

## 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

澤田 憲作<sup>1)</sup> 中西 恒夫<sup>1)</sup> 福田 晃<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科

<sup>2)</sup> 九州大学大学院システム情報科学研究院

### 概要

モバイルアドホックネットワークでは、物理層に無線を利用しているため通信はブロードキャストによって行われるが、一般にその送信出力は一定値に固定されている。一方、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、ノードは電池電源のみで動作することが求められ、ノードの消費電力を抑える必要がある。筆者らは代表的なルーティング手法である DSR に、パケットを送信するノードの送信出力を必要最低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。本稿では LP-DSR をシミュレーションにより評価を行う。その結果、LP-DSR は DSR と比べて 15% 以上の送信に伴う消費電力を削減できることを確認した。

## Evaluation of Low Power Dynamic Ad Hoc Network Routing

Kensaku Sawada<sup>1)</sup> Tsuneo Nakanishi<sup>1)</sup> Akira Fukuda<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Graduate School of Information Science  
Nara Institute of Science and Technology

<sup>2)</sup> Graduate School of Information Science and Electrical Engineering  
Kyushu University

### Abstract

Typical mobile ad hoc network broadcasts packets by air. Its transmission level is fixed even if packets are reachable at lower transmission levels. Nodes in mobile ad hoc network must usually work only with power supplied by their batteries and thus they are required to reduce power consumption. The authors have proposed a routing algorithm named LP-DSR, an extension of DSR, which reduce power consumption by suppressing transmission levels as low as possible. This paper evaluates power consumption of LP-DSR by simulation. The results show LP-DSR reduces power consumption for transmission by 15 percent 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、電池電力のみで動作することが求められる。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物理層に無線を使用する。表 1 は、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している。表からも明らかなように、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

表 1: 無線 LAN の PC カードの送受信時の消費電流量

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)

では、パケットの伝播はブロードキャストによってパケットリレー的に行われるが、単純なパケットリレーではネットワークの規模がある程度大きくなると、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 を回避するべく、多くのルーティング手法がこれまで提案されている [1]–[10]。

ルーティングによってパケットが送信先ノードまで送信されることさえ保証されれば、必ずしも最大送信出力でパケットを送り出す必要はなく、パケットの到着が保証される最低送信出力でパケットを送り出し、電池の消費を抑えることができる。筆者らは、モバイルアドホックネットワーク環境において、通信時の送信出力を動的に変化させることにより、アドホックネットワークを構成しているホスト全体で、パケットの送受信に要する電力を削減するルーティング手法 LP-DSR (Low Power Dynamic Source Routing) を提案している [11]。

LP-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、送信元ノードから送信先ノードまでの各ノードにおける送信電力の総和が最小の、すなわち電力消費最小のルートを探査する。

本稿の第 2 節では、これまでに提案されているルーティング手法の紹介し、LP-DSR で拡張したルーティング手法、DSR について説明する。第 3 節では省電力指向ルーティング、第 4 節では LP-DSR の詳細、第 5 章では LP-DSR の有効性について検証した結果について述べる。最後に第 6 節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 Hop by Hop 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り、DSR (Dynamic Source Routing)[3]–[6], AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector)[7] 等が代表例として挙げられる。

Hop by Hop 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トポロジを把握するプロトコルであり、DSDV (Destination-Sequenced Distance Vector)[8, 9], ZRP (Zene Routing Protocol)[10] などが代表例として挙げられる。

また、パケットを送信するノードの送信出力を動的に変化させるルーティングプロトコルとして PCR(Power Control Routing) [12] がある。

本稿で評価する省電力指向ルーティングのプロトコルである LP-DSR は DSR を拡張している。

DSR では、パケットの送信要求があるノードは、送信先ノードまでのルートを探査するべく、クエリーパケットと呼ばれるパケットを周辺ノードにブロードキャストする。クエリーパケットは送信先ノードが見つかるまで、ブロードキャストによるパケットリレーで周辺ノードに順次伝播される。クエリーパケットには以下の情報が記録される。

