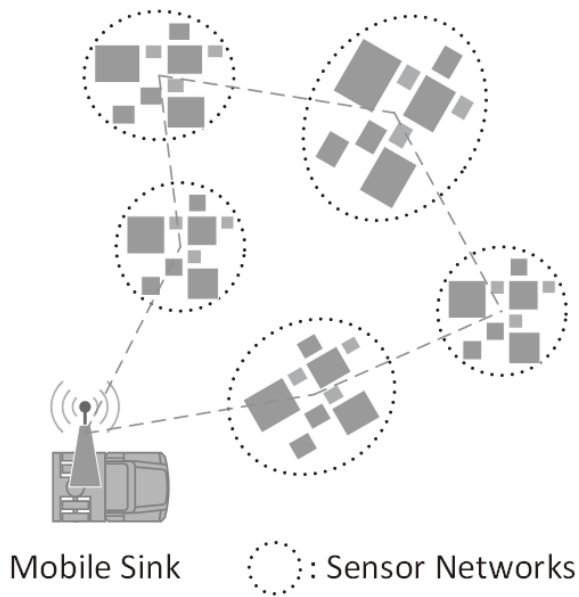


図 1 : 端末の配置図

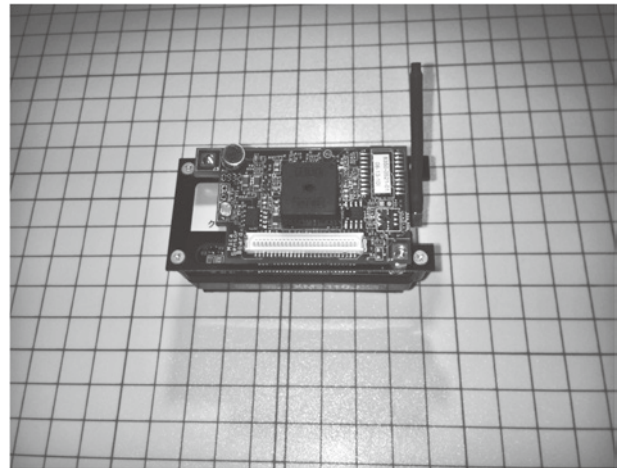
末には、図 2 (b) XM2110 ユニットと MIB520 基地局(IF:USB)を用いる。複数のセンサ端末同士が XMESH プロトコル[4]でアドホックな無線接続を行っており、センサネットワークを形成している。データ収集は、小型 PC から MIB520 基地局を USB 接続して行う。小型 PC には、モバイルバッテリーで駆動した Raspberry Pi Model 2B [5] を用いて、受信したパケットを解析する。

モバイルシンク方式では、シンク端末が各ネットワークの中心付近を巡回し、データ収集を行う。このようなハイブリッド構成は、ネットワークを大規模にする上で、ネットワークを作らなくて良い場所を避けることが出来るため、単に全端末をセンサネットワークで構成するよりも、資源を節約したネットワークとすることが出来る。

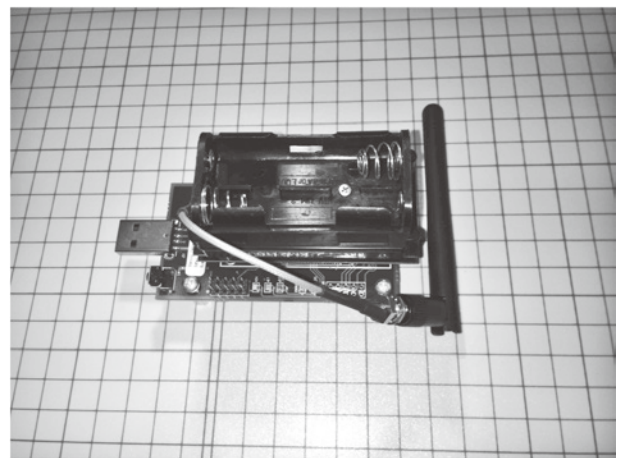
2.2 移動体を用いたモバイルシンク

シンクの移動体としては、操縦可能な移動ロボットが考えられる。操縦可能であれば、任意のセンサネットワークにアクセスし、巡回することが出来る。ここでは、iRobot 社の Roomba 780 [6]を移動体として用いた例を示す(図 3)。移動体の上部に小型 PC と基地局、およびモバイルバッテリーを載せている。Roomba はロボット掃除機として有名だが、インターフェースプロトコルが公開されているので、シリアル通信によるコマンド送受信により制御可能である。そこで、ロボットとして利用できるように、赤外線リモコン操作の他に Bluetooth モジュール(SparkFun BlueSMiRF [7])を取り付け、スマートフォンのアプリケーションにより自由に操作できるようにした。

