

電池残量を考慮したアドホックネットワークルーティングの提案と
その予備評価池田 泰明¹⁾ 北須賀 輝明²⁾ 中西 恒夫²⁾³⁾ 福田 晃²⁾¹⁾ 九州大学大学院システム情報科学府²⁾ 九州大学大学院システム情報科学研究所³⁾ 九州大学システム LSI 研究センター

概要

災害などにより、既存のインフラストラクチャが使用できない状況下では、モバイルアドホックネットワークの利用が期待される。そのような状況下においては、ノードは電池電源のみで動作することが求められ、ノードの電源が長持ちするように考慮する必要がある。本稿では代表的なルーティングプロトコルである DSR に、周辺のノードの電池残量と比較して電池残量の少ないノードにはパケットを送信させないことにより電池の使用時間の延長を図る通信方式 PA-DSR (Power Aware Dynamic Source Routing) を提案する。本稿では PA-DSR の評価をシミュレーションにより行った結果、PA-DSR は DSR に比べてノードの平均消費電力を約 3-52% 削減できた。

Power Aware Dynamic Source Routing and Its Preliminary Evaluation

Taimei Ikeda¹⁾ Teruaki Kitasuka¹⁾ Tsuneo Nakanishi¹⁾²⁾ Akira Fukuda¹⁾¹⁾ Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University²⁾ System LSI Research Center, Kyushu University

Abstract

Since nodes in mobile ad hoc networks must usually work only with their batteries, they are required to reduce power consumption and consider the battery life of nodes. However, typical mobile ad hoc network routing protocols do not consider the battery life of nodes. We propose a routing algorithm called PA-DSR, an extension of DSR. In PA-DSR, nodes of which batteries are very lower than neighboring nodes do not broadcast the packets. This paper evaluates power consumption and rate of reached data of PA-DSR through simulation experiments. The results show PA-DSR reduces power consumption and ups rate of reached data for transmission than DSR.

1 はじめに

一般にモバイルアドホックネットワークの活用が期待される環境においては、ホストは外部からの給電を受けずに、電池電源のみで動作することが求められている。今日の移動計算機の容積ならびに重量の多くを電池が占めているが、電池の小型軽量化ならびに大容量化の傾向は緩慢であり、回路技術や通信方式等での省電力化を図り、重くかさばる大容量電池を不要とす

る努力が望まれる。

モバイルアドホックネットワークでは一般に物理層に無線を使用する。表 1 に 3 種類の無線 LAN の PC カードに、送信時ならびに受信時に流れる電流を示す。表 1 から明らかなように、一般に無線によるパケットの送信は、受信以上に電力を消費する。

一方、モバイルアドホックネットワークにおける研究課題として、ルーティングの問題がある。物理層

に無線を用いるモバイルアドホックネットワークでは、パケットの中継はブロードキャストによってパケツリレー的に行われるが、単純なパケツリレーではネットワークの規模が大きくなると、パケットの衝突による通信干渉、いわゆる Broadcast Storm の問題が生じる。モバイルアドホックネットワークにおける Broadcast Storm を回避すべく、多くのルーティング手法がこれまでに提案されている [1]-[4]。

モバイルアドホックネットワークは、アクセスポイントやバックボーンといった特殊なインフラストラクチャを必要とすることなく、携帯端末が集合した時点で、ユーザーの要求に応じて動的かつ自己適応的に構成されるネットワークである。モバイルアドホックネットワークの活用が期待されるのは今のところ地震などの大災害によってアクセスポイントやバックボーンといった特殊なインフラストラクチャが損傷した場合であるといわれている。そのような緊急時において連絡がとりたくてもパケットの中継によって自身の携帯端末の電池が失われてしまえば、モバイルアドホックネットワークを構成している意味がなくなる。我々のグループでは今までにパケットを送信するノードの送信出力を必要最小限に抑えることにより、ノードでの電力消費を抑える通信方式 LP-DSR を提案している [2]。今回我々はモバイルアドホックネットワーク環境において、周辺のノードと比べて電池残量が少ないノードにはパケットを送信させないルーティング手法 PA-DSR (Power Aware Dynamic Source Routing) を提案する。

PA-DSR は、モバイルアドホックネットワーク向けの代表的なルーティング手法である DSR (Dynamic Source Routing) を拡張し、周辺のノードと比べて電池残量が少ないノードにはパケットを中継させないことにより、送信元ノードから送信先ノードまでの各ノードの電池残量の総和が比較的多くなるルートを探査する。

