

環境発電型 WSN におけるデータ到達率向上方式について

稲葉 友紀[†] 渡辺 尚[†]

[†] 静岡大学情報学部

1 はじめに

近年、太陽光や熱、振動から電力を供給する環境発電技術 (以下 EH) が無線センサネットワークの電力源として注目されている [1]。EH は電力供給が不安定なため、従来のバッテリーを想定したプロトコルでは、効率のよいデータ収集を行うことができない。

本稿では、EH を用いた無線センサネットワークにおいて高いデータ収集効率を達成することを目的とし、各ノードごとに通信距離を設定し、送信電力を制御する方式を提案する。

2 システムモデル

各ノードは、EH デバイスから電力を供給し、その電力でセンシング及びデータの送受信を行う [2]。送受信可能電力まで電力を充電後、データを中継するため一定期間受信状態を設ける。受信状態終了時にキューに中継データおよび自ノードで発生したデータが存在した場合のみ、送信チャネルがアイドルであればデータを 1 つブロードキャスト送信する。その後、再び送受信可能まで電力の充電を開始する。以上の動作を各ノードが繰り返し行い、マルチホップでシンクまでデータを届ける。

図 1 のように、EH のノードは電力の充電と消費のサイクルを繰り返すため、ノードは常に受信可能とは限らない。また、充電レートは環境に依存する。そのため、充電時間の予測が困難であり、中継データの欠落が発生し、シンクまでのデータ到達率が低下する。

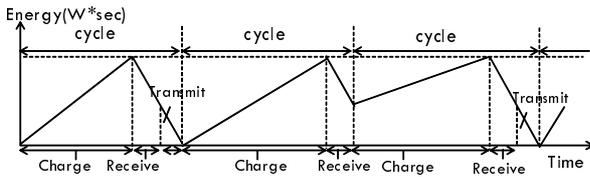


図 1: EH ノードの電力モデル

3 基礎評価

3.1 通信の定式化

図 2 のように送信ノード i の周辺にノードがランダムに配置されている場合を考える。 i からのデータを受信するノードを j とする。 i が j に送信するデータ数を $T_{i,j}$ 、 i から j への受信確率を $P_{i,j}$ 、 i と j の距離を $D_{i,j}$ 、 i の通信距離を r_i 、 i のセンシングデータ数を S_i

としたとき、 i の通信範囲内にある j の受信データ数 R_j は次式となる。

$$R_j = \sum_{1 \leq i \leq n, D_{i,j} \leq r_i} P_{i,j} T_{i,j} \quad (1)$$

n は全ノード数であり、 j が送信すべきデータ数は $R_j + S_j$ である。 j が k に送信するデータ数 $T_{j,k}$ は、

$$T_{j,k} = f(R_j + S_j, k) \quad (2)$$

と表現される。 $f(x, y)$ は総数 x のデータを y に応じて分配する関数である。 $P_{i,j}$ は簡単化のため、 i, j に無関係とすると、

$$P_{i,j} = \frac{\text{受信時間} - \text{送信時間}}{\text{平均サイクル時間}} \quad (3)$$

で計算される。

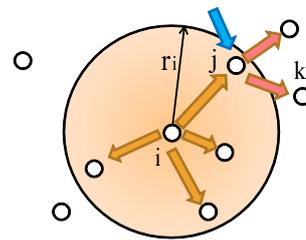


図 2: 一般的なノード配置

3.2 基礎トポロジでの検討

簡単化のため図 3 のような全てのノードの通信範囲が一定であり、ノードが等間隔に配置されている直線トポロジを検討する。全てのノードが同一の送信電力、通信範囲、充電レートおよび送受信に必要な電力を持つとする。受信時間は送信時間の 2 倍の時間とする。逆方向から受信したデータは削除するものとする。

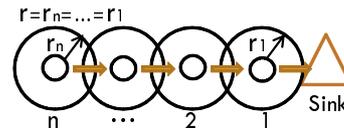


図 3: 一般的な直線トポロジ

ノード i のシンクからの距離を $D_{s,i}$ とする。また、通信範囲内にいるノードへは、ブロードキャストとする。従って、式 (2) は $T_{j,k} = R_j + S_j$ となる。

An Efficient Data Delivery for Energy Harvesting Wireless Sensor Networks
[†]Yuki Inaba [†]Takeshi Watanabe
 Faculty of Informatics, Shizuoka University (†)

以上の条件下で、表1のパラメータを使用し、各ノードの R_j を求めた(図4)。各ノードの R_j はシンクに近くなるにつれて増加しており、全ノードの受信確率は同一であるため、より多くのデータを損失していることを示している。例えば、ノード1へは約2900のデータが送信され、約110が受信されている。一方、ノード30へは約1200のデータが送信され、約50が受信されている。データ到達率が低下している。なお、図1に示すように、縦を $W \times$ 秒と考えているので、充電レートは W の単位となる。