また、元々の Roomba は、どんな地形であって



(a) センサ端末 XM2110



(b) シンク端末 MIB520

図 2 : Crossbow MOTE

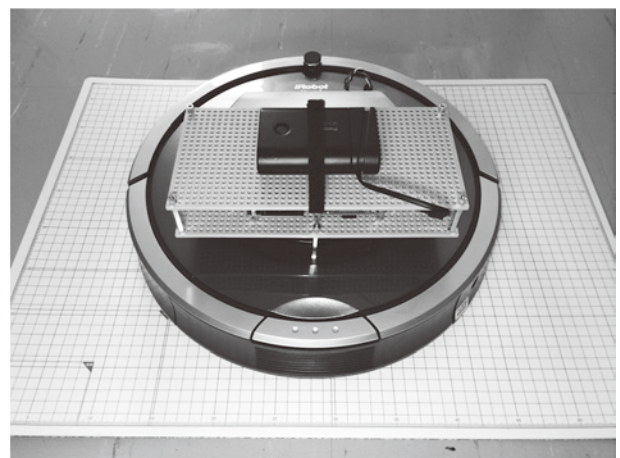


図 3 : Roomba によるモバイルシンク

も目的の場所に辿り着く仕組み、すなわち障害物を避けて地雷除去をするアルゴリズムを転用し



図4 : Drone によるモバイルシンク

て移動し、部屋中を掃除している。つまり、この元々のアルゴリズムを使えば、ある区画を隅々まで移動して、満遍なくセンサ情報を取得することも可能である。そこで、無線基板の出力設定(信号の強さ)に対し、シンク端末からセンサ端末までの到達度合いを考察する必要がある。

2.2 飛行体を用いたモバイルシンク

次に、モニタリング範囲の広いフィールドにおけるシンクの移動体としては、飛行ロボットが考えられる。ここでは、DJI 社の Phantom 2 [8]を飛行体として用いた例を示す(図4)。飛行体の下部に小型 PC と基地局、およびモバイルバッテリーを載せている。Phantom は、クワッドコプターとして有名であり、プロポ(送信機)による制御に加えて、機体姿勢を安定化させる自動制御の機構が備わっている。そのため、従来のラジコンヘリコプターよりも格段に操縦がしやすいため、自由に操作するまでの訓練期間が比較的少なくて済む。シンク端末として稼働させるには、ある一定の高さを維持する操作(ホバリング)が必要となる。そこで、ホバリング時を想定して高さの変化に対し、シンク端末からセンサ端末までの到達度合いを考察する必要がある。

3. 基本実験

屋内にてノード間隔が約 1.5m であるグリッド上に、図5に示す 30 台のセンサ端末(Iris MOTE)を、地表から高さ約 1m の場所に配置してセンサネットワークを構築し、左隅に配置したシンク端末にて、電池電圧、光センサおよび温度センサの取得値からなるデータパケットを収集するという基本実験を行った。センサ端末で取得した情報をまとめて1秒間に1回、1個のパケットとして送信させ、シンク端末までマルチホップで到達し