本稿の第 2 章では、これまでに提案されているルーティング手法を紹介し、PA-DSR の基になったルーティングプロトコル、DSR について説明する。第 3 章では電池残量を考慮したルーティング、第 4 章では PA-DSR の詳細、第 5 章ではシミュレーションを用いて、PA-DSR のデータの到着率、各ノードにおける平均消費電力量を評価する。最後に第 6 章ではまとめと今後の課題について述べる。

2 関連研究

これまでに提案されているルーティングプロトコルは、大きく On-Demand Routing 方式とプロアクティブルーティング方式に分けられる。

On-Demand Routing 方式はパケットの送信要求発生時にルーティングを開始するプロトコルである。DSR (Dynamic Source Routing) [1],[2]、AODV (Ad-hoc On-Demand Distance Vector) [3] 等が代表例としてあげられる。

プロアクティブルーティング方式は各ノード同士が定期的にルーティング情報を交換し、各ホストが常時ネットワークポロジを把握するプロトコルである。ZRP (Zone Routing Protocol) [4] 等が代表例としてあげられる。

本稿で紹介する電池残量を考慮したルーティングプロトコル PA-DSR は DSR を拡張している。そこで、DSR に焦点を絞って紹介する。

DSR では、パケットの送信要求のあるノードが、ルート探索を行うための RREQ (Route Request) パケットを周辺のノードにブロードキャストする。RREQ パケットを受信したノードは、その末尾にノード自身の識別子を付加し、周辺のノードに再び RREQ パケットをブロードキャストする。RREQ パケットが目的ノードに到着すると、目的ノードはその RREQ に記述されている経路を逆にたどる RREP (Route Reply) パケットを返し、発信元ノードに自身 (= 目的ノード) までの経路を通知する。RREP パケットが発信元ノードに到着したら、発信元ノードはその RREP パケットに記述されている経路をノード内のルートキャッシュに加える。その後、発信元ノードはこの経路にしたがって目的ノードにデータパケットを送信する。

DSR の欠点としては、パケット送信が多発する環境では、送信のたびに RREQ パケットをブロードキャストするため、結果としてオーバーヘッドが大きくなることが挙げられる。

3 電池残量を考慮したルーティング

これまでに提案されている省電力指向アドホックネットワークプロトコルはもっとも消費電力が少なくすむルートを選択することが多い。しかし、実際アドホックネットワークを使う際は、ネットワークを形成する個々の携帯端末の電池残量を考慮すべきである。

表 1: 無線 LAN の PC カードの送受信時の消費電力量

製造者	A 社	B 社	C 社
送信時電流	285mA(5V)	310mA(5V)	450mA(3.3V)
受信時電流	185mA(5V)	210mA(5V)	270mA(3.3V)

アドホックネットワークでは、同じ内容のペケットがブロードキャストされるが、その中には結果として無駄になるものが多い。このような無駄なペケットを電池残量の少ないノードが中継することは電池の浪費となり、電池の寿命を短くする。アドホックネットワークではそれを形成するノードの数が多いため、ネットワークとしての信頼性が高いため、すぐに電池の寿命がくるとは好ましくない。ここで電池残量の多少は周辺のノードの比較の上で決定されるものであり、時間が経てば電池残量が少ないとされていたノードも周りと同じくらいになり、再びペケットを中継するようになる。

もし、電池残量の少ないノードと多いノードが近くにあるならば、多いノードだけがペケットを中継するだけで十分ネットワークは構築できる。そして、電池残量の少ないノードは自分が送信したいときや、メッセージを受信する立場にあるとすのために電池を温存しておく。

4 PA-DSR

本章では、今回評価を行った電池残量を考慮したルーティングを実現するプロトコル PA-DSR について説明する。

4.1 PA-DSR の概要

PA-DSR では、基本的には DSR とアルゴリズムは同じであるが、各ノードは経路探索時に、自身の電池残量が周辺のノードの電池残量と比較して相対的に少ないと判断した場合にはペケットを中継しない。通信に用いるルートは DSR と同じで、一番最初に送信先ノードに到着したルートである。

