

ノード配置に偏りがあるワイヤレスセンサネットワークのための情報集約を用いたバッテリー残量に基づくルーティングプロトコル

大淵祐輝† 木村成伴‡

筑波大学情報学群情報メディア創成学類† 筑波大学システム情報系情報工学科‡

1. はじめに

ワイヤレスセンサネットワークは、温度・湿度・圧力などの情報を取得するセンサを持ったノードからなる無線ネットワークである。医療、消防、交通、建築などの幅広い分野で利用されている[1]。例えば、道路の渋滞状況をリアルタイムに把握する、建物の劣化具合を定期的に取り得るなどの応用が考えられる。

センサ端末はバッテリーの電力によって動作するが、端末が小型であるため搭載することができるバッテリーの容量には限界がある。さらに、設置する場所によってはバッテリー交換を頻繁に行うのは困難である。そのため、ワイヤレスセンサネットワークには高い電力効率が求められる。

ワイヤレスセンサネットワークの電力効率を高める手法としては、デューティサイクルがある。この手法では、センサノードのアクティブモードとスリープモードを周期的に繰り返す。アクティブモードの時にのみ通信を行い、スリープモードの時には通信機能をオフにすることで、電力の消費を抑える。

E-MAC[2]はデューティサイクルを採用したワイヤレスセンサネットワークの省電力化プロトコルであるが、均一なノード配置を仮定しており、ノード配置に偏りがある場合を考慮していなかった。本論文では、中継先ノードのバッテリー残量を参照し、よりバッテリー残量が多いほうを優先的に中継先として選ぶ手法を提案する。これにより負荷の集中を防ぎ、ネットワーク寿命を延長する。さらに、バッテリー残量が残り少ない中継ノードにおいてはデータをまとめて送ることで送信頻度を減らし、電力消費を抑える。最後に、提案方式の有効性を評価するためのシミュレーション実験について述べる。

2. E-MAC

E-MAC[2]では、図1に示すように、シンクノードからのホップカウントに応じてセンサノードを同心円状にグループ分けする。ここで、シンクノードと直接通信できるノードはグループC1に、2ホップで通信できるノードはグループC2に属することとなる。

このような設定では、内側のグループのノードほど外側から来たデータの中継が多く発生するため、負荷が高くなる。E-MACでは、グループごとの負荷の比を推定し、デューティサイクルにおけるアクティブ時間の割合を調整することで電力効率の向上を実現している。

負荷の比は漸化式(1)によって推定される。

$$T_{C_i} = 1 + \frac{|C_{i+1}|}{|C_i|} \times T_{C_{i+1}} \quad (1)$$

ただし、 T_{C_i} はグループ C_i のセンサノードにかかる負荷を表している。 $|C_i|$ はグループ C_i が占める環状の領域の面積である。3つのグループC1, C2, C3からなるネットワークについて式(1)を計算すると式(2)が得られる。

$$T_{C_1} : T_{C_2} : T_{C_3} = 9 : \frac{8}{3} : 1 \quad (2)$$

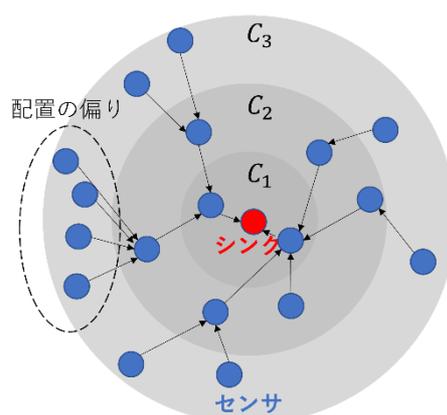


図1 E-MAC[2]によるノードのグループ分け

E-MACでは、初期状態でシンクノードは中継回数を1にしたINITパケットをブロードキャストする。これを受信したノードは、初回時のみ、中継回数から所属グループを認識するとともに、中継してきたノードをシンクノードへの中継先

A Routing Protocol Using Information Aggregation Based on Residual Capacity of Batteries for Wireless Sensor Networks with Non-Uniform Node Position

