

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650024

研究課題名(和文)スリープモードを考慮したセンサネットワークのルーティングプロトコルの開発

研究課題名(英文)Developments of Routing Protocols Based on Sleep Mode for Sensor Networks

研究代表者

木村 成伴(Kimura, Shigetomo)

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：20272180

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：センサネットワークの寿命を延ばすため、これを構成するノードの消費電力を抑える必要がある。本研究では、各ノードにスリープモードを導入し、ルーティングプロトコルの省電力化を実現することを目的としている。H24年度では、リアクティブ型ルーティングプロトコルAODVに、H25年度では、プロアクティブ型ルーティングプロトコルOLSRに対して、スリープモードを導入した。H26年度では、十分な量の観測データを提供することを目的に、ルーティングプロトコルを改良した。

研究成果の概要(英文)：In order to extend the life of sensor networks, each node of the networks is required to reduce its power consumption. The purpose of this research is to introduce a sleep mode into each node and then decrease the power consumption of routing protocols. The research introduced a sleep mode into AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) in 2013 and OLSR (Optimized Link State Routing) in 2014. It also improved the routing protocol to observe enough amount of data.

研究分野：情報通信工学

キーワード：省電力化 スリープモード ルーティングアルゴリズム センサネットワーク

1. 研究開始当初の背景

近年、環境や施設を測定・監視する目的で、センサネットワークが注目されている。センサネットワークを構成するノードは、バッテリーで駆動していることから、各ノードの寿命を延ばすため、消費電力を少なく抑えることが重要な課題であった。

各ノードは、パケットを待ち受けるときにも電力を消費することから、パケットを送信しないときに、一時的にノード内の通信機器の電源を切ってスリープモードに入ることは、ノードのバッテリー寿命を延ばすための重要な技術の一つである。しかし、センサネットワークでは、アクセスポイントなどのネットワークインフラがないことから、各ノードは、自身のセンサで観測した情報を、それぞれのノードが相互に中継し合い、情報の集約先であるシンクノードに届ける必要がある。このため、各ノードが無計画にスリープしてしまうと、図1に示すように、中継するノードがスリープしていて、情報をシンクノードまで届けられない、などの障害が頻繁に発生することになる。

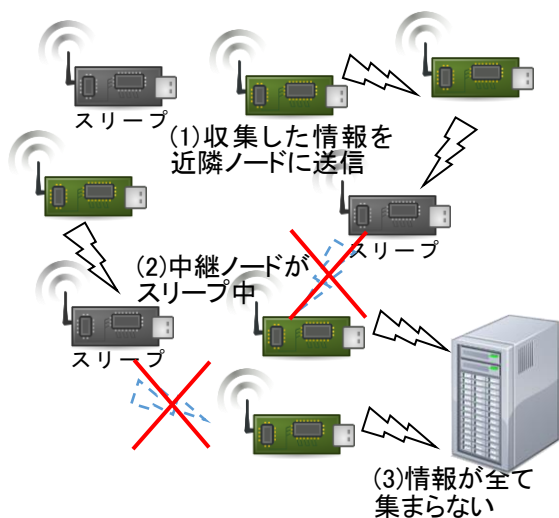


図1 スリープモード利用時の問題点

2. 研究の目的

これまで、情報を格納したパケットをシンクノードへ確実に届けるため、ノードを計画的にスリープモードにするスリープスケジューリングを用いたルーティングアルゴリズムが提案されていた。しかし、全てのノードを計画通りにスリープさせるのは極めて困難であった。

そこで本研究では、事前に計画することなく、各ノードがスリープモードになるまでの予定時間などの情報を交換し合い、スリープしそうなノードは避けて中継する、中継する必要があるのでスリープするのを延期するなど、ノード間で協調することで、パケットを中継する経路を選択するルーティングプロトコルを開発し、センサネットワークの寿