- 送信元ノードの識別子
- 送信先ノードの識別子
- 経路ノードの識別子のリスト

経路ノードの識別子のリストには、クエリーパケットがノードを通過するたびにそのノードの識別子が追加されているため、各ノードにおいてこのリストを参照することで送信元ノードから自身までのルートを知ることができる。

各ノードには、最近受信したクエリーパケットの送信元ノードならびに送信先ノードの識別子の対を記憶するキャッシュが設けられる。各ノードにおいて、受信したクエリーパケットの送信元ノードならびに送信先ノードの識別子の対がキャッシュから見つかった場合は、送信元ノードから送信先ノードを探索する別ルートのクエリーパケットがすでに伝播されていることになるため、当該クエリーパケットを破棄してこれ以上の伝播を防ぐ。

受信したクエリーパケットの経路ノードのリストに自身が含まれている場合は、当該クエリーパケットがループしていることになるため、当該クエリーパケットを破棄してこれ以上の伝播を防ぐ。

受信したクエリーパケットの送信先ノードが自身の場合、クエリーパケットの経路ノードのリストには、送信元ノードから自身、すなわち送信先ノードまでのルートが格納されている。送信元ノードへの応答として、この経路ノードのリストを、リスト中の経路ノードを逆にたどるルートで返送し、送信元ノードに自身へのルートを通知する。

その他の場合は、経路ノードの識別子のリストの末尾に自身の識別子を追加し、周辺のノードにクエリーパケットをブロードキャストする。

### 3 省電力指向ルーティング

ルーティングによりパケットが送信先ノードまで伝播されることが保証されれば、各ノードは最大送

信出力でパケットを送信する必要はなく、次の経路ノードに到達する程度の送信出力でパケットを送信すればよい。送信の際に各ノードにおいて、少なくとも送信電力以上の電力が消費されるため、送信出力を必要最小限まで下げることにより各ノードにおける電力消費を抑えられる。

電波の到達空間体積と送信電力が比例し、送信の際に携帯機器において送信電力以上の消費電力が必要とされるものと仮定する。この仮定のもとパケットの伝達の際に、ネットワークを構成するノードにおいて消費される電力の総計は、各ノードが送信する電波の到達距離の立法和に比例すると考えられる。

図1は送信元ノードから送信先ノードまでパケットをルーティングしている例である。(a)は途中2つの経路ノードで最大送信出力でパケットをブロードキャストしており、全ノードでの消費電力は  $\alpha(r_{max}^3 + r_{max}^3 + r_{max}^3)$  である。(b)は途中2つの経路ノードで到達最小限の送信出力でパケットをブロードキャストしており、全ノードでの消費電力は  $\alpha(r_1^3 + r_2^3 + r_3^3)$  である。(c)は、送信元ノードから送信先ノードに途中他のノードによる中継なしでパケットを送っているが、全ノードでの消費電力は  $\alpha(r_1 + r_2 + r_3)^3$  であり、(b)の場合よりも多くの電力を消費する。この例では、最大送信出力でパケットをブロードキャストする(a)よりも、送信出力を可能な限り下げる(b)、(c)の方が電力消費が少ない。また、ブロードキャストによるパケットの中継の際の経路ノード数がより少ない(c)以上に、経路ノード数のより多い(b)の方が電力消費が少なくなっている。

この例のように、送信出力を可変にし、またより電力消費の少なく済むパケットの伝播ルートを選択することにより、移動計算機の通信に要する電力消費の削減が期待される。

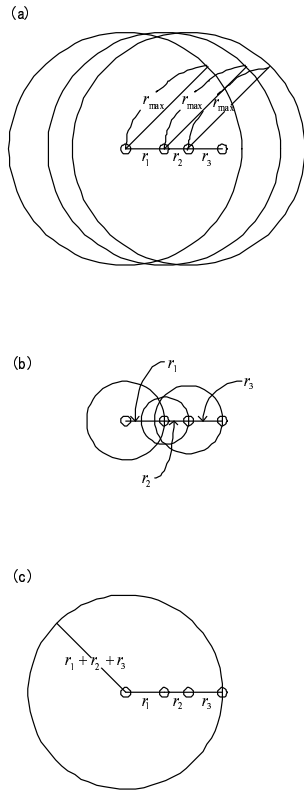


図 1: 省電力指向ルーティング

## 4 LP-DSR

本節では、今回評価を行った省電力指向ルーティングを実現するプロトコルの LP-DSR をについて説明する。

### 4.1 LP-DSR の概要

LP-DSR は、DSR によるルーティング時に、各ノードにおいて次の経路ノードに到達するための最低送信電力を計算する。送信元ノードから送信先ノードまでの各ノードにおける最低送信電力の総和が最小のルートをルーティングし、そのルートを用いて通信を行う (図 2)。