Yuki Ofuchi† and Shigetomo Kimura‡

†College of Media Arts, Science and Technology, University of Tsukuba

‡Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

とする。さらに、中継回数を1増やした INIT パケットをブロードキャストする。図 1 で、シンクノードへの中継先を矢印で示しているが、図 1 左の点線内に示すようにノード配置に偏りがある場合、一つのノードにデータを中継する負荷が集中し、早期にバッテリー切れを起こすおそれがある。バッテリー切れを起こすと、そのノードを中継先としていたノードもシンクノードへの通信ができなくなってしまう。

3. 提案方式

前章で述べた E-MAC の問題点を改善するため、提案方式では、INIT パケットをブロードキャストするとき、自身の所属グループとバッテリー残量を格納して中継する。図 2 に示すように、最初だけでなく、2番目までに INIT パケットを中継してきた内側のグループのノードのアドレスとバッテリー残量を中継先テーブルに格納する。

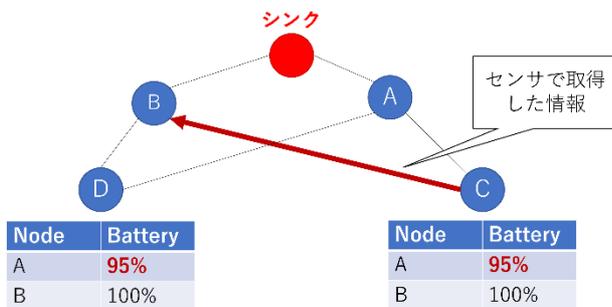


図 2 提案方式におけるデータの送信

各ノードは自身のバッテリー残量がある程度減少したら、現在のバッテリー残量をブロードキャストする。このノードをシンクノードへの中継先に行っているノードは、中継先テーブルのバッテリー残量の項目を更新する。

シンクに向けて送信すべきデータがあるときは、自身が持つ中継先テーブルのバッテリー残量の項目を参照し、バッテリー残量がより多いノードを優先して中継する。図 2 の例では、ノード C はノード A と B を中継先としているが、よりバッテリー残量の多いノード B に中継している。

さらに、各ノードはデータの中継を行う際に、情報の集約を行う。データを受け取ったときは、自身のバッテリー残量を参照し、閾値よりも高ければ直ちに次の宛先へデータを中継する。閾値よりも低ければ、受け取ったデータはメモリに入れておき、次のデータを待ってまとめて送信する。これにより、データの送信頻度を減らし、電力消費を抑えてバッテリー寿命を延長する。

4. シミュレーション実験

本章では、提案方式の有効性を評価するため

のシミュレーション実験について述べる。実験には ns3.33 を使用する。実験パラメータは、文献[2]を参考にして表 1 のように設定する。そして、半径 250m の円の中心にシンクノードを 1 台、円内に 100~500 個のセンサノードをランダムに配置する。このとき、ノード配置の偏りを再現するため、円内の四分円の領域（円の中心を XY 平面の原点に置いたときの、第二象限の部分）にノードを配置する確率を高くする。そして、各センサノードは、CBR (Constant Bit Rate) でデータをシンクへ送信する。但し、衝突する確率を下げるため、送信開始後 0~4ms のランダム時間後に送信を開始する。

表 1 実験パラメータ

センサノードの通信範囲	75m
バッテリー容量	150J
データパケットのサイズ	128 バイト
通信速度	250kbps
送信時の消費電力	1.35W
受信時の消費電力	0.9W
アイドル時の消費電力	0.74W
スリープ時の消費電力	0.05W

5. まとめ

本論文では、各ノードが持つバッテリー残量の情報を活用し、ワイヤレスセンサネットワークの寿命を延長する手法を提案した。今後は、シミュレーション実験を行い、提案方式の有効性を評価する。

参考文献

- [1] Masood Ur Rehman, Irfan Uddin, Muhammad adnan, Asadullah Tariq, and Sheheryar Malik, "VTA-SMAC: Variable Traffic-Adaptive Duty Cycled Sensor MAC Protocol to Enhance Overall QoS of S-MAC Protocol", IEEE Access, Vol. 9, pp. 33030-33040, 2021.
- [2] Chih-Min Chao and Cheng-Hong Jiang, "Energy Efficient Protocol for Corona-Based Wireless Sensor Network", Proceedings of 19th IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD), pp. 259-264, 2018.