

センサネットワークにおける 低消費電力型データ転送方式の評価

池田 匡視^{a)}・濱邊 康彰^{b)}・岡崎 直宣^{c)}

An Evaluation of the Data Transmission Method in the Low Consumption Electricity Type Sensor Network

Masami IKEDA, Yasuaki HAMABE, Naonobu OKAZAKI

Abstract

Wireless sensor-networks use battery-operated computing and sensing devices. Power saving of nodes is a significant issue for prolonging the service-lifetime of sensor-networks. There are some protocols to reduce the energy consumption by using techniques minimizing idle listening. However, in those protocols, there is a problem of data delivery delay when something is detected. We presented a new protocol to reduce data delivery delay time by combining a technique minimizing idle listening with constructing a path to the sink node quickly by extending active time of limited number of nodes surrounding the path. In this paper, we will show that the proposed protocol has the much less data delivery delay with the slight increase of power consumption as compared with the existing protocols by some simulation experiments.

Keywords: Power consumption, Data delivery delay time, Wireless Sensor Network

1. はじめに

半導体技術の発展に伴い、センサデバイスの小型化と高性能化が進み、温度、湿度、加速度などを測定できる機能を内蔵した小型端末、Bluetooth や ZigBee などの無線技術の発展により、携帯電話や家電製品などの機器がネットワークに接続することが可能になってきた。端末同士が無線通信を用いてネットワークを構築し、実環境の情報を共有することにより、様々なサービスを実現するセンサネットワークが注目されている^{1, 2, 3)}。しかし、センサネットワークには様々な問題点があり、その中にセンサ端末(以下ノードと呼ぶ)の稼働時間の問題があり、なるべく長期間ネットワークが稼働するために、個々のノードの消費電力を抑える消費電力制御が注目されている。消費電力の低減化には様々な方法があり、例えば、センサネットワークにおいて通信する際が一番電力の消費が多いため、ノードに送受信を行わないスリープ状態を持たせ間欠動作を実現する方式など、電池の寿命を最大限に延ばすような通信プロトコルが数多く提案されている^{4, 5, 6, 7)}。しかし、実環境での適用を考えると、センシング中に例えば建物の監視中に侵入者が現れた時、環境モニタリング中に山火事や洪水、地震が発生した時など緊急事態(以降イベントと呼ぶ)が発生する場合、迅速

にサーバまでデータを届ける必要があるが間欠動作を行うとそれができなくなる可能性が発生する。

これに対して、ノードのメッセージを送受信可能なアクティブ状態と送受信を行わないスリープ状態を用いた低消費電力型のアプローチをとりつつ、緊急時にシンクノードまでの経路構築を迅速に行い、データ到着までの遅延時間を減らすことのできる手法がある⁸⁾。しかしながら、文献⁸⁾ではこの手法が上手く動作する配置のみでシミュレーションが行われており、無作為な配置に対する評価が十分に行われておらず、どの状況でもこの手法が活きるための条件が明らかになっていない。そこで、本論文ではこの手法をシミュレータに実装し様々なノード密度で実験を行い、さらなる評価を行うことにより、どのノードの密度でユーザへのデータの遅延時間の軽減ができるかを明らかにする。

2. 研究背景・関連研究

2.1 センサネットワーク

センサネットワークとはセンサを搭載したノードを複数設置し、それらを強調させ、環境や状況の情報を採取することで監視などを行うことのできるネットワークのことである。身近な例として、トイレに入るとセンサにより感知し照明や換気扇が自動で作動するシステムがある。センサネットワークの中でもワイヤレスセンサネットワーク(Wireless Sensor Network:以下 WSN)は無線で情報のや

a)情報システム工学専攻大学院生

b)情報システム工学科学部生

c)情報システム工学科教授

り取りを行う。これは無線を使うことでアドホック通信が可能になり、より幅広く運用できる。

WSN は、様々な環境で動作することが望まれるため、各ノードは小型かつ低コストである必要がある。そのためノードの電源、メモリ、処理能力、センサのセンシング能力と通信能力が制限される。更に、インフラの整備が不十分で、電源が確保できない場所での使用も望まれるため、ノードは電池駆動型になる場合がある。ノードが省電力、高機能となった現在でも内蔵電池は有限であるため、長期運用を考えた場合、ノードの消費電力の削減が大きな問題となる。外部から電力を供給できれば電力問題は改善できるが、インフラ整備のコストが増大してしまう。また、電池駆動の場合に電池交換の手間が発生する。そのため、頻繁に設置したノードを回収し、電池を交換するのは難しい。

