

電源供給が不安定な環境発電型無線センサネットワークへのレートレス符号の適用について

稲葉 友紀[†] 猿渡 俊介[‡] 渡辺 尚[‡]

[†] 静岡大学大学院情報学研究科 [‡] 静岡大学情報学部

1 はじめに

環境発電型無線センサネットワークは、センサノードが太陽光や熱から電力供給を行うことでネットワークの長期運用を可能にする。一方で、不安定な電力供給により周囲のセンサノードの稼働状態の予測が困難となり、効率的なデータ収集を行うことができない [1]。本稿では、環境発電型無線センサネットワークにおいて不安定な電力におけるパケット欠落に対応し、高いデータ収集効率を目的とするレートレス符号化を用いたデータ収集方式 Burnet を提案する。

2 関連研究

図 1 にバッテリー駆動のセンサノードと環境発電駆動のセンサノードのエネルギー量を示す。環境発電では、バッテリーと異なり、電力の充電と消費を繰り返す不安定な動作モデルを持つ。電力供給が不安定であると、各センサノードは周囲のセンサノードが送信時に受信可能であるか、充電中かを把握することが困難となる。そのため、通信相手の状態を把握しなくとも通信範囲内のいずれかのセンサノードがパケットを受信できるようにフラッディングベースの通信を行う。また、フラッディングを用いたとしても、環境から得られるエネルギーが少ない場合には隣接ノードが受信状態にない可能性があるため、反復送信方式でパケット到達率を高めている [1]。反復送信方式とは、複数回同じパケットを送信する方式である。

フラッディングベースの通信はパケットがブロードキャスト送信されるため、複数のセンサノードが同一のパケットを受信し、ネットワーク内の重複パケットが増加するという問題が発生する。ネットワーク内での重複パケットの増加は不必要な通信を発生させ、無駄に電力を使用する。また、重複パケットは各センサノードのパケットキューを圧迫し、送るべきパケットの送信を妨げる。図 2 は、パケットキューのサイズが 2 であるセンサノード D, E, F がセンサノード A, B のパケットを受信し、パケットキューが一杯である状態を示している。図 2 の状態でセンサノード C がパケットを送信するとセンサノード D, E, F はパケットキューが一杯であるため、センサノード C のパケットをパケットキューに格納することができずに、パケット損失が発生する。

一方で、文献 [2] では、レートレス符号化を用いて時間によって変動するチャネル状態に対処する方式を提案している。レートレス符号化を用いた方式は複数のパケット情報を持つ符号化パケットを生成し続け、受信センサノードがデコードできるまで符号化パケットを送信する。レートレス符号化を用いた方式は、チャネル状態が全知であるという前提の最適方式と同等のスループットを達成している。環境発電型無線センサネットワークでは、チャネル状況と同様に充電レートは常に変動するため、レートレス符号化をデータ取



図 4: 符号化パケットのフォーマット

集方式に用いることで高いパケット到達率を達成することが期待できる。

3 提案方式

2. での議論を基に、環境発電型無線センサネットワークにおけるレートレス符号化を用いたデータ収集方式 Burnet を提案する。Burnet は電力の不安定さによって発生するパケット損失や重複パケットに対してレートレス符号化を適用することで、パケット到達率を向上する。パケット到達率とは、発生したパケット数に対してシンクノードに届いたユニークなパケット数の割合である。各センサノードが電力に余力がある限り、異なるパケット情報を持つレートレス符号化パケットを生成することで、重複パケットによる無駄な通信を削減する。また、パケット損失が発生したとしても、符号化パケットから損失したパケットの復号を可能とする。

図 3 に、各センサノードが具備しているパケットキューを示す。各センサノードは未送信パケット用キューと、送信済みパケット用キューの 2 種類のキューを持つ。未送信パケット用キューでは、未送信パケットを格納している。送信済みパケット用キューは、送信済みのパケットを格納している。図 4 に、Burnet で用いるパケットのフォーマットを示す。生成されたパケットのフォーマットはヘッダに符号化されたパケットのセンサノード ID とシーケンス番号を持ち、ヘッダの後に符号化後のデータを持つ。

各センサノードは発生したパケットを未送信パケット用キューの最後尾に格納する。送信状態になったとき、未送信パケット用キューの先頭からパケットをブロードキャスト送信する。各センサノードは未送信パケット用キューのパケットを送信した後、送信パケットを送信済みパケット用キューに格納する。もし送信済みパケット用キューに空きがなくなった場合、キューの先頭からパケットを削除する。送信状態に入る前に、未送信パケット用キューが空の場合、各センサノードは送信済みパケット用キューに格納されているパケットのうちランダムに x 個以下を選択し、XOR 演算により符号化パケットを生成する。未送信パケット用キューが空の時のみ符号化するのは、符号化パケットを生成しすぎることによって発生するキュー詰まり問題を避けるためである。生成した符号化パケットを未送信パケット用キューの最後尾に格納する。各センサノードが未送信パケット用キューから符号化パケットを送信した場合、送信した符号化パケットを送信済みパケット用キューには格納せず削除する。送信されたパケットをセンサノードが受信した場合、パケットが発生した時と同様に未送信パケット用キューの最後尾に格納する。未送信パケット用キューに空きがない場合は、直前に受信したパケットを破棄する。

シンクノードでは、受信した符号化パケットから以下の手順でセンサデータを抽出する。 $x = 3$ とした場合、センサノードは 3 個以下のパケットを符号化する。図 3 のようにセンサノードが送信済み

Fundamental Study on Rateless Code for an Unstable Power Source on Energy Harvesting Sensor Networks
[†]Yuki INABA [‡]Shunsuke SARUWATARI [†]Takashi WATANABE
[†]Graduate School of Informatics, Shizuoka University
[‡]Faculty of Informatics, Shizuoka University

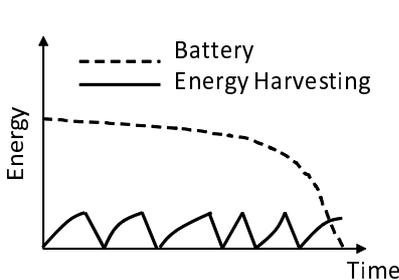


図 1: 各センサノードのエネルギー量の変化

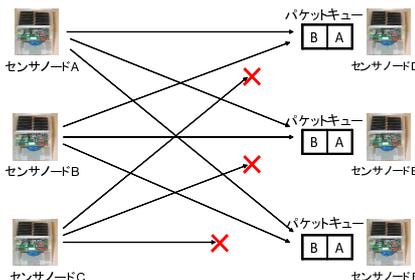


図 2: キュー詰まり問題

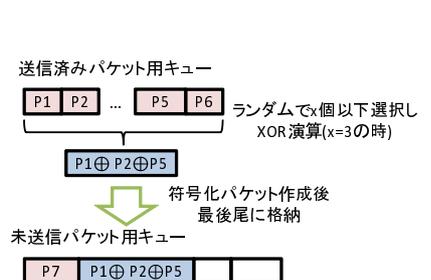


図 3: センサノードのパケットキュー

