

# 5V-8 メタデータを用いた無線センサネットワーク向けデータ集約型通信の実装

鄭 認<sup>†</sup> 峰野 博史<sup>†</sup> 陳 恵芳<sup>†</sup> 爰川 知宏<sup>†††</sup> 小橋 喜嗣<sup>†††</sup> 水野 忠則<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 静岡大学情報学部 <sup>††</sup> 静岡大学創造科学技術大学院 <sup>†††</sup> NTT サービスインテグレーション基盤研究所

## 1 はじめに

阪神淡路大震災に代表される災害時には、初期の救援活動が極めて重要となる。一般的に災害時の要救助者の生存率は二日を越えると極めて低くなる [1]。しかも震災直後の一日目は特に混乱しているため、多数での救援活動は見込めない。そのため限られた数の救助隊員で生存者の位置のめぼしを早急に把握するために、無線センサネットワークのような小型の機械をばらまいて効率よく実施する方法が考えられる。しかし、無線センサネットワークを形成するセンサノードは一般的にバッテリーで駆動し、その駆動時間（ライフタイム）は制限されている。そのため、限られたバッテリーで最低でも丸二日程度は駆動することが望まれる。本稿ではこれまで検証を進めてきたメタデータを用いた無線センサネットワーク向けデータ集約型通信の効果を実環境で検証することを目的とする。

## 2 関連研究

データ集約型通信を実現する無線センサネットワーク向け通信プロトコルとして、LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) [2] がある。LEACH では、多数のセンサノードの中から代表ノードとしてクラスタヘッド (CH) を選出し、CH に近隣センサノードのセンシング情報を集約させて SINK ノードまで通信させる。さらに、CH を選出しなおすことで、エネルギー消費の負担を分散し、無線センサネットワーク全体のライフタイムを伸ばしている。

LEACH は確率を用いて CH を選出するが、より実際の環境を想定したクラスタリングプロトコルとして、近隣ノードとの距離や角度といったパラメータを利用して CH を選出する HEED [3] や、近隣ノードの数や送受信時の消費電力などを考慮して CH を選出する WCA [4] なども提案されている。ただし、多数のセンサノードが同じイベントを検知した際に、検知した全てのセンサノードがセンシング情報の送信を試みるため、CH と近隣センサノード間の通信量は変わらない。そのため、高密度な状況でも無線センサネットワーク全体のライフタイムを伸ばすことのできるデータ集約型通信が望まれている。

本研究グループでは、高密度な無線センサネットワークにおいて、CH と近隣センサノード間の通信量を削減する手法として、メタデータを用いたデータ集約型通信を提案している [5]。この手法では、近隣センサノードは、センシング情報に比べ情報量の少ないメタデータというものをを用いて、イベントを検知したことを CH に伝える (図 1(a))。CH は、同じイベントを検知した近隣ノードの中から、ある一つのセンサノードを選出する (図 1(b))。その後、CH によって選出された近隣センサノードのみが、センシング情報を CH に送信する (図 1(c))。このような通信形態をとることで、高密度な状況で同じイベントを多数のセンサノードが検知した場合でも、CH と近隣センサノード間の通信量を削減することができ、無線センサネットワーク全体のライフタイムを伸ばすことができる。

これまでのネットワークシミュレーションによって、センサノードが高密度な状況やセンシング情報とメタデータの比率が大きい際に、本手法の有効性が高いことが示されている。ただし、ネットワークシミュレーションでは、多くのパラメータを仮定した状況で評価しているため、実際に実環境でその有効性を検証する必要がある。

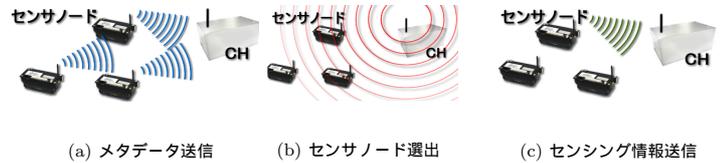


図 1 メタデータを用いたデータ集約型通信

本稿では、世界的に広く利用されているセンサネットワークプラットフォームである MOTE を用いて、メタデータを用いたデータ集約型通信の有効性を検証することを目的とする。

## 3 メタデータを用いたデータ集約型通信の実装

### 3.1 評価モデル

メタデータを用いたデータ集約型通信は、センサノードが高密度な状況や、センシング情報とメタデータのサイズに差が大きいときに有効である。そのため、対象とするセンシング情報としては音声や動画などを、イベント検知は加速度センサによるセンサノードの移動や測定された音量の変化などを想定することができる。ただし、実際にそのような状況を想定する前に、簡単な手法を用いてメタデータを用いたデータ集約型通信の効果を評価する方法を検討した。

例えば、光センサを利用することで、部屋の照明をつけたり消したりすることで、一斉に全センサノードが同じイベントを検知する状況を簡単に模擬することができる。また、多数のセンサノードを用いてクラスタリングプロトコルを実装し、実環境で評価することは困難なため、1台の SINK ノードを CH と見立て、16台のセンサノードを近隣ノードとした、部分的な高密度な無線センサネットワーク環境で評価する。1台の CH で管理される一部分の評価ではあるが、この部分ネットワークで有効性が示されれば、CH が複数存在する大規模な無線センサネットワークでもその傾向に大きな差はないと考える。