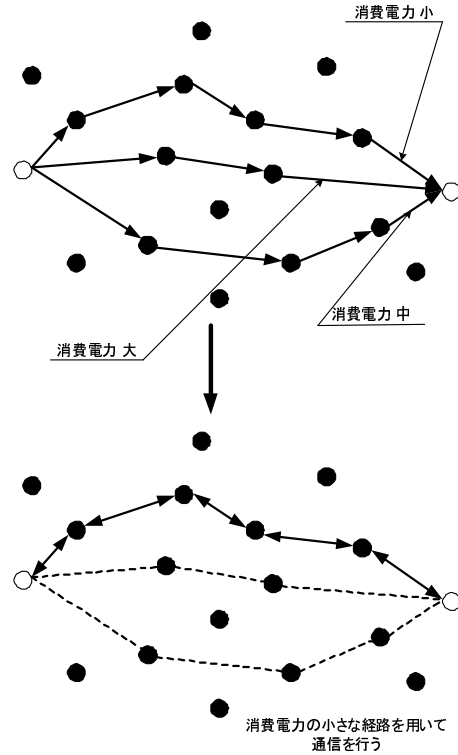


図 2: ルートの選択

### 4.2 アルゴリズム

各ノードは前の経路ノードと自身までパケットを伝搬するのに最低限必要な最低送信電力を導く。

最低送信電力を導くために、ノードはパケットの受信レベルの測定と、測定した受信レベルをもとに前の経路ノードから自身までの最低送信出力を導出する。

LP-DSR では、クエリーパケットには DSR において記録される情報以外に、各経路ノードにおいて求められた、前の経路ノードから自身にパケットを伝搬する最低送信電力のリストが記録される。また、各ノードは最近受信したクエリーパケットの送信元ノードと送信先ノードの識別子の対に加えて、経由したパケットが伝播されてきたルートの送信元ノードから自身までの最低送信出力の和のうち、最小の

値をキャッシュに記憶する。受信したクエリーパケットが、伝播されてきたルートの送信元ノードから自身までの最低送信出力の和が、キャッシュに記憶されている最低送信出力の和の最小値より大きければ、当該クエリーパケットを周辺ノードにブロードキャストし、送信先ノードに到着したとしてもその時の最低送信出力の和は、先に周辺ノードにブロードキャストしたクエリーパケットの送信先ノード到着時の最低送信出力の和よりも小さな値になることはないため、当該クエリーパケットを破棄してこれ以上の伝播を防ぐ。

DSR では、各ノードに設けられている受信したクエリーパケットの送信元ノードならびに送信先ノードの識別子の対を記憶するキャッシュから、受信したクエリーパケットの送信元のノードならびに送信先ノードの識別子の対が見つかった場合は、当該クエリーパケットの破棄を行う。LP-DSR では、後からきたクエリーパケットについて、送信元のノードならびに送信先ノードの識別子の対がキャッシュに存在しているものの、伝播されてきたルートの送信元ノードから自身までの各ノードの最低送信出力の和が、既に伝播されている送信元ノードと自身までの通信に最低必要な最低送信出力の和よりも小さな場合がある。この場合、後に到着したクエリーパケットが伝播されてきたルートがより電力消費の小さいルートに相当するため、クエリーパケットを破棄せずに周辺ノードへブロードキャストする。

その他の場合は DSR のプロトコルに従う。

ルーティング結果送信時は、経路ノードの最低送信電力のリストを逆から参照し、参照した送信電力で送信する。

通信時利用ルートの経路ノード数が多くなると、ノードの故障や電池切れといったノード自体に問題が生じる可能性、また送信先ノードの電波到達範囲外へ受信側ホストが移動する可能性が高くなる。