WSN は、センサノードとシンクノードの2種類のノードからなる。それぞれのノードはセンシングと通信を行うことができ、自身がセンシングで得た情報を送信するだけでなく、他のノードが送る情報の中継も行う。

シンクノードはセンサノードからなるネットワークと接続することができ、インフラを用いてインターネットとも接続できる。そのため、シンクノードが取得したデータをインターネット上のサーバに格納することが可能で、取得したセンサデータをデータ管理者が確認できる。また、センサノードは電池駆動が主であるが、シンクノードは有線接続の場合が多く、外部電源と接続できる。そのため、本論文ではシンクノードの電力が常に供給されているとする。

2.2 低消費電力 MAC プロトコル

WSN は数多くのノードから構成されることが多いため電池の交換はコストが大きくなり、またノードを回収することが難しい場合もある。そのため、ネットワークを長期稼働させるために消費電力を抑えることが大きな課題となる。

メッセージの送受信時以外でノードが送受信可能なアクティブ状態なら電力を無駄に消費する。そのため、通信期間が比較的短いセンサネットワークにおいて送受信を行わない期間は送信を受け付けないスリープ状態となることが望ましい。そこで、ノードが通信中か待機中かを判断しMACプロトコルでアクティブとスリープの制御をすることが有効となる。

MACプロトコルは大別するとスケジューリング方式とコンテンション方式の二つに分けられる。低消費電力MACプロトコルのスケジューリング方式にはTDMA方式、コンテンション方式にはCSMA方式がある⁸⁾。

2.2.1 TDMA 方式

帯域を利用する時間をタイムスロットと呼ばれる時間単位に分割し、各ノードにタイムスロットを割り当て、各ノードは自身に割り当てられたスロットに対応する時間

にメッセージを送信する方式である。これにより、データの送受信時間外で通信ノードをスリープ状態にすることができ、アクティブ期間を減らすことができる。よって、ランダムアクセスを行うCSMA方式と比較して消費電力を抑えることができる。しかし、ネットワーク全体のスケジューリングを行うためにノードの数を把握し、起動タイミングを同期させることで得られるノード同士の高精度の時刻同期が必要となる。

2.2.2 CSMA 方式

周期的にアクティブ期間とスリープ期間を切り替えることで消費電力を抑える方式である。

アクティブ期間に自ノード宛の通信があるかを確認し、通信がある場合アクティブ状態のままメッセージの受信を待ち通信がなければ再びスリープ状態になる。メッセージの受信を待つ場合、メッセージの受信が成功するか、タイムアウトするまで待った後にスリープ状態になる。この時、通信要求が相手に受信されるまで常にアクティブ状態である必要があるため、冗長なアクティブ期間が生じる。そこで、通信要求時に短い時間でスリープ状態と通信要求を交互に行い無駄なアクティブ期間を減少させるX-MACが提案された。ただし、問題点として一定周期ごとに全てのメッセージを受信する必要があることから、無駄なメッセージの送受信が増えることがある。

2.3 ノードの機能

本論文で対象となるセンサノードは以下の機能と特徴を有する。

1. 温度、湿度、照度など環境情報が測定可能である。
2. 消費電力が低いマイコンを有し、データ処理ができる。
3. 無線通信機能を有し、任意のノードと通信を行うことができる。
4. 容量が有限なバッテリーにより動作する。
5. スリープモード、アクティブモードの2種類のモードを持ち、使い分けることができる。

