

無線センサネットワークにおけるポテンシャルルーティングに基づく 下り方向通信実現手法の提案と評価

豊永 慎也[†] 小南 大智[†] 菅野 正嗣^{††} 村田 正幸[†] 畠内 孝明^{†††}

[†] 大阪大学大学院情報科学研究科、吹田市山田丘 1-5

^{††} 大阪府立大学現代システム科学域知識情報システム学類、堺市中区学園町 1-1

^{†††} 富士電機、日野市富士町 1

E-mail: [†]{s-toyonaga,d-kominami,murata}@ist.osaka-u.ac.jp, ^{††}sugano@kis.osakafu-u.ac.jp,

^{†††}hatauchi-takaaki@fujielectric.co.jp

あらまし 無線センサネットワークでは、多数のセンサノードが観測したデータをシンクノードに届けるため通信形態は多対一となる。このような、センサノードからシンクノードにデータを送る上り方向通信を実現する手法は数多くある。一方で、シンクノードから特定のセンサノードにクエリを送る下り方向通信への要求がある。本稿ではポテンシャルルーティングを用いて下り方向通信を実現する手法を提案し評価する。提案した手法について、データの到達率が95%以上であることを示した。

キーワード センサネットワーク、ポテンシャルルーティング、下り方向通信、シミュレーション

Potential-based Downstream Routing for Wireless Sensor Networks

Shinya TOYONAGA[†], Daichi KOMINAMI[†], Masashi SUGANO^{††}, Masayuki MURATA[†], and
Takaaki HATAUCHI^{†††}

[†] Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University, Osaka, Japan

^{††} School of Knowledge and Information System, Osaka Prefecture University, Osaka, Japan

^{†††} Fuji Electric, Tokyo, Japan

E-mail: [†]{s-toyonaga,d-kominami,murata}@ist.osaka-u.ac.jp, ^{††}sugano@kis.osakafu-u.ac.jp,

^{†††}hatauchi-takaaki@fujielectric.co.jp

Abstract In wireless sensor networks designed for periodic monitoring, various many-to-one routing protocols have been studied. In these networks, unicast messages for special instructions toward a certain node are not taken into consideration. In this report, we propose a potential-based downstream (sink-to-sensor) routing. Through simulation experiments, we show that PBDSR attains more than 95 % of the packet delivery ratio.

Key words Sensor networks, Potential-based routing, Downstream, Simulation

1. はじめに

近年、無線ノード同士が自律的にネットワークを形成する無線センサネットワークでは、特別なインフラストラクチャを必要とせずに観測情報を収集することが可能なため、その汎用性に注目が集まっている。情報収集を行う無線センサネットワークでは、複数のセンサノードが観測したデータをシンクノードに届ける、上り方向多対一の通信形態となるルーティングアルゴリズムが多く提案されている。一方でアプリケーションによっては、シンクノードから特定の領域に存在するセンサノードに対してクエリを送る下り方向通信に対する要求がある。ポテンシャルルーティングは上り方向通信のために提案されたルーティング手法であり、局所的な情報交換のみで動作するためスケラビリティが高く、省電力化、負荷分散に効果があることが知られている [1]。ポテンシャルルーティングでは各ノ

ードはポテンシャルとよばれるスカラー値をもち、その値に基づいてルーティングを行う。各ノードは自身および隣接ノードのポテンシャルや残余電力などの局所情報を元にして自身のポテンシャルを決定する [1]。このとき各センサノードはシンクノードまでのホップ数が小さいノードほどポテンシャルが低くなるように自身のポテンシャルを決めており、自身よりもポテンシャルが低い隣接ノードを次ホップとして選択することによって、シンクノードへとデータを届けることができる。容量が有限のバッテリーで駆動するセンサ端末を用いる無線センサネットワークにおいては、省電力化は重要な課題であり、ポテンシャルルーティングは無線センサネットワークに適したルーティング手法である。しかし、ポテンシャルルーティングでは下り方向通信に適用できない。

そこで本稿では、ポテンシャルルーティングを用いたマルチシンク無線センサネットワークを対象として、ポテンシャル場

を用いた下り方向通信を実現する方法を提案する。

2. 下り方向通信の実現手法

2.1 ノード識別手法の提案

既存のポテンシャル場の構築方法では、同じポテンシャルの値をもつノードが複数存在するため、その中の一つに確実にデータが届けることができない。そこで、複数のシンクノードがそれぞれ異なるポテンシャル場を構築し、各ノードがポテンシャルの組み合わせを座標としてもつことで各ノードを識別する。本稿では文献 [2] と同様に拡散方程式を用いてシンクごとにポテンシャル場 F_i ($i = 1, \dots, N$) を構築する。

ポテンシャル場の構築には式 (1) を用いており、 $\phi(n, t, i)$ は時刻 t における、ノード n のポテンシャル場 F_i ($i = 1, \dots, N$) のポテンシャル値である。 $Z(n)$ はノード n における隣接ノードの集合であり、 $|Z(n)|$ はその数である。

$$\phi(n, t+1, i) = (1-\epsilon) \cdot \phi(n, t, i) + \frac{\epsilon}{|Z(n)|} \sum_{k \in Z(n)} \phi(k, t, i) \quad (1)$$

