

## ABS-2-8

# センサーネットワークにおける複数 sink を用いた消費電力均衡化方式

## Power consumption flattening with multiple sinks in sensor networks

鈴木孝明 萬代雅希 渡辺尚  
Takaaki Suzuki Masaki Bandai Takashi Watanabe

静岡大学情報学部  
Faculty of Informatics, Shizuoka University

### 1. はじめに

近年、小型無線端末に小型センサを組み込んだセンサノード[1]で、無線ネットワークを形成するセンサネットワークが注目されている。センサネットワークにおける、省電力化を目指した研究が盛んに行われている。

電力消費の原因の一つにパケットの中継による電力消費がある。各ノードが sink に向かってマルチホップ通信を行うセンサネットワークでは、sink に近いセンサノードほど他のセンサノードのパケットの中継により電力消費が大きくなる。また、ネットワークの全体において地理的に観測データ発生量が異なるセンサネットワークでは、パケット中継の地理的偏りが生じ、各ノードの電力消費が偏る。これにより、一部のノードが早期にバッテリー枯渇し、ネットワークの長寿命化が困難となる。

本稿では、まず関連研究を述べ、その後従来の研究では解決できない問題について解決策を提案する。

### 2. 関連研究

パケット中継による電力消費問題の解決策に、ルーティング技術におけるデータ集約方式(Directed Diffusion[2])がある。データ集約方式ではパケット中継の際に、複数のパケットにおける冗長部分を集約し送信する。これにより、sink に近くなるほどパケットサイズが大きくなることを軽減できる。しかし、データ集約方式は必ずしもすべてのデータに適用できない。

また、複数の sink を用いて負荷分散を図ることでパケット中継による電力消費を低減する技術[3]がある。この技術では、各ノードは自身に一番近い sink にパケットを届ける(Nearest Sink 送信方式=NS 送信方式)。各 sink がネットワークを分割管理することで sink 周辺にかかる負荷を小さくする。しかし、観測データ発生が地理的に偏ると、データ発生量の大きいエリアから sink への経路上のノードにおいて早期にバッテリーが枯渇し、そのエリアはセンシング不能となる。

本研究では、複数の sink を用いることで、観測データ発生量の偏りによって生じるバッテリー消費の偏りを解決する。なお、今回は簡単のため2つの sink を考える。

### 3. 基礎評価

センサノードが配置されたエリアの両端に2つの sink ノードを設置したネットワークを仮定する。2つの sink はホップカウントを1に設定し制御パケットをブロードキャストする。各ノードは制御パケットを受信するとホップカウントを1つ増やして再びブロードキャストする。これにより、各センサノードは二つの sink からのホップ数を知り、

自身からより近い sink を届け先 sink とする。図1にホップカウント制御パケットをフラッディングした後のネットワーク状態を示す。

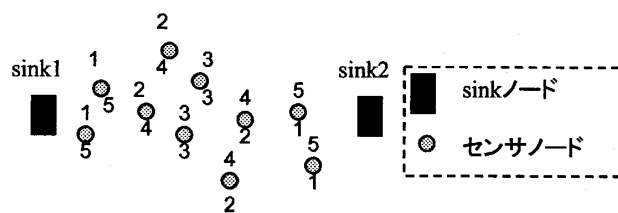


図1.ホップカウント状態

図1において各センサノードの上部の数値が左の sink からのホップ数、下部の数値が右の sink からのホップ数とする。

ネットワーク全体において観測データ発生が地理的に偏った場合、ネットワークの一部にパケット中継の負荷が偏らないようにする必要がある。本研究では、データ発生量が大きいノードは2つの sink へとデータを分散して送信することで、1つの sink までの経路上のノードでの電力消費を小さくする。この送信方式をDOP(Dispersal Of Packet)送信方式と名づける。図2に基礎評価として、一方の sink へ送信するデータの比率  $R$  に対するネットワーク寿命特性を示す。ここでは、直線状に等間隔で5つのセンサノードを配置し、左から2番目のノードに他のノードの2倍の観測データ発生量を与えたネットワークを仮定する。図2は、左から2番目のノードにおける、左の sink への送信割合の変化によるネットワーク寿命の変化である。また、ネットワーク寿命を、どれか1つのノードのバッテリーが枯渇するまでの時間と定義する。

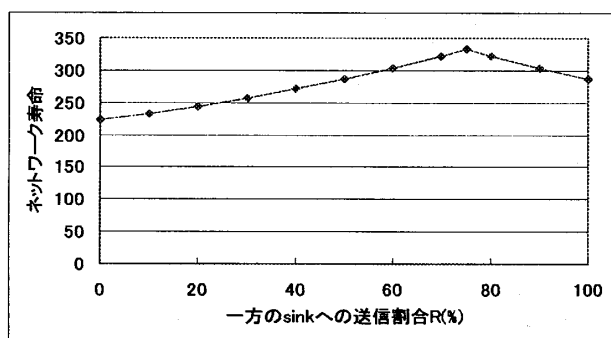


図2.送信割合の変化によるネットワーク寿命

図2より、ネットワーク全体において観測データ発生量が偏る場合、ある一定の割合でDOP送信をおこなうことで、ネットワーク寿命の延長が図れることが示される。

#### 4.提案方式

提案方式は、基本的には NS 送信モードで送信をし、その後 sink から DOP 送信モードへの切り替えを各ノードに指示する方式(NS+DOP 送信方式)である。sink はノードごとの観測データ発生量を測定し、すべてのノードの総和を算出することで、受信した総観測データ発生量  $Ad$  を算出する。また、sink は 1 ノードあたりの観測データ発生量の平均を求める。提案方式では、1 ノードあたりのデータ発生量にスレッシュホールド  $NTh$  を設定し、データ発生量が大きく  $NTh$  を越えるノードは、DOP 送信モードへと遷移する。ここで、2 つの sink1,2 が存在する場合の提案方式の動作のアルゴリズムを図 3 に示す。

```

0:  If( $Ad2 < Ad1$ ) else to 3
1:  If( $NTh1 < d$ ) else to 3
2:  DOP 送信モードへ移行
3:  If( $Ad1 < Ad2$ ) else to 6
4:  If( $NTh2 < d$ ) else to 6
5:  DOP 送信モードへ移行
6:  end.
    
```

