

高性能ノードを用いた動的タイムスロット割当てによる センサネットワークの省電力化手法の提案

田中佑一^{†1} 塚田晃司^{†1}
和歌山大学システム工学部^{†1}

1. はじめに

近年, IoT によるセンサネットワークの利活用が増えている. ノードの小型化や高性能化に伴い, 複雑な処理をさせるものも増えている. しかし, 森林内のような潤沢なリソースがない環境においては, できる限り消費電力を抑えるような処理にしなければならない. よって, センサを持った各ノードは, データの送受信やセンシングを行う時間以外はスリープ状態を維持することで, 消費電力を抑えるスリープ制御を行う. ただし, その状態の遷移にも電力を消費するため, なるべくその回数を少なくする必要がある.

また, そのような環境では, 省電力で長距離通信が可能な 920MHz 帯の無線通信を用いることがある. しかし, 920MHz 帯通信は一度に送信できるデータ量に限りがあるため, なるべくパケットの損失を避けるような通信手法をとる必要がある. そのため, CSMA のような衝突を前提とした通信方式ではなく, TDMA のように通信可能な時間を制御する方式が適していると言える. そのうえ, 再送制御が複数回にわたって行われる場合には, より多く電力を消費してしまうことや, シンクノードに近づくにつれて輻輳が起りやすくなる点でも TDMA が適した手法であると言える.

本研究では, 起動・スリープの状態遷移を少なくするようにタイムスロットを動的に設定する手法を提案する.

2. 関連研究

省電力化を図る既存の研究では, センシング頻度を減らす手法によって省電力化を図る手法がある[1]. これは, 観測したデータに相関があるノード群をクラスタに分け, そのクラスタ内で, 代表してデータを計測することにより, 省電力化を図る手法である. スリープ制御を行っている点で, 本研究と関連していると言えるが, この研究ではスター型のシングルホップを想定している点で, ネットワークの自由度が低いという問題がある.

また, TDMA を用いた手法として, トラフィック量の偏りに応じてタイムスロットを設定する研究がある[2]. TDMA を用いた研究はそのほかにも多くあるが, 帯域に余裕がないほどのトラフィック量や, ノード数や経路が頻繁に変わる想定の研究が多い.

3. 提案手法

本研究では, 山間部や森林内などの通信インフラが整っていない環境に, ノードが2次元的に配置されている状況を想定する. また, シンクノードには末端のノードに比べ高性能なノードを使用する. 高性能ノードはタイムスロットを割り当てる計算をし, 各センサノードにブロードキャストする. 高性能なノードは消費電力が多くなると予想されるため, 電力の安定した場所に設置する.

提案手法ではスリープ・起動状態への移行回数を少なくすることで消費電力を削減する. 受信バッファにできるだけデータを溜め, 一度にそれらを送信することにより実現する. 提案手法の流れは図1の通りである.

```

高性能ノードがタイムスロットを設定しブロードキャスト
タイムスロットに従い各ノードが通信を行う
タイムスロットが終端に到達
If データが受信バッファから溢れたと高性能ノードが
判断した場合
    送信間隔を短くし, タイムスロットを設定
Else
    送信間隔を長くし, タイムスロットを設定
End if
処理の初めにもどる
  
```

図1 提案手法の流れ

まず高性能ノードにタイムスロットを手動で設定し, それをネットワーク全体にブロードキャストする. このとき, タイムスロットは末端のノードから先に通信が始まるように設定する. また, タイムスロット内は, そのスロットで通信するノード番号が入力されており, どのノードも通信しないスロットには0を代入する. そのタイムスロットに従って各センサノードが計測したデータを次のホップ先のノードに送信していく. そしてタイムスロットが終端に到達した際に, 先のフレームで各ノードの受信バッファからデータが溢れ, 損失していれば, こまめに送信するように送信間

Power saving method for sensor networks by dynamic timeslot allocation using a high-performance node

^{†1} Yuichi Tanaka Koji Tsukada

^{†1} Faculty of System Engineering Wakayama University

隔を短くしたタイムスロットに更新する。これにより、データをため込まなくなることでバッファからデータが溢れることを防ぐことができる。また、データが損失していなければ、0 が代入されるスロット数が多くなるように割り当てる。