米国 Crossbow Technology 社が開発した無線センサネットワークプラットフォームを採用する。図 2 に評価モデルの概観を示す。センサとして MTS310 を使い、16台の MICAz (MPR2400J) へそれぞれ接続する。また 1台の MICA z はセンサを付けず、ノート PC と接続することで SINK ノードとし、CH を想定する。16台の無線センサノードは、0.5m 間隔で格子状に配置するとともに、全ての無線センサノードが蛍光灯の光を検知できるようにする。また、メタデータとセンシング情報は、30Byte と 80Byte のダメージデータを送信するようにし、とりあえずデータサイズの比率を 1 : 3 とする。このような環境で、メタデータを用いたデータ集約型通信と、メタデータを用いないデータ集約型通信を用いた際の、無線センサネットワーク全体のライフタイムにどれほど差が生じるかを評価する。

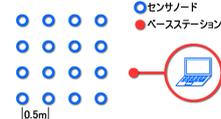


図 2 想定した実験環境

### 3.2 ライフタイムの定義

評価パラメータである無線センサネットワーク全体のライフタイムの定義方法について検討する。ネットワークシミュレーションでは、センサノードがデータの送受信によって電力を消費し、ネットワーク内のいずれかのセンサノードがデータ送信不能になるまでをライフタイムと定義した。しかし、実際のセンサノードでは、動作時間は電池個体の容量、温度、湿度の変化により変わることがある。それに対して、送受信データ量ライフタイムは、センサノードが送受信したデータをカウントし、送受信データ量がある値に達した時間をライフタイムと定義する。送受信量は外部環境に依存しないが、

Implementation of A Meta-Data-Based Data Aggregation Scheme in Wireless Sensor Networks

Yi Zheng<sup>†</sup> Hiroshi Mineno<sup>†</sup> Huifang Chen<sup>†</sup> Tomohiro Kokogawa<sup>†††</sup>  
Yoshitsugu Obashi<sup>†††</sup> Tadanori Mizuno<sup>††</sup>

<sup>†</sup>Shizuoka University Faculty Of Informatics

<sup>††</sup>Shizuoka University Graduate School of Science and Technology

<sup>†††</sup>NTT Service Integration Laboratories

センサノードの各モジュールの電力消費量によって、送受信量でライフタイムの評価ができない場合もあるために、本稿では MOTE におけるライフタイムに関する基礎実験を行い、ライフタイムの評価関数を導入する。評価関数は 3.3 節で述べる。

### 3.3 ライフタイムを評価する基礎実験及び評価関数の定義

通常では無線センサノードは、センサボード、制御または計算を行うマイコン、無線通信モジュールから構成される。ライフタイムを評価する基礎実験では、0.5 秒間隔で 90Byte のパケットを送信するプログラムを使用し、センサボード MTS310 を MICAz に乗せるセンサノード 3 個 (ID:1,2,3) と乗せないノード (ID:4,5) 2 個で実験を行う。センサノードが送ったすべてのパケットをファイルに記録する。実験結果は表 1 に示す。表 1 では、セ

表 1 基礎実験の結果

ノード ID	送信回数	終了時間 (s)	回数/時間
1	789831	376282	2.0990
2	795973	379214	2.0990
3	792326	377479	2.0990
4	816227	388849	2.0991
5	800712	381480	2.0990

ンサボードがない場合とある場合の送信回数および送信時間の差は 0.59% ~ 3.23% しかないため、センサボードはセンサノードの電力消費への影響が少ないと考えられる。また、マイコンと送信と受信消費電流比率は 12:17:19.7 [6] であり、マイコンは常に同じ速度で動作するため、すべてのセンサノードは計算に使われる電力消費が同じになることが考えられる。さらに、表 1 からセンサノードの送信回数と送信時間の比率はほぼ一定であることがわかる。そのため、送受信量データ量でライフタイムを評価することができる。しか

$$\epsilon_{sr} = \epsilon_{send} \times S \times N_{send} + \epsilon_{rece} \times R \times N_{rece} \quad (1)$$

かかって、センサノード電力消費は送受信電力消費

で評価することができる。S は送信データのバイト数、R は受信データのバイト数、 $N_{send}$  は送信回数、 $N_{rece}$  は受信回数、 $\epsilon_{send}$  は送信消費電流、 $\epsilon_{rece}$  は受信消費電流。 $\epsilon_{send}$  と  $\epsilon_{rece}$  の比率は 17:19.7 である [6]。式 1 から電力消費評価値

$$E = \frac{\epsilon_{sr}}{\alpha} = 17 \times S \times N_{send} + 19.7 \times R \times N_{rece} \quad (2)$$

になる ( $\alpha$  は定数)。本稿の性能評価におけるライフタイムは評価値 E に到達する時間と定義する。

## 4 プロトタイプの実装および評価

### 4.1 プロトタイプの実装

複数センサノードが 0.5 秒間隔でイベントを検知する、検知した場合メタデータを通じてベースステーション (CH) に送信。メタデータには、光の閾値情報、電力情報を持っている、メタデータ大きさは 30Byte になる。

