

# 大規模無線センサネットワークにおける中継ノードの省電力化のための非対称通信と Wake-up Radio を併用したモバイルシンク通信方式の提案

岩田 将成<sup>†</sup> 湯 素華<sup>‡</sup> 小花 貞夫<sup>‡</sup>

電気通信大学 情報理工学部<sup>†</sup> / 大学院情報理工学研究科<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

各種センサを備えたセンサノード(以下, ノード)を無線通信により接続し, センサデータをシンクノード(以下, シンク)に収集する無線センサネットワーク(WSN)の活用が近年注目されている. 大規模な WSN では, 各ノードは主に電池により動作する為, 使用できる電力が有限であり, 長期間運用するためには, 特に中継ノードの省電力化が必要となる. 省電力化手法として, 下り方向の通信量を削減する非対称通信[1]や稼働時間を削減する Wake-up Radio(WuR)[2]が提案されている. また, 特定の中継ノードへのトラフィック集中を回避するためにモバイルシンク[3]の活用が提案されている. 本稿では, 中継ノードの省電力化のための, 非対称通信と WuR を併用したモバイルシンク通信方式を提案する.

## 2. 先行研究

### 2.1. 非対称通信

AROS[1]では, 基地局は電力供給が可能であることに着目し, シンクから各ノードへの下り通信では大送信電力の長距離通信によるワンホップ, 上り通信では小電力の短距離通信によるマルチホップを行う非対称通信を提案している. 上り通信ではマルチホップにより送信電力を節約, 下り通信ではシンクからのワンホップにより中継通信回数を削減することで省電力化を図っている.

### 2.2. Wake-up Radio (WuR)

WuR は, データを送受信するデータ通信モジュールとは別に, 微小電力で動作するウェイクアップモジュールを追加して, 受信データの有無を監視し, 通信モジュールの稼働状態とスリープ状態を切り替える方式である. WuR では通信発生時のみデータ通信モジュールが稼働状態となる.

ウェイクアップモジュールでは Wake-up Call (WuC)と呼ばれる制御メッセージがやり取りされる. WuC には通信したい相手ノードのアドレスが含まれる. WuC を受信したノードは WuC 内のアドレスが自身と一致すれば通信モジュールをスリープ状態から稼働状態にしてデータ通信を開始する.

### 2.3. モバイルシンク

マルチホップ通信を用いてシンクにデータを収集する場合, シンク付近のノードにトラフィックが集中するため, ノードの電力が早く枯渇する問題がある. モバイルシンクは, シンクを移動させることでトラフィックを分散させ, 各ノードの電力消費量の均一化を図る手法であり, シンクの移動に対応したルーティングプロトコルが多数提案されている[3]. しかし, モバイルシンクには一般に以下の2つの問題点がある.

1. シンクの移動に伴うノードのルーティング情報の更新のためにオーバーヘッドが発生する.
2. モバイルシンクからの不定期な送信要求の監視のため稼働時間が増大する.

## 3. 提案方式

### 3.1. 概要

モバイルシンクの2つの問題点を解決するため, 非対称通信と WuR を併用する通信方式を提案する. 本方式は以下の特徴を持つ.

1. モバイルシンクが非対称通信により全ノードのルーティング情報を更新し, ルーティングに関するノード間のオーバーヘッドを削減する.
2. WuR により微小電力でモバイルシンクからの送信要求を常に監視する.
3. 必要なノードのみを通信発生順に起動させ, 中継ノードの稼働時間を削減する.

### 3.2. データ収集プロセス

始めにシンクが各ノードの位置(位置情報は既知とする)と残余電力量に基づいて通信経路, 通信順序を決定する. その後, シンクは通信順序に基づ

Proposal on Energy Efficient Communication Control for Mobile Sink in Large Scale Wireless Sensor Networks, using together Asymmetric Communication and Wake-up Radio

<sup>†</sup>Masanari Iwata <sup>‡</sup>Suhua Tang <sup>‡</sup>Sadao Obana

<sup>†</sup>Faculty of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

<sup>‡</sup>Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

いてホップごとに必要なノードのみを WuC で順に起動させ、ノードからのデータをマルチホップ通信で収集する。なお、WuC には割り当てられた通信可能時間の情報が含まれており、この時間が経過すると両ノードともスリープ状態となる。シンクは割り当てた時間が経過してから次の WuC を送信する。

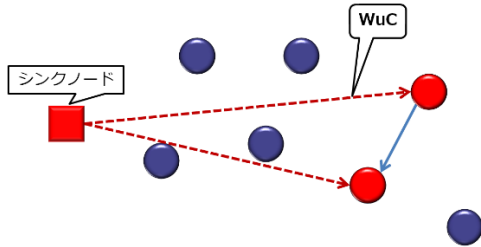


図1 提案方式のデータ収集プロセス

#### 4. シミュレーション評価

ネットワークシミュレータ(ns-2)を用いて提案方式の有効性を評価した。

比較方式では、シンクが WuC を送信して全ノードを一斉に起動後、ルーティングと送信タイミングの情報をブロードキャストする。各ノードは受信した情報を元に順次通信を行い、ACK を受信して送信を完了したノードはスリープ状態となる。