4.2 アルゴリズム

上記のような機能を DSR に追加するためには、各ノードは自身の電池残量が周辺のノードよりも少ないと判断することができればよい。そのために以下の

ように DSR に変更を加える。

電池残量の多い少ないは周辺のノードの電池残量を比較して決定するため、まず、周辺のノードの電池残量を知る必要がある。周辺のノードの電池残量を知るためだけに定期的にペケットを送信しては、無駄に電池を消費することになる。そこで、RREQ ペケットや RREP ペケット、実際にデータを送るペケットを中継する際にそのペケットを中継するノードの電池残量の情報も付加する。

今回、電池残量が少ないと判断するのは、周辺のノードの電池残量の平均と比較して自分の電池残量が少ない場合としている。そのため、ペケットを受信したノードはそれに付加された電池残量の情報を格納しておく必要があり、ノードに電池残量を格納する配列をもたせ、この配列に電池残量を格納する。なお、アドホックネットワークのノードの位置は時間と共に変化するものであるから、以前は自身のノードの近くにいたノードが今は遠くに移動したということは十分にあり得る。その移動したノードの電池残量の値を自身のノードの周辺の電池残量の平均を出す際に使用すべきでない。そこで、考慮する期間となる鮮度を設け、これが 0 になるとこれと対の電池残量は考慮しないこととし、この鮮度を電池残量と一緒にノードの配列に格納する。電池残量の平均値はノードの配列の中で鮮度が 0 でない電池残量から割り出す。この平均値もペケットに付加し、ペケットを送信するかの基準に使う。

以上のことから、ペケットを受け取ったノードは次のアルゴリズムに従う。

RREQ ペケットの場合:

1. ペケットを受信したノードはペケットに付加されている電池残量の情報を鮮度と一緒に配列に格納する。
2. 電池残量の平均値と自分の電池残量を比較して自分の電池残量が少なければ、ペケットを破棄する (終了)。そうでなければ 3 へ。

3. 電池残量の配列から周辺のノードの電池残量の平均値を割り出し、パケットに付加する。
4. 自分の電池残量の値をパケットに付加して、パケットを中継する (終了)。

その他のパケットの場合:

- 1、4のみ実行する。

今回提案する手法は上記の通り、RREQ パケットをノードが中継する際のアルゴリズムにしか変更を加えていない。その他の場合はDSRのプロトコルに従う。ゆえに他の省電力指向のプロトコルと組み合わせることができ、省電力の効果の倍増が期待できる。

4.3 電池残量の表現方法

今回提案する手法は、周辺のノードの電池残量に対して、電池残量の比較的少ないノードにはパケットを中継させないことを目的としている。電池残量を表現する際に電力量の単位である [Wh] で表現すると、以下のような場合において、不都合が生じる。そこで、電池残量を 5 段階のレベルで表現している。

電池量の最大値を 100 として、81~100 の間ならばレベル 5、61~80 の間ならばレベル 4、41~60 の間ならばレベル 3、21~40 の間ならばレベル 2、0~20 の間ならばレベル 1 とする。電池残量の少ないノードの選出の話に関係するが、周辺のノードの電池残量の平均をとって電池残量の少ないノードを選出するので、電池残量を [Wh] で表したのでは選択できるルートが少なくなり、通信経路の確立が困難になる。

図 1、図 2 の節点はノード、枝はパケットの中継を意味する。節点内の数字は図 1 では電池残量を表しており、図 2 では電池残量のレベルを表している。

図 1 の場合は周辺ノードの平均電池残量は 75.5 であり、白色のノードの電池残量 74 よりも大きく、白色のノードはパケットを中継しない。図 2 の場合だと、周辺ノードの平均レベルは 4 となり、白色のノードの電池残量のレベル 4 と等しいためパケットを中継する。以上の例から分かるようにノードの電池残量を実際の値で表した場合、電池残量にそれほど差はないにもかかわらず、パケットの中継をしないノードができる。今回、提案する電池残量を考慮したルーティングプロトコルは周辺のノードの電池残量を比べて自

