

2W-4

センシングデータを用いたネットワークの省電力動作制御

新井 亮裕[†] 武田 有志[‡] 仲村 将司[‡] 山口隆志[‡] 井上 雅裕[†]
 芝浦工業大学システム理工学部[†] 地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター[‡]

1. はじめに

Wireless Sensor Network(WSN)の普及に伴い、1チップ\$3程度と安価で、アドホックにネットワークが構築できるZigBee[1]が急速に注目され始め、WSNの利用場面の一つである環境計測での需要が高まっている[2]。しかし、環境計測の利用場面では電源を容易に確保できないため、電池駆動での運用が要求される。一般的に、WSNは多数のセンサノードから構成され、個々のノードの電池交換はコストが大きく、電池交換そのものが難しい場合もある。そのため、エネルギーの利用効率を改善し、ネットワークを長時間稼働させることが非常に重要となる。

そこで、本研究では環境計測分野にスコープを絞り、ソフトウェアでの低消費電力制御に着目する。センシングデータの値によってノードのグルーピングを行い、sleep時間を調整する群制御手法を提案する。

2. 基本的な省電力化手法

2.1 ソフトウェアでの低消費電力制御

ソフトウェアでの低消費電力制御について説明する。センサノードにおける電力消費の最大要因は無線デバイスによるものであり、受信待機時にも送信時や受信時と同程度の消費電力がかかる。そのため、MACプロトコルでは、スリープ状態とアクティブ状態を周期的に繰り返す間欠動作(図.1)を行うことで省電力化を図っている。MACプロトコルの代表的な方式にSensor-MAC[3]や、Low Power Listening[4]などがある。IEEE 802.15.4では、間欠動作を行うために上位層で通信のタイミングを制御し、通信する必要のない期間は無線の送受信機能を停止することができるように、送受信機能のオン/オフ制御機能を提供している。



図1. 間欠動作

2.2 従来方式の問題点

これらの方式は、汎用的に使えるといった長所がある反面、WSNの環境計測における利用といった具体的な場面が想定されている場合には大きな効果を発揮できない。

一例として、農場における水やりを考えてみる。水をあげるか否かの判断は人が実際に土の乾き具合を見ることにより行われている。しかし、常に同じ間隔で見に行っているわけではなく、雨が降っていたら見に行かないなど、人が判断して見に行く時を決めている。この見に行くという行動は、センサでいうところのセンシングといった動作となる。

そこで、従来の方式を見てみると、これらの方式ではセンシングデータを読み取り動作制御を行っているわけではないため、どのような状況であっても予め決められた間隔で間欠動作を行っている。人の行動に置き換えて言えば、いつでも常に同じ間隔で全ての場所へ見に行っている事となり、場合によっては大きな無駄となる。

Network Power Saving Based on Sensing Data Characteristic

[†] Akihiro Arai, Masahiro Inoue

[†] College of Systems Engineering and Science, Shibaura Institute of Technology

[‡] Yuji Takeda, Masashi Nakamura, Takashi Yamaguchi

[‡] Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute

3. 提案方式

本研究では環境計測分野におけるWSNに適した、センサの群制御手法を提案する。群制御とは近隣のセンサの値に着目しSleep時間を調整することにより、その場面で適切なセンサのactive/sleepを制御する手法である。

3.1 前提とするネットワーク

本研究では、ZigBeeを用いることを想定し、ネットワーク・トポロジは、クラスタ・ツリー・トポロジ(図.2)である。クラスタ・ツリー・トポロジでは、ZigBeeコーディネータおよびZigBeeルータはZigBeeコーディネータをルートとするツリー・ネットワークを形成している。更にZigBeeルータはそれぞれ自分を中心に複数のZigBeeエンドデバイスを接続したスター・ネットワークを形成することができる。この形態のネットワークでは、ZigBeeコーディネータおよびZigBeeルータをビーコン・モードで動作させることによって、ネットワークのすべてのデバイスを間欠動作させ、省電力化することが可能である。その反面、すべてのZigBeeコーディネータおよびZigBeeルータがビーコン・モードで動作するためアクティブ期間が重なって衝突が多発しないように、近隣のZigBeeルータが間欠動作するため伝送遅延が発生する。