表1に文献[4][5]を参考に決定したシミュレーション条件、表2、表3にシミュレーション結果を示す。なお、シンクは停留した状態で収集をするものとし、ノードはシンクの停留場所の半径600m以内にランダムに配置した。

表1 シミュレーション条件

| 項目                           | 設定値                    |
|------------------------------|------------------------|
| センサノード数                      | 400, 500, 600          |
| センサデータサイズ                    | 50byte                 |
| 周波数                          | 920MHz                 |
| 変調方式                         | GFSK                   |
| ビットレート                       | 100Kbps                |
| 最大通信距離                       | 600m(シンク), 100m(ノード)   |
| 送信出力                         | 20mW(シンク), 1mW(ノード)    |
| バッテリー容量                      | 10J                    |
| WuC のアドレス照合時間                | 7ms                    |
| 通信モジュール起動時間                  | 5ms                    |
| 誤り制御手法                       | Stop-and-wait ARQ      |
| 消費電力(ウェイクアップモジュール + 通信モジュール) |                        |
| スリープ時                        | 5.4μW (2.4μW + 3.0μW)  |
| WuC 受信時                      | 10.2μW (7.2μW + 3.0μW) |
| 起動遷移時                        | 19mW (2.4μW + 19mW)    |
| アイドル時                        | 57mW (2.4μW + 57mW)    |
| 受信時                          | 57mW (2.4μW + 57mW)    |
| 送信時                          | 69mW (2.4μW + 69mW)    |

表2 1回のデータ収集による全ノードの電力消費量の合計値

| ノード数 | 400    | 500    | 600    |
|------|--------|--------|--------|
| 提案方式 | 1.4J   | 1.7J   | 2.1J   |
| 比較方式 | 132.1J | 207.9J | 288.9J |

表3 1回のデータ収集にかかる時間  
(最初の WuC を送信してから全ノードのデータを受信し終わるまでの時間)

| ノード数 | 400   | 500   | 600   |
|------|-------|-------|-------|
| 提案方式 | 16.3s | 20.5s | 24.6s |
| 比較方式 | 11.4s | 14.3s | 17.2s |

#### 5. 考察

表2より、データ収集時の電力消費量に有意な差が確認できる。これはノードが稼働する時間が、提案方式の場合は、送受信時のみであるのに対し、比較方式では、最初の WuC を受信し、起動から送信完了までの間であり、中継ノードで余計な稼働時間が発生するためである。表1の各状態時の消費電力からわかるように、ノードの稼働時とスリープ時とは消費電力に大きな差がある。これらの結果より、提案方式における、対象ノードを指定する WuC により必要なノードのみを必要な時間だけ稼働させる制御は、ノードの稼働時間を削減するため、省電力化に有効であると考えられる。

表3より、提案方式は比較方式よりもデータ収集に時間がかかることが確認できる。これは、提案方式の場合、各ホップごとに WuC を用いて起動、通信をさせているが、WuC によって起動するまでには、WuC のアドレス照合時間とデータ通信モジュールの起動時間の合計 12ms がかかるためである。今回のシミュレーションではシンクが停留して一定時間で収集をしているが、シンクが速く移動しながら収集する場合には、収集にかかる時間が性能に影響を及ぼす。速いシンクに対応できるよう、収集時間の短縮が必要である。

#### 6. おわりに

WSNにおける中継ノードの省電力化のため、非対称通信と WuR を併用したモバイルシンク通信方式を提案し、シミュレーションにより有効性を示した。今後は、通信経路決定アルゴリズムの検討やシンクが移動する場合のシミュレーション評価を行う予定である。

#### 参考文献

- [1] J. Neander et al., "Asymmetric multihop communication in large sensor networks," *Wireless Pervasive Computing, 2006 1st International Symposium on*, January 2006
- [2] J. Oller et al., "Has time come to switch from duty-cycled MAC protocols to wake-up radio for wireless sensor networks?" *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Issue 99, pp.1-1, January 2015.
- [3] C. Tunca et al., "Distributed mobile sink routing for wireless sensor networks: A survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol.16, no.2, pp.877-897, May 2014
- [4] C. Hambeck et al., "A 2.4μW wake-up receiver for wireless sensor nodes with -71dBm sensitivity," *ISCAS, 2011 IEEE International Symposium on*, pp.534-537, May 2011
- [5] 920MHz 帯無線通信モジュール「TY92SS-E2730」データシート, NEC, 2015, <http://jpn.nec.com/engsl/pro/wireless/ty92ss-e.html> (2016.01.07 現在)