また、環境モニタリングに適応させ、ノード数が不特定多数の状況でノードの追加や除外が行うことができるように、本論文ではCSMA方式によるノードの間欠動作を行うデータ転送方式を用いる。

3. 評価する方式

本論文で評価する低消費電力MACプロトコルにおける緊急時経路構築手法(The Emergency Course Construction technique in a low-power-consumption MAC protocol : 以下ECC-MAC) は、アクティブとスリープを用いて消費電力を抑えつつ、イベント発生時にシンクノードまで迅速に経路を構築しデータ到着遅延時間を減らすことができる。つ

まり、通常時の各ノードは CSMA 方式による間欠動作を行いながら通信を行い、イベント発生時、一時的に周囲のノードのアクティブ期間を延長しシンクノードまでの冗長な経路を構築する。経路構築後、最短ホップ数の経路の探索を行い、最短経路に切り替える。以下でこの方式について説明を行う。

3.1 通信制御メッセージ

本章ではノード同士でやり取りされる通信制御メッセージを定義する。通信制御メッセージは SID、SREQ、RREQ、RREP、RACK、DATA の 5 種類がある(表 1)。

表 1. 制御メッセージ.

メッセージ	動作・処理
SID	ノード受信受付通知
SREQ	データ送信要求通知
RACK	送信要求受付完了
RREQ	経路探索要求通知
MRREQ	最短経路探索要求通知
RREP	経路応答通知
DATA	データ送信

ここではメッセージを送信したノードを送信ノード、メッセージを受信したノードを受信ノード、送信したいノードを宛先ノード、シンクノードまでの中継通信回数をシンクホップ数とする。

ECC-MAC は、イベントが発生し、センサノードが RREQ と RREP の受信するとそれ自身のアクティブ期間を延長する。

3.2 ノードの初期設定

各センサーは唯一のノード ID が割り振られ、通信の失敗が発生しないようにするために全ノードの時刻同期が取れているものとし、全てのノードのシンクホップ数が同じだとうまくメッセージがリレーされないため、シンクホップ数はノード ID よりも大きくなるように設定される。ネットワーク構築時、各ノードは順不同で起動し、通信範囲は一定で周囲のノードと通信を開始する。また、シンクノードのシンクホップ数は 0 に設定され以降変更されることはないとする。

3.3 メッセージの受信処理

各センサノードは環境情報を取得するセンサを搭載し、シンクノードに向けてデータを送信する。各ノードは通常時とイベント検出時で処理が変化する。

センサノードは無線通信機能を用いてメッセージを取得し、メッセージの種類に基づき各処理を行う。

シンクノードは外部からの電源があるとし、常にアクティブ状態であるとする。センサノードより早い間隔で SID

メッセージをブロードキャストし、センサノードからのメッセージが来るのを待つ。

ここでは、センサノードとシンクノードでのメッセージ受信処理の説明を行う。また、ここでの自ノードとはメッセージを受け取ったノードを指す。

1. SID メッセージ

センサノードでは、自ノードのシンクホップ数とメッセージ内のシンクホップ数の値を比較する。自ノードのシンクホップ数がメッセージ内のものに 1 を加算したものより大きい場合、前者を自ノードのシンクホップ数とする。もし自身のセンシングデータがある場合、データ送信要求を出すかを判定する。メッセージ内のシンクホップ数が自ノードのものよりも小さいなら、送信元ノードに SREQ メッセージを送信する。

シンクノードはセンシングを行わないため、通信要求は発生しない。なので、メッセージは全て破棄される。

2. SREQ メッセージ

センサノードでは、データが送られてくるまでアクティブ期間を延長する。その後、送信元ノードに RACK メッセージを送信する。

シンクノードでは、宛先ノードを送信元ノードに変更して RACK メッセージを送信する。

3. RACK メッセージ

センサノードでは、送信元ノードがアクティブ期間を延長し、自ノードのセンシングデータを DATA メッセージにまとめ送信元ノードに向けて DATA メッセージを送信する。

