

エネルギーハーベストを用いたセンサネットワークにおけるデータ収集方式

吉田 将也†

木谷 友哉‡

萬代 雅希†

渡辺 尚†

†静岡大学情報学部情報科学科

‡静岡大学若手グローバル研究リーダー育成拠点

1 はじめに

熱や光、振動などから電力を得るエネルギーハーベスト技術 (以下 EH) が次世代センサネットワークの電源として注目されている。従来のバッテリーのように電力の枯渇によるメンテナンスの必要がなく、半永久的にセンサネットワークを稼働させることが期待できる。しかし、EH は従来のバッテリーとは異なる不安定な電力供給となるため、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ができない [1]。

本稿では、パリティを用いて冗長にデータを送信するデータ収集方式を提案し、EH を用いたセンサネットワークにおいて高い収集効率を達成できることを示す。

2 システムモデル

文献 [2] で提案されている充電と通信を繰り返すモデルを参考に、本研究で対象とするセンサネットワークのノードを以下のようにモデル化する。

ノードは充電完了後、他のノードからの送信されるデータを中継するために、一定期間受信状態をとる。受信状態が終了した時点で、キューにデータがあり、かつチャネルがアイドルであればデータをブロードキャスト送信する。その後、受信や送信で消費した電力を得るために、再び充電を開始する。以上の動作を各ノードが繰り返し行うことによって、シンクまでデータを届ける。ノードの電力モデルを図 1 に示す。

このようなモデルでは、データ送信時に中継先のノードは必ずしも受信状態ではない。そのため中継データ

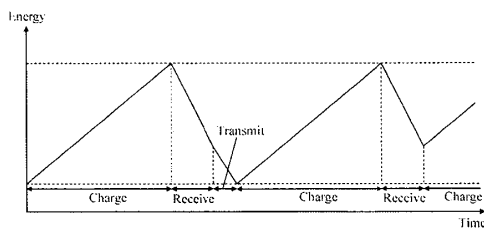


図 1: EH の電力モデル

Data Collecting Protocol for Energy Harvesting Sensor Networks

†Masaya YOSHIDA ‡Tomoya KITANI †Masaki BANDAI

†Takashi WATANABE

†Faculty of Informatics, Shizuoka University

‡Division of Global Research Leaders, Shizuoka University

の欠落が頻繁に発生する。従来のスリープ制御を行うセンサネットワークでも同様の問題が起こるが、スリープ時刻の同期などによって問題を解決することが考えられている [3]。しかし、EH を用いたセンサネットワークでは、各ノードの充電期間が不定長であるため、このような手法は利用できない。

3 提案方式

提案する冗長データ収集方式では、データ欠落に対応するため、複数のデータパケットを XOR 演算したパリティパケットを作成、送信してデータ収集を行う。

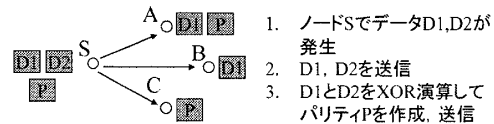


図 2: 提案方式の動作例

図 2 中の各ノードはそれぞれ異なる電力状態で稼働しているため、D1, D2, P をすべて受信できるとは限らない。ここで、図 2 のように A が D1 と P のみを受信しているとする、A は D1 とパリティパケット P から失われた D2 を復元可能である。このように、D1, D2, P のうち少なくとも 2 種類のデータがシンクに到達すれば、元のデータをシンクで復元できる。提案方式ではパリティを送信することで、パリティの対象のデータの欠落を補うことができ、データ収集率の向上が期待できる。

以下では、ネットワーク環境に応じてより効率的なデータ収集を可能にするため、パリティの作成、送信手順が異なる、積極的冗長データ収集方式と消極的冗長データ収集方式の 2 種類の方式を提案する。

3.1 積極的冗長データ収集方式

積極的冗長データ収集方式では、何回の送信に 1 回パリティを送信するかという値 x をあらかじめ設定しておくことで、定期的にパリティの送信を行う。ノードは $x-1$ 回パケットの送信を行った後、その $x-1$ 個のパケットを XOR 演算することでパリティパケットを作成し、送信する。

この方式では、定期的にパリティを送信することで、失われたデータを復元する機会が増加するという長所をもつ。一方で、冗長なパケットであるパリティを送信することで、ネットワーク内のパケット量が増加し、衝突確率が高まるという欠点を持つ。