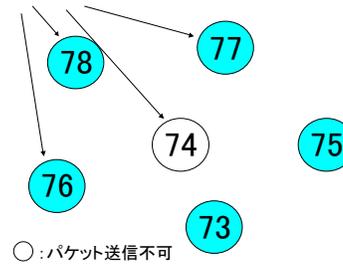


図 1: ノードの電池残量を実際の値で表した場合

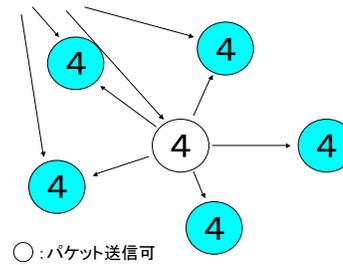


図 2: ノードの電池残量をレベルで表した場合

分の電池残量が比較的少ないときにパケットの中継をさせないのが目的である。しかし、電池残量を実際の値で表した場合にはこのようなケースが生じるため、電池残量を 5 段階のレベルで表現している。

5 シミュレーション

5.1 節で述べるシミュレーションモデルを使用して、ノード間の電池残量の格差を変更していき、DSR と PA-DSR 使用時のデータ到着率と各ノードでの平均消費電力量を比較する。このシミュレーションでは、ノードの電池切れによって通信が行えなくなる事態を想定している。データの到着率とは、通信要求に対して、実際に通信が行えた数の割合である。平均消費電力量とは、DSR と PA-DSR の 1 つのデータ送信要求ごとの各ノードの平均消費電力量である。

5.1 シミュレーションモデル

今回のシミュレーションでは初期最低電池残量を変化させて行う。初期最低電池残量とは、シミュレーション開始時の各ノードの電池残量の最低値のことである。例えば、初期最低電池残量が 1200[mWh] の場合、シミュレーション開始時の各ノードの電池残量は 1200 ~ 2000[mWh] の間のランダムな値を割り当てる。

ノードの初期最低電池残量を 0 ~ 1600[mWh] の間で 400 刻みで変化させる。このシミュレーションで、ノードの電池残量の差にばらつきがある場合と、それともさほど差がない場合について DSR と PA-DSR の違いを検証する。

- ノードは 120 × 120[m] の正方形の 2 次元フィールドに配置する。
- 送信半径は 25[m] である。
- 各ノードの位置は固定で、移動を行わない。
- データの送信要求は同時に起こる。
- 送信元ノードと目的ノードはフィールドに配置されたノードからランダムに選ばれる。
- ノードの最大電池容量は 2[Wh] とする。(この値は携帯電話を参考に割り出されている。)
- 送信時に 1[mWh]、受信時に 0.8[mWh]、何もしてなくても 0.4[mWh] 減るものとする。
- 電池残量が 0 ~ 399[mWh] までをレベル 1、400 ~ 799[mWh] までをレベル 2、800 ~ 1199[mWh] までをレベル 3、1200[mWh] ~ 1599[mWh] までをレベル 4、1600 ~ 2000[mWh] までをレベル 5 としている。
- 同じ条件でノードの配置、送信元ノード、目的ノードをランダムに変化させ、100 回シミュレーションをして、その平均値を比較する。
- パケットの衝突は起こらないとする。
- ノードの数は 64 である。
- データの送信要求回数 (通信を行いたいという数) は 40 である。
- 許容最大ホップ数は 8 である。
- 再送回数は 1 回である。

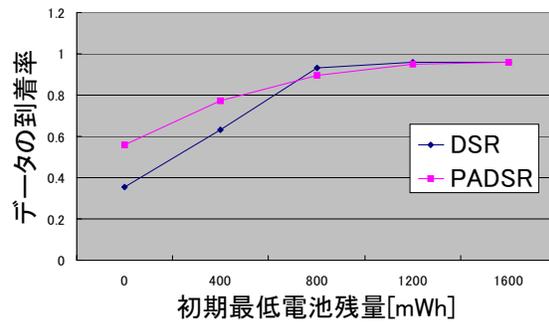


図 3: データの到着率

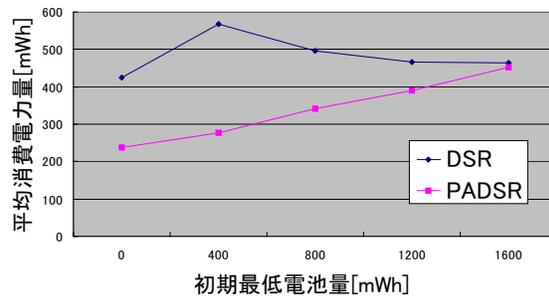


図 4: 消費電力量

5.2 シミュレーション結果

図 3 に DSR と PA-DSR の各ルーティング手法により発見された経路を用いて通信を行ったときのデータの到着率のシミュレーション結果を示す。データの到着率では、電池残量の差にばらつきがある場合には PA-DSR の方が到着率が高くなっている。一方、電池残量の差がない場合には DSR の方が到着率が高くなっているが、PA-DSR との差はそれほど大きくない。