シンクノードでは、メッセージが破棄される。

4. DATA メッセージ

センサノードでは、メッセージの宛先ノード ID と自ノード ID が一致する場合、メッセージからセンシングデータを取り出し自ノードにデータを保存する。一致しない場合、経路情報をもとに次のノードに DATA メッセージを送信する。

シンクノードでは、メッセージからセンシングデータを取り出しサーバに保存する。

5. RREQ メッセージ

センサノードでは、メッセージのナンバーから過去に同じナンバーのメッセージを受信していないか調べ、受信しなくても自ノード ID をメッセージの経路情報に付け加え、ブロードキャストを行う。また、自ノードのアクティブ期間を延長する。受信していたらメッセージを破棄する。

シンクノードでは、メッセージから経路情報を取り出し、メッセージを最初に送信した(イベントを検出した)ノードを宛先ノードとし、メッセージの経路情報の逆の順番になるように経路を設定する。メッセージのシンクホップ数

を0にし、RREPメッセージを送信元ノードに向けて送信する。

6. MRREQ メッセージ

センサノードでは、メッセージ内のシンクホップ数を自ノードのシンクホップ数と比較し、メッセージ内のシンクホップ数が大きい場合メッセージを取得し、自ノードIDを経路情報に加え、メッセージ内のシンクホップ数を自ノードのものに置き換えブロードキャストを行う。また、自ノードのアクティブ期間を延長する。

シンクノードでは、RREQメッセージと同様の処理を行う。

7. RREP メッセージ

センサノードでは、自ノードのアクティブ期間を延長し、宛先ノードIDと自ノードIDを比較し一致していた場合、自ノードのイベント時シンクホップ数を通常時のものに置き換える。その後、宛先ノードをシンクノードにし、RREPメッセージ内の経路情報をもとにシンクノードまでDATAメッセージを送信する。もし一致しない場合、経路情報から次のノードを決め受信したメッセージに手を加えず送信する。

シンクノードでは、メッセージが破棄される。

4. 評価

ECC-MACを実装し評価を行う。また、文献⁸⁾ではThe Network Simulator 2(NS-2)上で実装し評価を行っていたが、ネットワークモデルが体系的なことなどの理由から本論文ではQualNetで実装し、通常動作のみの場合とECC-MACの場合の比較を行う、ノードの配置は完全にランダムで、ノード数毎に100パターン配置を行った。データ到着遅延時間はその平均とする。

シミュレーションパラメータを表2に示す。

表2. シミュレーションパラメータ.

項目	パラメータ
シミュレーション時間	1000s
シミュレーションエリア	500m×500m
通信半径	50m
スリープ時間	30s
アクティブ時間	10s
イベント発生回数	1回
メッセージサイズ	512byte

4.1 評価基準

● データ到着遅延時間

イベント発生時に、センサノードが通信要求を発生させてからシンクノードにデータが届くまでの時間。本論文では、シミュレート開始と同時にイベントが発生するのでシ

ンクノードへデータが到着する時間がデータ到着遅延時間となる。また、時間内にデータが到着しないならシミュレーション終了時間である1000秒をデータ到着遅延時間とする。

● 経路構築成功確率

シミュレーション終了までに経路を構築できた配置パターンの割合。

4.2 シミュレーション結果

最初に、イベント発生時のデータ到着遅延時間の結果を図1に示す。ECC-MACはどのノード数でも通常動作に比べ遅延が抑えられている。ECC-MACは通常動作のみの場合と比べて、迅速に経路の構築ができるためランダム配置であっても時間内に経路構築ができるためこの結果となった。

次に経路構築成功確率の結果を図2に示す。データ到着遅延時間の結果同様いずれのノード数においても通常動作のみの場合よりも評価手法の成功確率が高く、ノード数が増えるとその確率は高くなる。

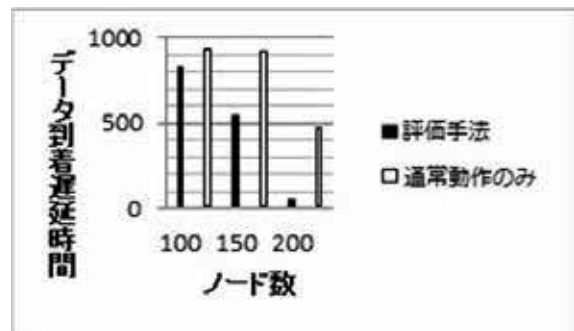


図1. データ到着遅延時間.