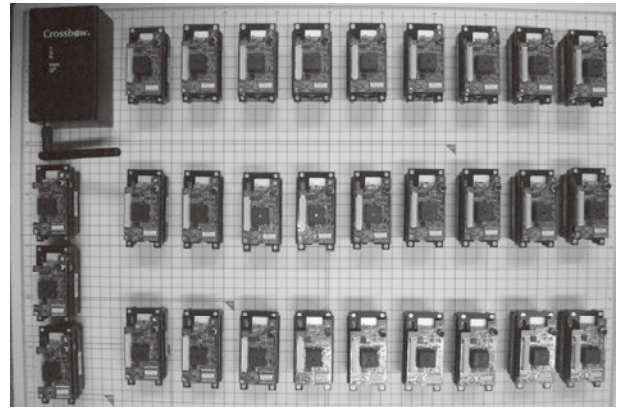
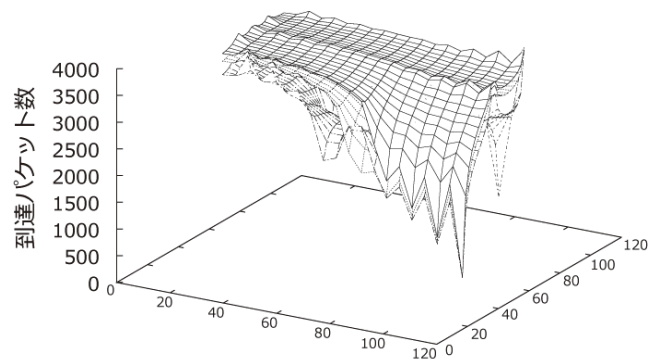
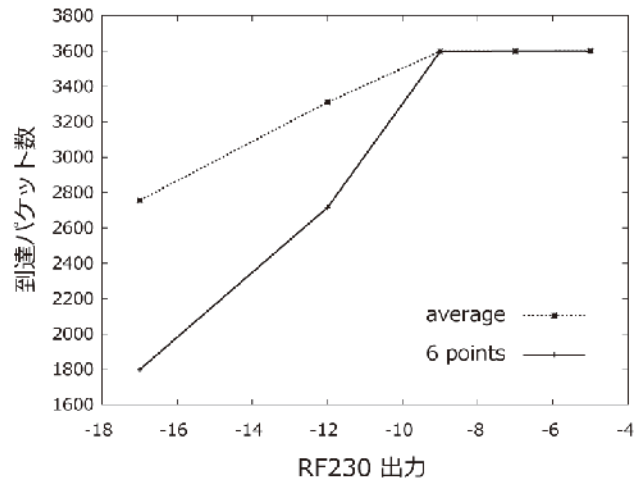


図5 : Iris MOTE 端末群



(a) 各ノードからの到達パケット数



(b) 出力と到達パケット数

図6 : 無線出力に対するパケット到達度。

たパケットを1時間分実測した。

3.1 無線出力に対するパケット到達度

センサ端末の RF230 無線出力を、高出力から順に -5dbm, -7dbm, -9dbm, -12dbm, -17dbm の5段階に設定を変えつつ実験を行った。図6(a)は、

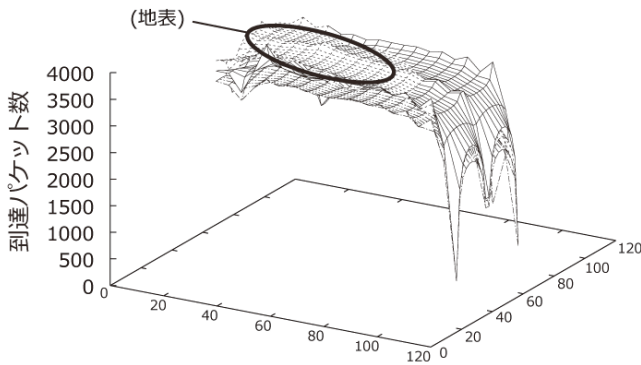


図 7 : 高さに対するパケット到達度.

高出力から順に到達パケット数のグリッドを示した稼働実験の結果である. 理論上, 1 時間分では 3600 パケット到着するはずであるが, 基地局端末から遠いノードほど到達パケットが少ない傾向にあった. また, 図 6 (b)では, 各設定電力に対する全ノードの平均到達パケット数, 端末から遠い 6 ノードについての平均到達パケット数も併せてプロットした. ノードの省電力性を追求する場合は, 各端末の設定出力を下げれば良い. しかし, 図 3 に見られるように, 出力 -12dbm , -17dbm ではパケット損失が多く, 端末から遠い 6 ノードでは特に損失が多い. そのため, 基地局を隅に置いて約 1.5m のグリッド間隔でノードを設置する場合, 出力を -9dbm 以上に設定すればよいことが分かった.