命を延ばすことを目的とした。このとき、シンクノードにノードの位置情報を集約させて、経路選択をシンクノードに集中管理させる方法も考えられたが、シンクノードへの経路が途絶えるとパケットの送信ができなくなる。また、各ノードから近隣ノードの情報を定期的に送信するため、電力が消費されることから、本研究では、シンクノードを経路選択に関与させないこととした。すなわち、ノード同士でのみ情報を交換し合い、協調することで、経路選択することを目標とした。

3. 研究の方法

センサネットワークで用いられるルーティングプロトコルには、パケット送信時に、通信相手への経路を探索するオンデマンド型と、定期的に情報を交換し合い、各ノードが全てのノードへの経路表を保持するプロアクティブ型に分類される。センサネットワークでは、センサで観測した情報を、シンクノードに伝送する通信が主であると考えられる。また、センサノードは、設置場所から移動しない場合が多いことから、そのルーティングプロトコルには、オンデマンド型が適していると考えられる。しかし、センサノードがロボットなどに搭載され、時間とともに移動する場合が考えられる。また、災害の検知など、要求が生じたらパケットを直ちに送信しなくてはならない場合などは、伝送遅延が少ないプロアクティブ型のルーティングプロトコルが採用されることが考えられる。

そこで、本研究の初年度はオンデマンド型ルーティングアルゴリズムである AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) を、第2年度目は、プロアクティブ型ルーティングアルゴリズムである OLSR (Optimized Link State Routing) を元に、スリープモードを考慮したセンサネットワークのルーティングプロトコルを開発した。

一方、スリープモードを用いた既存の省電力化の研究では、消費電力を削減することを優先するあまり、ほぼ全てのノードをスリープさせてしまい、ユーザに十分な量の観測データを提供することを保証していなかった。この問題を解決するため、第2年度から最終年度にかけて、センサネットワークを任意のエリアに分割し、各々のエリアの複数のノードからシンクノードへパケットが送信できるようにするためのスリープスケジューリング方式を開発した。

以上の方式は、いずれも、シミュレーション実験を行い、平均バッテリー残量、平均到達パケット数、平均パケット損失数などを比較することで、それぞれの方式が有効であることを示した。

4. 研究成果

本研究での主な研究成果として、第2年度に行った「センサネットワークのためのスリ

ープモードを考慮した OLSR の改良方式」と、最終年度までに行った「複数エリアに分割したセンサネットワークにおける通信量冗長化のためのスリープスケジューリング方式」について述べる。

(1) センサネットワークのためのスリープモードを考慮した OLSR の改良方式

プロアクティブ型の代表的なルーティングアルゴリズムである OLSR (Optimized Link State Routing) では、各ノードは HELLO メッセージと TC (Topology Control) メッセージなどの制御メッセージを用いて経路表を作成する。HELLO メッセージは隣接ノード間で交換され、それぞれのノードは、自身に隣接するノードの情報を、ローカルリンク情報として保存する。また、各ノードは TC メッセージを用いて、自身と自身の所属する MPR セレクタ集合の情報をフラグディングする。この情報を得ることで、すべてのノードがネットワーク全体のトポロジを知ることができ、自身から任意のノードまでの最短経路を計算することが可能になり、これにより、パケットの中継先が決定される。

しかし、OLSR ではすべてのノードが常にアクティブであることを仮定しており、各ノードが任意にスリープした場合、制御メッセージの交換やパケットの中継ができなくなってしまう。そこで、提案方式では、各ノードが予め定めたサイクルで、アクティブモードとスリープモードの状態推移を繰り返すことで、この問題を解決する。