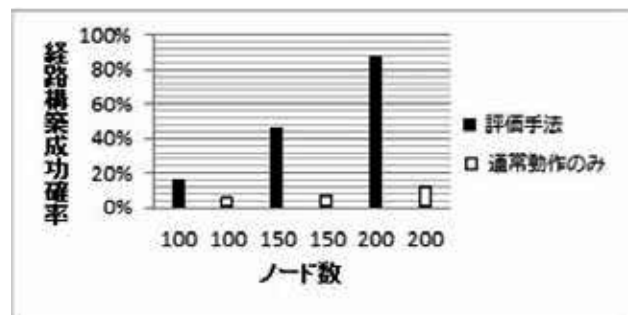


図2. 経路構築成功確率.

5. まとめ

本論文では、WSNにおいて緊急時にシンクノードまでの経路構築を迅速に行い、データ到着までの遅延時間を改善する手法の評価を行った。センサが異常値を感知した際、周囲のノードのアクティブ状態を維持することでシンク

ノードまで経路構築を素早く行う。このようにして、データ遅延時間を改善することができる。イベント発生時、センシングデータがシンクノードに到着するまでの遅延時間と経路の構築が成功する確率の比較を行った。その結果、データの遅延時間の削減と時間内に経路構築が成功する確率が高いということがわかった。

本論文では、ネットワーク全体の消費電力量を求めることができなかつたのでその実装と、文献⁸⁾で挙げられている各ノードの間欠動作の時間を調整し、消費電力を分散させネットワーク全体の消費電力を均一にする方式や、冗長なノードの起動を削減する方式の考案が課題となる。

参考文献

- 1) 爰川 知宏, 小橋 善嗣, 鄭 懿, 峰野 博史, 陳 恵芳, 水野 忠則 : 無線センサネットワークの災害現場への適用に関する考察, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2007)シンポジウム, Vol.2007, pp.984-990, 2007.
- 2) 森 武俊, 野口 博史, 佐藤 知正 : センサネットワークと生活行動, 電子情報通信学会誌, Vol.89, No.5, pp.430-435, 2006.
- 3) 安藤 繁, 田村 陽介, 戸辺 義人, 南 正輝 : センサネットワーク技術-ユビキタス情報環境の構築に向けて, 東京電機大学出版局, 2005.
- 4) D. Yoo, S. Park, S. Choi, S. Park : Dynamic S-MAC protocol for Wireless Sensor Networks based on Network Traffic States, APCC2008, Vol.14, pp.1-5, 2008.
- 5) 宮丸 卓也, 峰野 博史, 寺島 美昭, 徳永 雄一, 水野 忠則 : WSN における無線通信を利用したソフトウェア更新効率化の検討, 情報処理学会研究報告, Vol.2007, No.6, pp.149-154, 2007.
- 6) 金澤 祥弘, 斉藤 裕樹, 戸辺 義人 : ZigBee の特徴を活かした PAN 適応動作の提案, 情報処理学会研究報告, Vol.2005, No.11, pp.7-12, 2005.
- 7) 朱 旭穎, 川本 良太, 高橋 淳, 後藤 康宏, 江守 拓実, 宮崎 伸夫, 原 誠一郎, 阪田 史郎 : 無線マルチホップセンサネットワークにおけるパケット衝突回避のためのセンサ起動スケジューリングの評価, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.109, No.47, pp.13-18, 2009.
- 8) 岩河 信之, 岡本 直宣 : 低消費電力型センサネットワークにおけるデータ転送方式の提案, 情報処理学会研究報告, Vol.2011, pp.1-8, 2011.
- 9) 戸辺 義人 : 無線センサネットワークの技術動向, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J90-B, No.8, pp.711-719, 2007.