ベースステーション (CH) がメタデータを受け取った後に、5 秒以内に複数センサノードからメタデータが届いた場合、センサノード選出を行う。一つセンサノードしかメタデータが届いた場合に、そのセンサノードを選出する。

広域センサネットワークの場合、複数ノードから送信されたメタデータから、もっとも信頼できるノードを選出し、そのノードが持つセンサーセンシング情報をもらう必要がある。ノード選出パラメータは、電池残量、5 秒以内の送信回数、センサ値の大きさなどと考えられる。今回の実装の対象範囲は 1.5m x 1.5m であり、16 個のセンサセンシング情報がどれでも信頼できるため、評価値 E がもっとも小さいノードを選出する。

センサノードを選出した後に、ベースステーションはブロードキャストで要求パケットを送信する。要求パケットには、「センシング情報を要求するセンサノードの ID」を含まれ、17Byte のデータになる。

センサノードが要求パケットを受信した場合、要求パケットの「センシング情報を要求するセンサノードの ID」に参照、センサノード自体の ID と一致する場合に、センシング情報をベースステーションに送る、なお、実験に

おいては、90Byte のメタデータを送信する。メタデータとセンシング情報の比率は 1 : 3 である。

### 4.2 プロトタイプにおけるライフタイムの評価

4.1 節から、メタデータ大きさ 30Byte、要求データの大きさ 17Byte、センシング情報の大きさ 90Byte を式 2 に代入すると。

$$E = 17 \times (30 \times N_{meta} + 90 \times N_{sensing}) + 19.7 \times 17 \times N_{request} \quad (3)$$

になる。式 3 の E を 3000000 に設定し評価を行う、センサノード自身で E の計算を行い、E が 3000000 に達したら、終了パケットを送信し、送信動作を停止する。従来方式ではメタデータを送信せず、0.5 秒間隔で 90Byte のセンシング情報のみ送信する。従来方式と提案方式の比較を図 3 に示す。

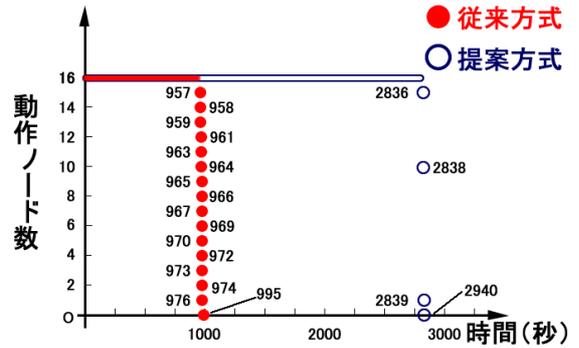


図 3 従来方式と提案方式の比較

従来方式のライフタイムは平均 970 秒台に対して、提案方式のライフタイムは 2830 秒台になったため、メタデータを用いたデータ集約型通信はライフタイムの改善につながると考えられる。さらに、従来方式の場合、1 個目と 16 個目のセンサノードのライフタイム差は 38 秒であるが、提案方式では 4 秒までに改善することができたため、メタデータを用いたデータ集約型通信は従来方式より、センサノードと CH 間の電力消費をさらに分散し、無線センサネットワーク全体の安定性を向上する効果も考えられる。

## 5 まとめ

本稿は無線センサネットワークのライフタイムを伸ばすためのメタデータを用いたデータ集約型通信の効果を実環境で検証するために、MOTE センサノードを用いて、実環境におけるライフタイムを定義する基礎実験を行った。さらに、CH 固定した場合のデータ集約型通信方式を実装し、従来方式との比較を行い、実環境でも、メタデータを用いた集約型通信はライフタイムの観点から、有用な方式であることが示された。本稿ではセンサノードと CH 間の通信に注目したが、今後実環境でクラスタリングプロトコルを実装し、その結果に踏まえて、実環境に対応できるプロトコルを検討する必要もある。

### 参考文献

- [1] 兵庫県警察本部, “震災当日の救助・捜索状況” 阪神・淡路大震災 警察活動の記録 都市直下型地震との闘い, 1996, pp.71-75.
- [2] W.R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, “An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks”, IEEE Trans. on Wireless Communications, Vol.1, No.4, Oct 2002, pp.660-667.
- [3] O. Younis, and S. Fahmy, “HEED: A Hybrid, Energy-Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad-hoc Sensor Networks”, IEEE Trans. on Mobile Computing, Vol3, No.4, 2004, pp.660-669.
- [4] M. Chatterjee, S.K. Das, and D. Turgut, “WCA: A Weighted Clustering Algorithm for Mobile Ad Hoc Networks”, Cluster Computing, Vol.5, 2002, pp.301-322.
- [5] Huifang Chen, Hiroshi Mineno, Tadanori Mizuno, “A Meta-Data-Based Data Aggregation Scheme in Clustering Wireless Sensor Networks” MLASN2006. May 2006, pp.43-49.
- [6] Crossbow Technology, Inc. “MPR2400J/420/520 MIB User’s Manual” July 2006, p.22.