また、ネットワーク全体のポテンシャル値がシンクノードのポテンシャル値に収束することを防ぐために式 (2) の境界条件を用いる。 S はシンクノードの集合である。 $type(s)$ はシンクノード s が構築するポテンシャル場であり、 F_i ($i = 0, \dots, N$) のいずれかを表す。

$$\forall s \in S, \phi(s, t, i) = \begin{cases} \phi_{min} & \text{if } i = type(s) \\ \phi_{max} & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

2.2 ルーティング手法の提案

本稿ではシンクノード間には有線で接続されていることを前提としているため、シンクノード間でセンサノードのポテンシャルを共有することができる。また、下り方向通信をするとき、シンクノードは有線を用いて宛先ノードに最も近いシンクノードに送ることができるものとし、そのシンクノードから下り方向通信を開始する。

ポテンシャルの組を仮想的な座標として扱い、ノード間の仮想的な距離 (ポテンシャル距離) を定義してルーティングのメトリックとすることで、各ノードは宛先ノードに近づくようなノードを次ホップとして選ぶ。ノード a のポテンシャル場 F_i のポテンシャルを $F_i(a)$ とし、ノード a とノード b のポテンシャル距離 $Dist_p(a, b)$ を式 (3) のように定義する。

$$Dist_p(a, b) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (F_i(a) - F_i(b))^2} \quad (3)$$

シンクノードがデータパケットに宛先ノードのポテンシャルを含め、センサノードはデータパケットを受信したときに、この値に基づき宛先ノードと各隣接ノードとのポテンシャル距離を求める。各ノードは宛先ノードへのポテンシャル距離が最も小さくなるノードを次ホップとして決定する。

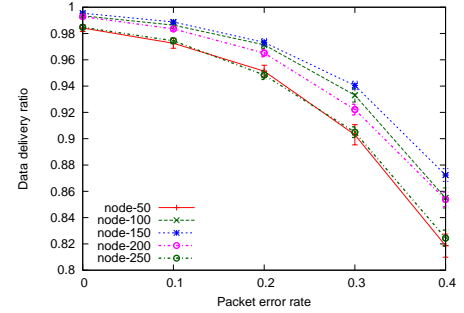
3. シミュレーションによる評価

ネットワークモデルとして 600m 四方の領域にセンサノードを 50 個から 250 個まで変化させ、シンクノード 4 個をネットワークの端に配置した。シミュレーションは、Omnet++ [3] で提案手法を記述したプログラムを表 1 の設定で実行した。パケット損失率を 0 から 0.4 まで変化させた場合の結果、データ到達率を図 1(a)、1(b) に示す。信頼区間は 95% である。

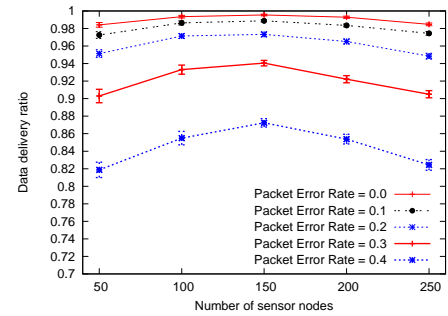
ノード密度が小さいときネットワーク全体のリンク数が少なく、宛先ノードにデータが届けるためには最短経路で送ることができず、式 (3) が大きくなるノードを経由しなければ宛先ノードに届けることができない場合が多いため、データ到達率が小さい。一方でノード密度が大きくなるにつれてネットワー

表 1 シミュレーションモデル

パラメータ名	値
通信可能範囲	100 m
最大中継回数	15
データパケットサイズ	128 byte
無線速度	100 kbps
ポテンシャル更新時の係数 ϵ	0.8
各ノードのポテンシャル更新周期	50 秒



(a) パケット損失率とデータ到達率



(b) ノード密度とデータ到達率

図 1 シミュレーション結果

ク全体のリンク数が増え、式 (3) が大きくなるノードを経由せずに宛先ノードに届けることができるため、データ到達率が上昇している。しかし、ノード密度をより大きくすると隣接ノード数が増えるためパケットが衝突しやすくなり、データ到達率が小さくなっている。その結果、センサノード数が 150 の場合が最もデータ到達率が大きくなっている。このとき、ノードあたりの平均隣接ノード数は 16.7 である。

4. まとめ

提案した手法について、データの到達率が 95% 以上であることを示した。今後の課題として、シンクノードの数だけポテンシャル場を構築すると交換するメッセージサイズが大きくなるため、シンクノードを増やした場合にスケーラビリティのある下り方向通信実現方法の検討が挙げられる。また、ノード故障に対するロバスト性の評価が挙げられる。

謝辞 本研究の一部は科学研究費基盤研究 (C)23500097 によるものである。ここに記して謝意を表す。

文献

- [1] C. Wu, R. Yuan, and H. Zhou, "A novel load balanced and lifetime maximization routing protocol in wireless sensor networks," Proc. IEEE VTC 2008 Spring, pp.113–117, May 2008.
- [2] D. Kominami, M. Sugano, M. Murata, and T. Hatauchi, "Controlled potential-based routing for large-scale wireless sensor networks," Proc. ACM MSWiM 2011, pp.187–195, 2011.
- [3] A. Varga, "Omnet++," Modeling and Tools for Network Simulation, pp.35–59, Springer Berlin Heidelberg, 2010.