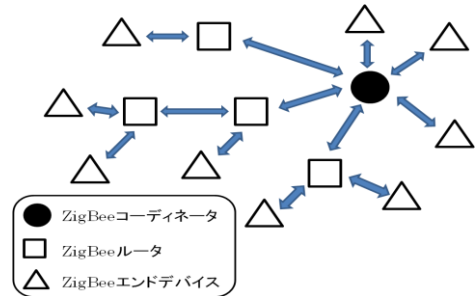


図2. クラスタ・ツリー・トポロジ

3.2 群の決定

群制御とは、ZigBeeルータを中心とするスター・トポロジを一つの群と見なし、そのトポロジー内でノードを休ませるか否かの判断をする制御方法である。通常は一定の間隔で間欠動作をしているが、近い値のデータがあった場合には、その近い値のノードをグループとし、その中の一つだけを通常通り間欠動作させ、残りは通常よりも長い間眠らせる。通常のsleep時間をRsleep_time, 長い間眠らせる時の時間をsleep_time, 通信にかかる時間をactive_timeとした場合、動作例は図3のようになる。

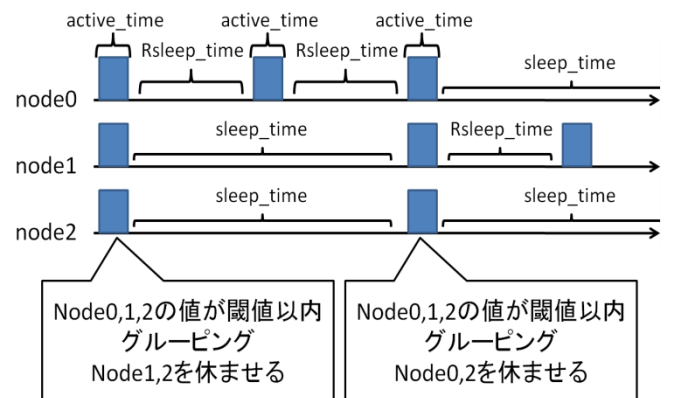


図3. 群制御の動作例

具体的な群の決定方法を段数1のクラスタ・ツリーと見なせるスター・トポロジで説明する。

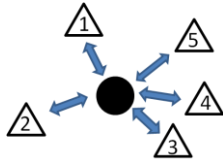


図4. スター・トポロジ

図4のようなスター・トポロジの場合、コーディネータを中心としたnode1, 2, 3, 4, 5を群と見なす. この群内でセンシングデータの差の絶対値が閾値x以内の時にデバイスを普段より長く休ませるといった動作をする. 全てのノードがactiveな時グルーピングを行う. グループ決定の手順は以下のようになる.

- (1) activeなノードがセンシングデータを送る
- (2) センシングデータの差の絶対値が閾値x以内であるノードをグループとする
- (3) グループ内の中で最も電池残量の多いノードを起こす
- (4) グループ毎にsleep時間を決定する

なお、例外として複数のグループ候補がでてしまい、境界となるノードが出る場合がある. この場合は、優先度が高い順に以下のようになる.

- (1) センシングデータの値が近い方を選ぶ
- (2) ノード番号の若いほうを選ぶ

3.3 sleep時間の決定

本手法ではルータノード及びエンドデバイスが間欠動作を行う. そのためsleep時間を適当に決めてしまうとルータノードと同期が取れなくなってしまう. そこでsleep_timeを(a)のように定義することで同期をとることが可能となる.

- (a) $sleep_time = k * R_{sleep_time} + (k-1) * active_time$
 $(k \in \mathbb{N})$
 R_{sleep_time} : 通常のsleep時間
 $sleep_time$: グルーピングの際決定されるsleep時間

変数kは通常k=1でルータと同じ間隔で間欠動作を行う. 群制御によって通常より長く眠るノードは、k>1の値を代入することにより通常のsleep時間よりもsleep時間を長くする. 本来は、前回のセンシングデータとの差異によって、kの値を動的に変化させるべきだが、今回は簡素化のため、通常間欠動作時はk=1, sleep延長時はk=2とした.