3.2 高さに対するパケット到達度

センサ端末の RF230 無線出力を -9dbm に固定し, 地表からの高さを 0m, 約 1m, 約 2m の 3 段階に変えつつ実験を行った. ここで, 高さ約 1m は, センサネットワークのフィールドと同程度の高さを意味し, 地表 0m は低い位置に基地局を置いた場合, 地表約 2m は高い位置に基地局を置いた場合を意味している. 稼働実験の結果を図 7 に示す. 全体的な傾向としては, 約 2m, 約 1m, 0m の高さの順に, 到達パケットが少なくなる傾向にあった. しかし, 基地局に近いところ(図 7 中の黒楕円部)では, 地表(0m)に基地局を置いた場合について, 到達パケット数が最も多かった. 同じ端末の配置であっても, 基地局周辺のネットワークがつながりやすいという結果が得られた.

以上より, モバイルシンクに移動体 Roomba を用いる場合は, 多くのクラスタ数を設定すること, モバイルシンクに飛行体 Drone を用いる場合は, 地表に近づいてホバリングするのではなく, ネットワークが見渡せるほどの高さでホバリングすればよいことが分かった.

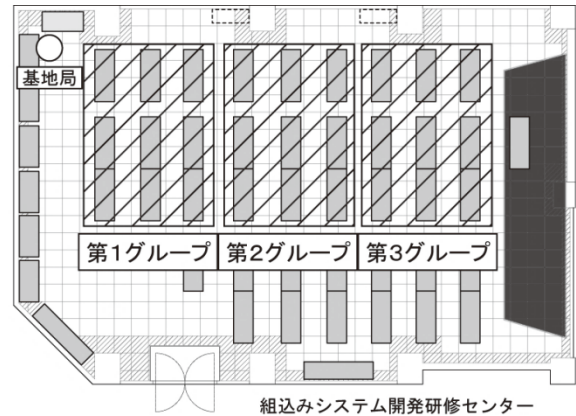


図 8 : 端末グループの設定

4. クラスタリング実験

あらかじめすべての端末の位置を把握しておく, クラスタリングによって複数のクラスタに分けることが出来れば, 各クラスタの中心を周回するパスを計算することが出来て, モバイルシンク方式がうまく機能する. そこで, 約 50cm 間隔で 30 台の端末を配置し, クラスタリングに関する実験を行った. ここで, 図 8 のように, 基地局から近い順に第 1 グループに 12 台, 第 2 グループに 9 台, 第 3 グループに 9 台を置き, 3 つのグループを想定する. そして, 実験場所の環境は, 空調設備と照明設備を用いて, 温度および照度の組合せを 3 つのグループに対応させた 3 種類に設定した.

4.1 K-means 法

端末群のグループ化の方法として, 多次元ベクトルのクラスタリングを行い, 代表的な端末を取り出す. クラスタリングには, 以下に示す K-means 法[9]を用いる.

各端末から取得できる N 個の多次元データを $x_n (n = 1, \dots, N)$ とする. このデータ集合を K 個のクラスタに分割する. このとき, K 個の中心データを $\mu_k (k = 1, \dots, K)$ とする. 各データに対し, 2 値の所属変数 $r_{nk} \in \{0, 1\}$ を定めると, 目的関数は

$$J = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K r_{nk} \|x_n - \mu_k\|^2$$

となる. K-means 法は,

Step1: データの所属を決める

Step2: 中心データの再計算

を収束するまで繰り返し, 目的関数 J を最小化することで, クラスタリングを行う方法である. こ

ここで, Step1 では, 現在の中心データ $\mu_j^{(t)}$ を用いて,

2 値の所属変数

$$r_{nk} = \begin{cases} 1 & k = \operatorname{argmin}_j \|x_n - \mu_j^{(t)}\|^2 \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases}$$

を求め、Step2 では、2 値の所属変数 r_{nk} を用いて、中心データの推定値

$$\mu_k^{(t+1)} = \frac{\sum_{n=1}^N r_{nk} x_n}{\sum_{n=1}^N r_{nk}}$$

を求める。

以上の操作により、端末群の各クラスタへの所属が確定する。そして、中心データの推定値に最も近い端末を、各クラスタを代表する端末として選び出す。次節では、温度と照度の2次元データについて、 $N = 30, K = 3$ として設定する。