このように、データが溢れるまで送信間隔を伸ばすことで、スリープ・起動の回数を減らす。

3.1 複数タイムスロットの使用

本研究では、複数のタイムスロットを用いる。単一のタイムスロットを使う場合、受信バッファの溢れが関係ないノードでも送信間隔を短くしてしまうことがあり、それを避けるためである。例えば、図2のように、ノード1でデータが溢れた場合、関係のないタイムスロット1の送信間隔まで短くなることもあり、これは非効率である。

タイムスロットの分割方法は、シンクノードにつながったセンサノード1つと、そのノードの後ろにつながったノード群で1つのタイムスロットを使用する。

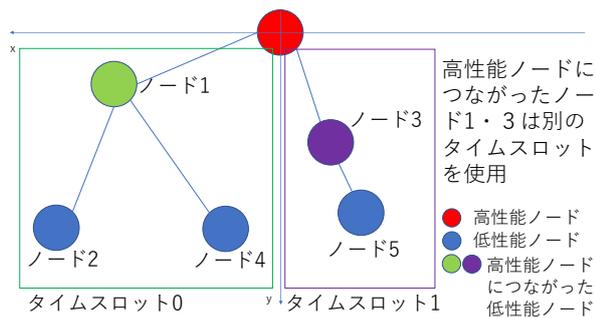


図2 タイムスロット分割例

3.2 タイムスロット設定の式

タイムスロットの送信間隔 T は、以下の式で決定する。 T は 0 を代入するスロット数、 a は定数、 T_0 は T の初期値とする。

$$\text{送信間隔を長くする場合 } T = T + a$$

更新前 0 3 3 3 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0

更新後 0 3 3 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0 1

$$a = 2$$

図3 送信間隔を長くするタイムスロット例

$$\text{送信間隔を短くする場合 } T = \frac{(T+T_0)}{2}$$

更新前 0 3 3 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 0 0 0 0 0

更新後 0 3 3 3 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 0 0 0 0 0 0 0 1

$$T_0 = 3$$

図4 送信間隔を短くするタイムスロット例

タイムスロット内で、ノード番号とノード番号の間を T の値の数だけ 0 で埋めることで、どのノードも通信しない時間を延長・短縮し、送信間隔を調整する。

4. 考察

図2のネットワークにおいてシミュレーションを行った。どちらも送信間隔の初期値は4であり、提案手法の送信間隔を長くする a の値は3とし、全体で3600個のデータをセンシングした。

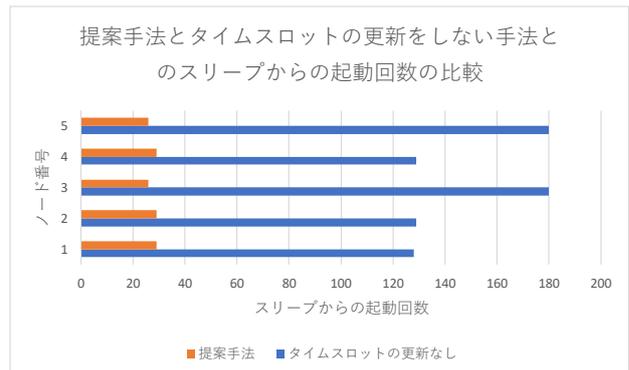


図5 シミュレーションによる比較結果

スリープからの起動回数は大きく減少した。また、今回のシミュレーション結果では、提案手法のデータ損失は18個であった。

5. まとめ

本稿は、TDMAを用いた起動・スリープ回数の削減手法を提案した。ノードがまばらに散った場合には、起動・スリープの状態遷移の回数を大きく減らすことができた。しかし課題点として、シンクノードから末端ノードまでのホップ数が多い場合など、ネットワークトポロジによっては消費電力・データ損失率ともに悪くなる可能性があることが挙げられる。今後は別タイムスロットのノード同士が通信可能な距離にある場合のような、隠れ端末問題を考慮したシミュレーションを行う。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 19K11925 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1]高橋佑吾, 廣津登志夫: 省電力センシングにおけるデータ均質性の向上, 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol.74, No.1, pp.1.131-1.132(2012)
- [2]神崎映光, 原隆浩, 西尾章治郎: 片方向リンクの存在するアドホックセンサネットワークにおけるTDMAスロット割り当て手法, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.1, pp.342-355(2007)