図 3.提案方式のアルゴリズム

図 3 において  $d$  はあるノードのデータ発生量、 $Ad1$  は sink1 に到着した総データ発生量、 $Ad2$  は sink2 に到着した総データ発生量である。また、 $NTh1$ ,  $NTh2$  は sink1, sink2 が管理するエリアでの DOP 送信へのスレッシュホールドをそれぞれ表す。

図 3 のアルゴリズムに従い、sink は DOP 送信をおこなうノードを決定する。また、各ノードにおける DOP 送信の割合を決定する。DOP 送信の割合は、簡単のためにホップ数のみを考慮する。送信割合は 2 つのホップ数からそれぞれのホップ数の比によって求める。以下に、DOP 送信の割合を表す式(1)を示す。

$$\text{sink1 への送信割合} = \text{hop}_{\text{sink2}} / (\text{hop}_{\text{sink1}} + \text{hop}_{\text{sink2}}) \quad (1)$$

#### 4. 性能評価と考察

観測データ発生量が偏るネットワークにおける、NS+DOP 送信方式の有用性を示すために、計算機シミュレーションによる性能評価をおこなう。図 4 にシミュレーションモデル、表 1 にシミュレーション環境を示す。

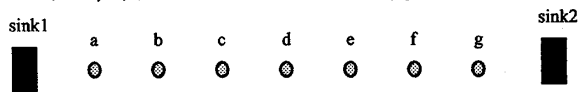


図 4. シミュレーションモデル

表 1. シミュレーション環境

ノード配置	等間隔直線配置
ノード数	7
ノードのバッテリー量	10,000
データ量と送受信電力の比	1

シミュレーションでは、ネットワーク寿命を 1 つのノードがバッテリーを使い切るまでの時間と定義する。2 つの条件で、従来の NS 方式と、提案する NS 送信と DOP 送信の併用方式との比較をおこなう。

1. 定位置のセンサノードにデータ発生量が偏る場合。

ノード C 以外のノードに単位時間あたり 10 のデータ発生量を与え、ノード C の単位時間あたりのデータ発生量を 20 から 50 まで変化させる。図 5 にネットワーク寿命の特性を示す。

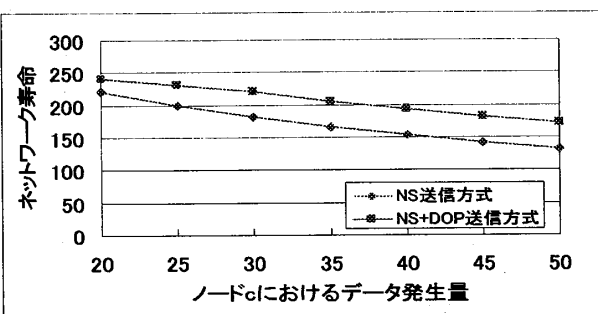


図 5. ネットワーク寿命特性

図 5 より、パケットが 2 つの sink に分散されて届いたため、DOP 送信の方がネットワーク寿命が長くなるのが分かる。

2. ランダムにデータ発生する場合。  
各センサノードに、0~49 の単位時間あたりのデータ発生量を与え、ネットワークの寿命が切れるまで送信をおこなう。表 2 にランダムなデータの発生パターンと、NS 送信方式と NS+DOP 送信方式の比較を載せる。

表 2. ランダムなデータ発生での比較

回数	NS 送信	NS+DOP 送信	ランダム配置(左から, a,b,c,d,e,f,g のデータ発生量)
1	83	83	11 6 9 26 47 22 38
2	138	140	7 20 43 4 14 27 14
3	115	115	32 6 36 13 28 25 27
4	65	76	42 47 46 36 23 16 48
5	106	122	36 7 37 28 12 2 24
平均	101.4	107.2	

表 2 より、各センサノードにランダムなデータ発生を与えたネットワーク環境では、NS 送信方式と NS+DOP 送信方式にそれほど差が現れなかった。ランダムな値により、負荷が分散され、ネットワーク全体として偏りが少なかったため、DOP 送信の効果がほとんど現れなかったと考えられる。DOP 送信は、偏りがはっきりしているネットワークに適している。

#### 5. まとめ

本稿では、データ発生の変りによる問題の解決策を提案し、計算機シミュレーションによって基礎評価を行い、提案方式の有効性を示した。

今後は、センサノードが 2 次元に配置されたネットワークでのシミュレーションによる評価をおこなう。

#### 参考文献

- [1] <http://www.analog.com>
- [2] Chalermek Intanagonwiwat, Ramesh Govindan, Deborah Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," in Proc. of ACM Mobicom, pp.55-67, 2000.
- [3] Henri Dubois-Ferriere, Deborah Estrin "Efficient and Practical Query Scoping in Sensor Networks" in Proc of CENS2004