4.2 稼働実験

本実験では、実験場所に設定した3種類の環境において、各端末で観測されたデータをクラスタリングすることで元のグループが再現されていることを確認する。無線出力を -9dbm に設定し、シンク端末までマルチホップで到達したパケットを5時間分実測し、各クラスタにグループを代表する端末が存在する回数を調査した。また、理論上、測定中のパケットは18000個届くため、これを分母とし、各グループにクラスタ代表端末が存在する割合も調べた。実験結果を表1に示す。表1より、基地局に近い第1クラスタでは、代表端末がほぼ必ず設定されている。これと比較して、第2グループには、クラスタ代表端末が設定されることは少なかった。この理由としては、実験場所の環境設定は、クラスタ間を明確に分けるものではなく、連続的に変化していることが挙げられる。その結果、第1グループに2つのクラスタ代表端末もしくは第3グループに2つのクラスタ代表端末が設定されることが多かったため、第2グループの端末がクラスタ代表として選ばれることが比較的少なかったと考えられる。

表1：クラスタリング結果

分類名	回数	割合
第1グループ	17223回	95.7%
第2グループ	11448回	63.6%
第3グループ	15131回	84.1%

したがって、クラスタリングにより端末のグループ化が再現可能であるため、クラスタ代表の設定によって、データ収集の際には全体として省電力化が達成できると考えられる。

5. まとめ

本稿では、大規模なエリアをカバーするセンサネットワークを構築するため、モバイルシンク方式を実現する際に、想定される幾つかの項目について、実験的な考察を行った。その結果、移動体および飛行体でモバイルシンクを構成する場合は、データ収集に有用なグループをクラスタリングで再現可能であることと、地表付近のデータ収集に有利なのは移動体、広範囲なセンサネットワークでの収集ならば飛行体と使い分けが出来ることが明らかとなった。

謝辞

最後に、実験データの計測・整理を手伝ってくれた、知能エレクトロニクス学科中山研究室の研修生の現役・OB諸君に感謝したい。

参考文献

- [1] H. Nakayama, N. Ansari, A. Jamalipour, N. Kato: Fault-resilient sensing in wireless sensor networks, Elsevier Journal on Computer Communications, , vol.30, issues 11-12, pp. 2375-2384, 2007年5月..
- [2] H. Nakayama, Z. Fadlullah, N. Ansari, N. Kato: A Novel Scheme for WSN Sink Mobility Based on Clustering and Set Packing Techniques, IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 56, issue 10, pp.2381-2389, 2011年10月.
- [3] Memsic社ウェブサイト: Iris MOTE, <http://www.memsic.com/products/wireless-sensor-networks.html>
- [4] Memsic社ウェブサイト: XMESH USER MANUAL, http://www.memsic.com/userfiles/files/User-Manuals/xmesh-user-manual-7430-0108-02_a-t.pdfhttp://www.memsic.com/userfiles/files/User-Manuals/xmesh-user-manual-7430-0108-02_a-t.pdf
- [5] Raspberry Pi 財団ウェブサイト: <https://www.raspberrypi.org/>
- [6] iRobot社ウェブサイト: <http://www.irobot.com/>
- [7] Sparkfun社ウェブサイト: <https://www.sparkfun.com/>
- [8] DJI社ウェブサイト: <http://www.dji.com/>
- [9] C.M. Bishop: Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006年8月.
- [10] 宮城 雄志郎, 佐々木 哲矢, 杉坂 光亮, 中山 英久: センサネットワークにおけるグループ化に関する考察, H25 東北地区若手研究者発表会, 2013年3月
- [11] 小原 裕太, 渡邊 大貴, 中山 英久: センサネットワークのクラウド連携に関する考察, H26 東北地区若手研究者発表会, 2014年3月.
- [12] 横山嘉克, 中山英久: 大規模センサネットワークにおける通信経路に関する考察, H28 東北地区若手研究者発表会, 2016年3月.