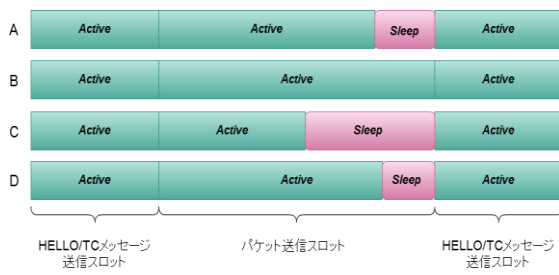


図 2 提案方式のタイムスロット

図 2 に示すように、提案方式では、時間軸を HELLO/TC メッセージ送信スロットとパケット送信スロットの 2 つのスロットに分ける。前者の HELLO/TC メッセージ送信スロットは、HELLO メッセージと TC メッセージなどを送信する期間で、各ノードは必ずアクティブとなる。後者のパケット送信スロットは、データパケットの送信や中継を行う他、残存電力量に応じた長さだけスリープする期間である。このスロット時間を T_{max} とすると、式(1)で求める T_{sleep} の間だけスリープ状態になる。ここで、 E_{ini} は初期電力量、 E_{rem} は残存電力量であり、両者の比率から、スリープ時間を 0 から T_{max} の間で変動させる。こうすることで、残存電力が少なければ

少ないほど長い時間、スリープモードに入ることができる。

$$T_{sleep} = (1 - E_{rem}/E_{ini}) * T_{max} \quad (1)$$

但し、送信するデータパケットがある場合は、送信が終了してからスリープするものとする。また、各ノードは、この T_{sleep} を HELLO メッセージに乗せて送ることによって、全てのノードは隣接ノードのスリープ時間を知ることができる。これにより、その直後のパケット送信スロットで隣接ノードが全てスリープすることが分かった場合は、このスロットでパケットを送信するのを延期する。そして、隣接ノードの中でスリープ時間が最も短い隣接ノードに対し、次の HELLO/TC メッセージ送信スロットで送る HELLO メッセージを用いて、パケット送信リクエストを送信する。これを受け取った隣接ノードは、次のパケット送信スロットではアクティブとなり、パケットを中継してもらうことができる。なお、隣接ノードは、パケットの中継が終わり次第、スリープする。

なお、この提案方式を用いたシミュレーション実験により、ノードの残存電力の合計を比較した結果、OLSR を用いたセンサネットワークよりも、提案方式の方が消費電力量を削減し、ネットワーク全体の寿命を延ばすことが可能であることを示した。

(2) 複数エリアに分割したセンサネットワークにおける通信量冗長化のためのスリープスケジューリング方式

センサネットワークの省電力化についての研究が盛んに行われている。しかし、これらの研究では、省電力化を優先するあまり、ほぼ全てのノードがスリープしてしまうと、必要最低限のノードからの情報しか送信されてこない。例えば、あるエリアで起動しているノードが 1 つだった場合、そのノードが故障した場合や、そのノードのデータを中継する隣接ノードとの通信が何らかの障害でできなくなった場合などは、そのエリアからの情報は得られないことになる。

また、観測対象の監視が目的の場合、その地形や設置物に合わせて、データを定期的に収集する必要があるが、従来方式では、スリープする都合でエリアが決定されるなど、利用者が規定したエリアに固定して、データを観測することができなかった。

そこで、本研究では、利用者が任意に観測エリアを設定し、これらの中で複数のノードをアクティブにして観測データを収集することを保証するスリープスケジューリング方法を提案した。これにより、各エリアで、同時刻に観測するデータの冗長化を図るとともに、スリープにより、ネットワーク寿命を可能な限り延ばすことを目指した。

ここで、想定するシチュエーションは、工場内の気温などの情報を検知し、収集するセ

ンサネットワークとする。そして、図 3 のように、工場内を任意のエリアで分割し、各エリアに複数のノードを配置する。エリアあたりのデータの損失を防ぐために、一定時間ごとに各エリアから複数のノードがシンクノードへデータを送信する。また、これらにノードを配置するとき、各ノードは自分がどのエリアに属しているかを知っているとす。