3.2 消極的冗長データ収集方式

消極的冗長データ収集方式では、各ノードのキューに送信すべきデータがないときにパリティを作成、送信する。前回パリティを送信してからキューにデータが存在しなくなる時点までに送信したパケットからパリティを作成する。そのため、積極的冗長データ収集方式とは異なり、パリティがいくつかのパケットから作成されるかは一定ではない。

この方式では、積極的冗長データ収集方式に比べて、ネットワークのトラヒック状況にあわせて柔軟にパリティを送信することができる。しかし、センシング頻度が高いネットワークでは、パリティが作成されにくく、また多くのパケットからパリティが作成されやすくなるため、データ復元の効果は小さくなる。

4 基礎評価

提案方式の性能を評価するため、計算機によるシミュレーションを行う。対象とするトポロジとして n 個のノードを等間隔で直線上に配置し、両端のノードをそれぞれソースとシンクとする。ソースからシンクまでの距離を y とすると、隣接するノード間の距離は $y/(n-1)$ となる。シンクは持続的な電力供給があるものとし、シンク以外のノードは EH を用いて電力供給を行う。EH の充電レートは一様乱数を用いて 8~12 (mW) を与える。各ノードは 2 章に示されたモデルにしたがってデータを伝達する。シミュレーションにおいて、通信範囲内でのパケットロスはないものとし、また、一部でも衝突したパケットは正しく受信されないものとする。シミュレーションパラメータを表 1 に示す。

表 1: シミュレーションパラメータ

y	100 (m)
シミュレーション時間	1000 (s)
データ発生頻度	1 (packets/s)
通信距離	20 (m)
送信電力	76.2 (mW)
受信電力	83.1 (mW)
データサイズ	800 (bits)
送信レート	250 (kbps)

評価指標としてデータ到達率を用い、提案する積極的冗長データ収集方式と Geographic Routing (GR) [2] を比較する。GR は各ノードが持つ位置情報を元に、ノードがデータを受信した際、送信ノードよりも自身がシンクから遠くに位置する場合、受信したデータを

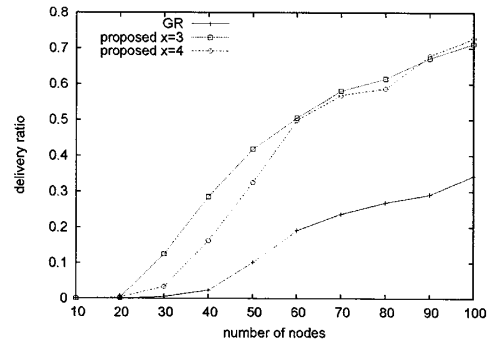


図 3: ノード数に対するデータ到達率

破棄する方式である。提案方式も GR と同様にデータの破棄を行う。

ノード数を変化させたときのデータ到達率のグラフを図 3 に示す。図 3 から提案方式は GR と比較して高いデータ到達率を達成していることがわかる。また、パリティ送信間隔の最も短い $x = 3$ がより高い性能を示している。しかしノード数が増加するにつれ、 $x = 4$ との差が小さくなり、ノード数 90 でわずかながら性能が逆転している。これは、パリティを多く送信する $x = 3$ ではネットワーク内のパケット量が増加し、衝突が頻繁に起こっているためだと考えられる。

5 おわりに

本稿では、EH を用いたセンサネットワークにおける効率的なデータ収集手法として、センシングして得た複数のデータからパリティを作成、送信することで、中継時に欠落したデータを復元する冗長データ収集方式を提案した。シミュレーションによって、提案方式は従来方式と比較して高いデータ収集効率を達成することを示した。また、ネットワークの環境に応じて、最適なパリティ送信頻度が存在することがわかった。今後は、提案方式の拡張を行い、ネットワークの環境に応じて適切な冗長度を選択する方式を考える。また、ランダムトポロジなどより複雑な環境での評価を行う。

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] Z.A. Eu, H.P. Tan and W.K.G. Seah, "Routing and relay node placement in wireless sensor networks powered by ambient energy harvesting," Proc. *IEEE WCNC*, pp. 5-8, 2009.
- [3] W. Ye, J. Heidemann and D. Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," Proc. *IEEE INFOCOM*, pp. 1567-1576, 2002.