表 1: 評価パラメータ

ノード数 (n)	40
全体の距離 ($D_{s,n}$)	200 (m)
データ発生数 (S_i)	10
最大通信距離	70 (m)
送信電力	83.7 (mW)
受信電力	72.6 (mW)
充電レート	10 (mW)
送信時間	3.2 (msec)
受信時間	6.4 (msec)

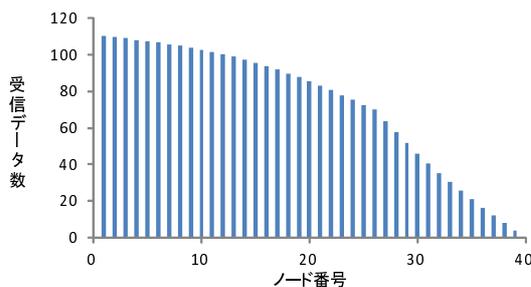


図 4: 各ノードで受信データ数

4 提案方式

本研究は、各ノードの通信範囲に最適な値に設定し、送信電力を制御する方式を提案する。提案方式は、図5のようにシンクに近いほどノードの通信範囲を狭く設定し、送信電力を削減し、充電時間を短縮する。これによって、サイクル長を短くする。また、逆方向のノードからの干渉が小さくなる効果もある。従って、ノードがデータを受信できる確率が高くなり、ネットワーク全体の送受信データ数を増加させ、到達率の向上が期待できる。

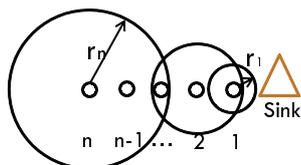


図 5: 直線トポロジにおける提案方式

5 評価

提案方式の有効性を示すため、表1のパラメータを使用し評価する。また、各ノードの通信距離を5mず

つ変化させ、受信データ数が最大となる通信距離をシミュレーションによって求めた。各ノードの通信距離を図6に示す。図6より、ノード14からシンクに近くなるにつれ、通信距離は小さくなる。提案方式と一定通信距離方式の各ノードにおける受信データ数を図7に示す。図7は図6の通信距離を適用したトポロジと通信距離が一定であるトポロジとの各ノードにおける受信データ数を比較している。提案方式は一定の通信距離と比べ、ノード全体の受信データ数の合計が増加していることがわかる。

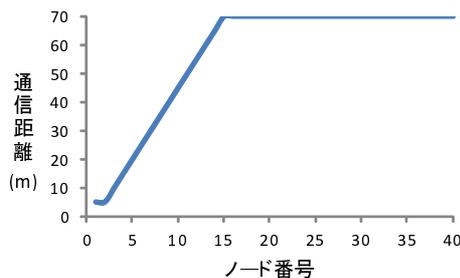


図 6: 提案方式を適用した各ノードの通信距離

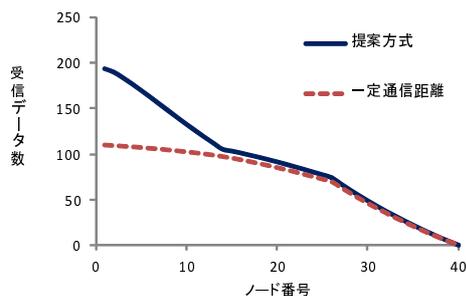


図 7: 各ノードの受信データ数

6 おわりに

本稿は、EHを用いた無線センサネットワークにおいて、各ノードにおける中継データ数が異なることを基礎評価によって示した。また、各ノードの送信電力を通信距離に応じて制御し、データの受信数を増加させてデータ到達率を向上させる方式を提案した。提案方式を適用したトポロジと一定の通信距離のトポロジとの各ノードにおける受信データ数を比較し、提案方式はより多くのデータを受信できることを示した。今後は、より一般的なトポロジや衝突を検討する。

参考文献

- [1] W.K.G. Seah, Z.A. Eu and H.-P. Tan, "Wireless Sensor Networks Powered by Ambient Energy Harvesting(WSN-HEAP) Survey and Challenges," Proc. Wireless VITAE, pp. 1-5, 2009.
- [2] Masaya Yoshida, Tomoya Kitani, Masaki Bandai, Takashi Watanabe, Pao H. Chou, Winston K. G. Seah "Probabilistic Data Collection Protocols for Energy Harvesting Sensor Networks", IEEE LCN, 2011, pp.370-377.
- [3] Zhi Ang Eu, Hwee-Pink, Winston K. G. Seah "Opportunistic routing wireless sensor networks powered by ambient energy harvesting", Contents lists available at Science Direct Computer Networks, 29, May, 2010.