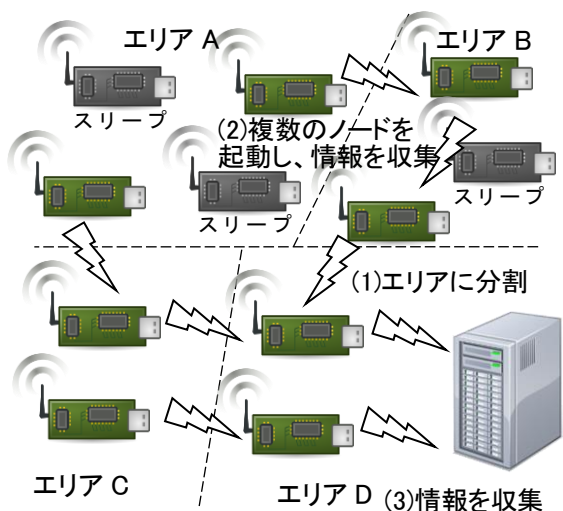


図 3 想定するシチュエーション

本方式における、各ノードの処理手順を以下に示す。

1. 同じ区画内のノードに電池残量(初期電力に対する現在の電池残量の割合)と通信可能フラグ(他のエリアと通信可能かどうかを示すもので、他のエリアのノードからメッセージを受け取った場合に、通信可能であると見なす)をブロードキャストする。
2. ブロードキャストパケットを受け取った各ノードは電池残量表を作成する。この過程により、全てのノードの電池残量表は同期されるものとする。
3. 電池残量表の値の中間値をしきい値に設定する。
4. 通信可能フラグがオンの中で、電池残量が最も多いノードの電池残量と自分の電池残量を比較し、一致したら起動する。
5. 電池残量がしきい値を下回ったノードはスリープを開始する。しきい値と自分の電池残量が一致した場合は起動する。
6. AODV などを用いて、シンクノードへのルートを決定し、パケット通信を開始する。

以上の処理を一定時間ごとに行い、スリープするノードを変化させていく。しかし、本方式には、特定のエリア同士でしか通信しなくなる問題と、あるエリアが孤立して、そのエリアのノードが通信できなくなる問題があった。そこで、これらの問題が回避できるようにノードを配置することを制約とした。以上の方式を用いたネットワーク実験を

行い、各ノードのバッテリー残量や到達パケット数、パケット損失数を比較した。その結果、提案方式によってバッテリーの寿命を延ばすことは確認できたものの、パケット到達数があまり多くなることが分かった。これは、スリープを行うことにより中継ノードが通信経路を見つけることができず、パケット損失数が増えたためであることが原因であった。このことから、パケットのルーティング処理とスリープスケジューリング処理を独立に行うのではなく、スリープスケジューリング処理を行ってからルーティング処理を開始して、パケットの経路が破壊されないように処理方法を変更する必要があることが分かった。

そして、最終年度の研究により、CCP (Coverage Configuration Protocol)を導入することで、経路接続性を考慮したスリープスケジューリング方式を提案しており、これを用いることで、平均到着パケット数が増加し、平均パケット損失数が減少することを確認している。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Masato Nakamura and Shigetomo Kimura, "Evaluation of Sleep Scheduling Method for Data Collection from Sensor Networks Divided into Local Areas," Proceedings of 2014 Eighth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS), Vol. 1, pp. 316-321, 2014. 査読有.
DOI: 10.1109/IMIS.2014.41

[学会発表] (計 2 件)

- ① 中村真人, 木村成伴, "複数エリアに分割したセンサネットワークにおける通信量冗長化のためのスリープスケジューリング方式," 信学技報, Vol. 113, No. 389, pp.57-62, 名古屋国際センター, 2014/1/24.
- ② 齊藤祐希, 木村成伴, "センサネットワークのためのスリープモードを考慮した OLSR の改良方式," 情報処理学会第 76 回全国大会講演論文集, Vol. 76, No. 3, pp. 309-310, 東京電機大学東京千住キャンパス, 2014/3/13.

[その他]

ホームページ等

<http://www.netlab.cs.tsukuba.ac.jp/~kimura/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木村成伴 (KIMURA, Shigetomo)

筑波大学システム情報系・准教授

研究者番号：20272180