次に、図 4 に DSR と PA-DSR の各ルーティング手法により発見された経路を用いて通信を行ったときの 1 つのデータ送信要求における各ノードでの平均消費電力量のシミュレーションの結果を示す。常に PA-DSR の方が消費電力は少なくなっていることが分かる。初期最低電池残量が 400 の時に DSR の消費

電力が一番多くなっているが、シミュレーションでは通信要求が 100 回あるため、通信要求の後ろの方では電池切れのために通信が途切れることが多くなり、再送するパケットが増加したためだと思われる。

6 おわりに

本論文では、モバイルアドホックネットワーク環境において、各ノードの電池残量を考慮して、周辺のノードの電池残量を比較して電池残量の少ないノードにはパケットを中継させないルーティングプロトコル、PA-DSR を提案し、その有効性を検討した。

シミュレーションにより、各ノードでの平均消費電力量は 3-52 %削減できることが確認できた。加えて、PA-DSR では、周辺のノードの電池残量と比較して電池残量の少ないノードにはパケットを中継させないことにより、パケットの数を減らしている。このことによつて、その電池残量の少ないノードだけでなく、他のノードの省電力化にもつながら、データの到着率が高くなることも確認できた。ノードの電池残量にばらつきがある状況下において、PA-DSR の方がデータの到着率が高くなることが確認できた。

今回提案した電池残量を考慮したルーティング手法は DSR 以外のルーティングプロトコルにも適用可能である。DSR に適用した PA-DSR の有効性は確認できたものの、他のルーティングプロトコルをベースにした場合も評価を行う必要がある。しかし、その場合でも DSR がベースの場合と同じように中継されるパケット数が少なくなるため、有効性は見込める。

今回のシミュレーションでは、パケットの衝突は起こらず、パケットは転送範囲内にあるノードには必ず届き、各ノードは移動を行わないと仮定して行った。シミュレータの開発を進めて、これらの仮定を取り除く必要がある。すなわち、パケットの衝突が起こり、障害物などの理由により転送範囲内のノードでもパケットが受信できないことがあり、各ノードが移動を行うといった実環境に近いシミュレーションを行う必要がある。

PA-DSR では、周辺のノードの電池残量と比べて電池残量の少ないノードにはパケットを送信させないようにしている。その少ないと判断する基準値をパケットが多いか少ないかという状況に応じて決定することによって、パケットの送信が少ない状況においても DSR のデータ到着率と変わらないようにしなければならない。

実装を通したこれらの問題に対する検討も今後の課題である。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金（基盤 B，課題番号 12480099），ならびに笹川科学研究助成による助成を部分的に受け、実施されています。

参考文献

- [1] K. Tsudaka, A. Matsumoto, M. Kawahara, and H. Okada: "Power Control Routing for Multi Hop Wireless Ad-Hoc Network," Proc.MDMC2001, pp.66-173, 2001.
- [2] 澤田憲作, 中西恒夫, 福田晃: "省電力指向可変レベルアドホックネットワークルーティングの評価," 情報処理学会研究報告 2001-MBL-18, pp.91-98, 2001.
- [3] 橋本英卓, 中西恒夫, 福田晃: "セル位置情報に基づくアドホックネットワークルーティングの評価," 情報処理学会研究報告 2001-MBL-18, pp.197-203, 2001.
- [4] C. E. Perkins: *Ad Hoc Networking*, Addison-Wesley, 2001.
- [5] D. B. Johnson and D. A. Maltz: "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks," *Mobile Computing*, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [6] D. A. Maltz, D. B. Johnson, Y. Hu, and J. Jetcheva: "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-03.txt, 1999.
- [7] C. Perkins and E. Royer: "Ad Hoc On Demand Distance Vector(AODV) Routing," Internet Draft, draft-ietf-manet-aodv-02.txt, 1998.
- [8] Z. Haas and M. Pearlman: "The Zone Routing Protocol(ZRP) for Mobile Computing," *Mobile Ad-Hoc Network(MANET) Working Group*, IETF, 1998.