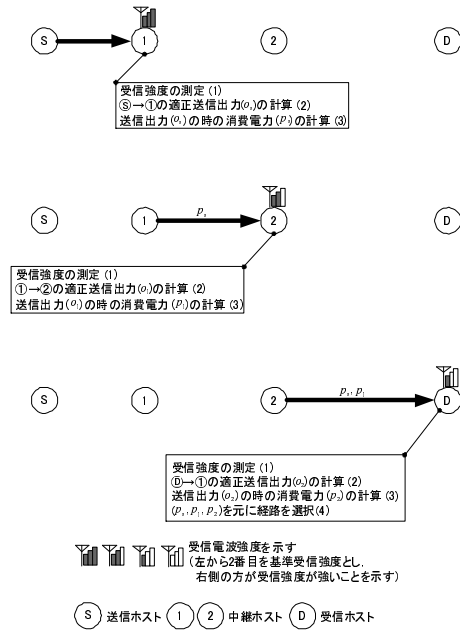


図 3: ルーティング時の各ホストにおける処理

## 5 シミュレーション

次のようなシミュレーションモデルを使用して、DSR と LP-DSR における通信時のノードの送信出力による消費電力と、通信時に使用する経路の経由ノード数を比較した。

- ノードは 120m × 120m の正方形のフィールドに配置する。
- 各ノードは 2 次元の平面状に位置する。
- フィールドにはノードを 36, 64, 100, 144, 225 台 配置する。
- 送信元ノードは (30m, 30m) の位置に、目的ノードは (90m, 90m) の位置に配置する。
- 各ノードの位置は固定で、移動を行わない。

## 5.1 消費電力

図4に DSR と LP-DSR の各ルーティング手法により発見された経路で通信を行ったときに経路中のノードが送信によって消費する電力のシミュレーション結果を示す。図4から LP-DSR は DSR に比べて、送信によって消費する電力は 85%程度に抑えられることがわかる。

DSR でも LP-DSR でも送信によって消費する電力は、フィールド上のノードの密度が高くなると消費電力は小さくなるが、ノードの密度が高くなる過ぎると消費電力は高くなっている。

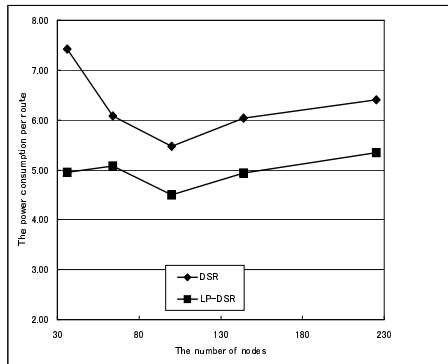


図 4: 消費電力

## 5.2 経路中の中継ノード数

図5に DSR と LP-DSR の各ルーティング手法により発見された経路のノード数を示す。

これより、LP-DSR は DSR に比べて経路中のノードは 10%から 40%程度多くなることが確認された。

## 5.3 考察

図4の結果から LP-DSR によって発見された経路は、DSR によって発見された経路よりも、送信に要する消費電力が小さくなることがわかる。しかし、図

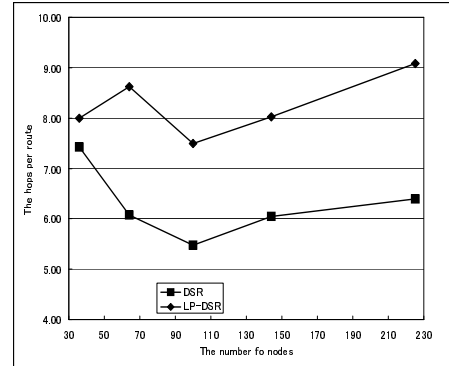


図 5: 中継ノード数

5からわかるように、LP-DSR で発見されるルートは、通信時に経由するノード数が多くなる。これは通信時の送信出力を小さく設定し電波の伝達範囲を縮小しているためである。このことにより LP-DSR を用いるとルート断絶の可能性が高くなる。通信時利用ルートの経由ノード数が多くなると、ノードの故障や電池切れといったノード自体に問題が生じる可能性、また送信先ノードの電波到達範囲外へ受信側ホストが移動する可能性が高くなる。