4. 評価

提案した群制御手法とSensor-MACのような単純な間欠動作を行うものとの得られた消費電力を比較し評価する. 本評価では、簡素化のためactiveになる時が同じであれば同期はとれるものとし、コーディネータはセンシングをせず解析のみを行うものとする. トポロジーは図4のようなスター・トポロジである.

評価はセンシングフィールドを設定してシミュレートにより行う. ここでは図5のように埼玉県を200ヘクタールの農地と見なし、ノードを配置する. 今回は、気象庁より2010年7月1日の10分毎の気温変化の記録を用いる. しかし、その記録では10分毎のデータしか取れないため、数値と数値の間を線形補間することにより1秒毎の気温を得られたものとした. 1日の気温変化を用いて評価を行うため、シミュレーション時間は24時間(86400秒)とする. 与えた変数の値は表1に示す.

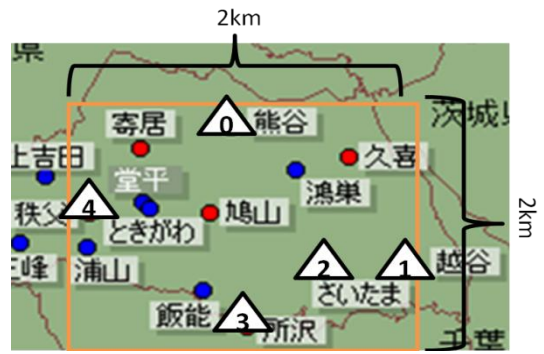


図5. 200ヘクタールの農地

表1. 評価時の変数の値

閾値x	1°C
R _{sleep_time}	10sec
active_time	1sec
消費電力(active)	10mA
消費電力(sleep)	0.001mA

4. 1 消費電力

シミュレーションの結果、図6のような結果が得られた. 単純な間欠動作に比べていずれのノードも消費電力が27%近く削減されている.

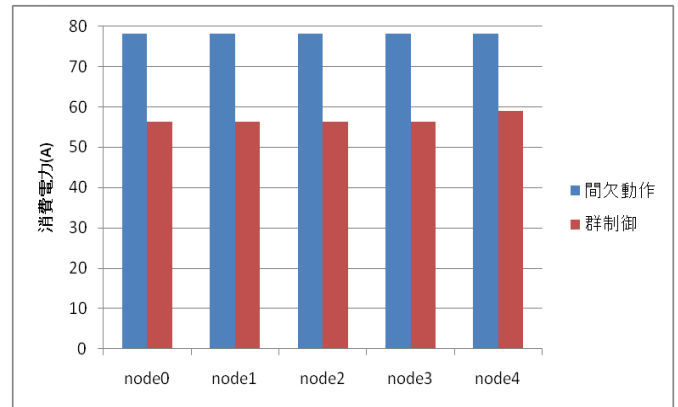


図6. 消費電力の比較

5. まとめ

電池駆動のネットワークを長時間稼働させるためソフトウェアでの省電力化制御に着目し、センシングデータによって、ノードのactive/sleepの制御を行う、環境計測分野に適したセンシングの群制御を提案した.

提案手法では、単純な間欠動作を行うプロトコルよりも27%削減できた.

参考文献

- [1] ZigBee-2007 Specification, document 053474r17, ZigBee alliance.
- [2] ユビキタスセンサーネットワーク技術に関する調査研究会, ユビキタスセンサーネットワークの実現に向けて最終報告, 総務省, July 2004.
- [3] W.Ye, J.Heidemann and D. Estrin, An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks, IEEE INFOCOM, vol.3, pp.1567-1576, June 2002.
- [4] Merlin, C.J and Heinzelman, W.B, Schedule Adaptation of Low-Power-Listening Protocols for Wireless Sensor Networks, IEEE Trans. Mobile Computing, vol.9, no.5, pp.672-685, May 2010.