また、ルート断絶の可能性が高くなることは、通信不安定の要素として大きいと考えられる。

## 6 おわりに

本稿では、モバイルアドホックネットワーク環境において、各ノードの送信出力を動的に変化させることにより、ネットワーク中のノードの通信に要する総消費電力を削減するルーティング手法、LP-DSR の有効性を検討した。

シミュレーションにより、通信時に使用する経路中のノードが送信の際に消費する電力の省電力化は確認できた。また、LP-DSR では、各ノードにおいて次の経由ノードに到達する程度の送信出力でパケットを送信する。このため通信時に使用する経路中のノード数が DSR と比べて増加することも確認した。

今回のシミュレーションでは、送信元ノードと目的ノードの位置を明示的に指定し、各ノードは移動を行わないと仮定して行った。シミュレーターの開発を進め送信先ノードと目的ノードの位置を変化させた場合、また各ノードが移動を行う場合のシミュレーションを行う必要がある。

LP-DSRでは、ぎりぎり到達する程度まで送信出力を下げパケットを送信する。このためエラーの増加や経路ノードの移動に伴うルート断絶の危険が高くなる。逆に、安全のために送信出力を上げてパケットを送信すると省電力効果が低減するため、送信出力はエラーやルート断絶の危険性と省電力効果を勘案して適切に設定されなければならない。

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

今回、関連研究の参考文献をご提供いただいた、関西大学工学部電子工学科の岡田博美先生、関西大学大学院工学研究科電子工学専攻の松本彰朗氏に謝意を表します。

## 参考文献

- [1] Sze-Tao Ni, Yu-Chee Tseng, Yuh-Shyan Chen, and Jang-Ping Sheu, "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network", *Proc. IEEE/ACM Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (MOBICOM)*, pp.151-162, Aug. 1999.
- [2] 西澤 正稔, 荻野 浩明, 原 隆浩, 塚本 昌彦, 西尾 章治郎, 「アドホックネットワークにおける片方リンクを考慮したルーティング方式」, 情処論, Vol.41, No.3, pp.783-791, 2000年3月.
- [3] Josh Broch, David A.Maltz, David B.Johnson, Yih-Chun Hu, Jorjeta Jetcheva "A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols," *Proc. IEEE/ACM Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (MOBICOM)*, pp.85-97, Oct. 1998.
- [4] Johnson D.B., "Routing in Ad Hoc Networks of Mobile Host," *Proc. IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pp.158-163, Dec.1994.
- [5] Josh Broch, David A.Maltz, David B.Johnson, Yih-Chun Hu and Jorjeta Jetcheva, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," *Internet Draft*, Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-03.txt, 1999.
- [6] David B. Johnson and David A. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks," *Mobile Computing*, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [7] C. Perkins and E. Royer, "Ad Hoc On Demand Distance Vector(AODV) Routing," *Internet Draft*, draft-ietf-manet-aodv-02.txt, May 1998.
- [8] C. Perkins and E. Royer, "Destination-Sequenced Distance Vector," *Internet Draft*, draft-ietf-manet-aodv-00.txt, 1998.
- [9] C. Perkins and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing(DSDV) for Mobile Computers," *Proc, SIG-COMM*, pp.234-244, Sep.1994.
- [10] Z. Haas and M.Pearlman, "The Zone Routing Protocol(ZRP) for Ad Hoc Networks," *Mobile Ad-hoc Network (MANET) Working Group, IETF*, Aug.1998.

- [11] 澤田憲作, 中西恒夫, 福田晃, 「省電力指向アドホックネットワークルーティング」, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2001) シンポジウム論文集, pp.139-144, 2001年6月.
- [12] Kentaro Tsudaka, Akira Matsumoto, Masanobu Kawahara, Hiromi Okada, “Power Control Routing for Multi Hop Wireless Ad-Hoc Network,” *MDMC2001*, pp166-173, Jun.2001.