

アドホックネットワークにおける無線端末の省電力に向けた
ルートディスカバリー方式の提案

Route Discovery Method for Low-Power of Wireless Terminals in Ad-Hoc Networks

有川 隼†

Jun ARIKAWA

松田 充敏†

Mitsutoshi MATSUDA

能登 正人†

Masato NOTO

1. はじめに

近年、無線のインタフェースである省電力型ラップトップパソコンやパームトップの端末が一般的に普及したことにより、より高度な無線ネットワークの実現へ向けた研究が盛んに行われている。代表的な技術として、アドホックネットワークというその場限りのネットワークを構築してデータをやり取りする仕組みが考えられている。アドホックネットワークは、各無線端末が通信を中継するノードとしても機能し、複数ノードを介したマルチホップ通信により、直接通信できないノードに対してもデータ通信を行うことが可能であり、基地局のような固定インフラを必要としないという特徴がある [1]。このように、各端末がアドホックネットワークの構築に重要な機能を持つため、各端末の電力消費量を抑えることが解決すべき問題の一つである [2, 3]。しかしながら、常にトポロジが変化するアドホックネットワークのルーティングプロトコルは、ノードの高い移動性についていけるものでなくてはならない。そのためには、頻繁に経路情報を更新する必要があるが、各ノード間で頻繁に経路情報の更新に関する通信を行うことになるため、端末の電力消費量を高めてしまうことに繋がる。そこで、いかにして経路情報の更新に関する通信を効率化するかが課題の一つとなっている [4]。

アドホックネットワークのルーティングプロトコルにおいては、ルートディスカバリーと呼ばれる経路探索のフェーズと、ルートメンテナンスと呼ばれる経路維持のフェーズに分けられる。本論文では、このルートディスカバリーにおいて無駄な通信が行われていることを説明し、ルートディスカバリーを見直すことで、そのような通信をできるだけ減らすための提案を行う。本提案手法は、経路探索に要する時間に関しては特性が劣化する可能性があるものの、省電力化に対しての効果が期待できる。そこで、評価に際しては、電力と遅延の両方の観点から考察するために、基本的なモデルを導入し、性能

評価を目的としたシミュレーション実験を行い、提案手法の有効性について議論する。

2. ルートディスカバリー

2.1 DSR

DSR (Dynamic Source Routing) プロトコル [5, 6, 7] は、アドホックネットワークにおいて最も代表的なプロトコルであり、1994年にDavidらによって提案され2004年にRFC化されている。大まかにDSRの機能はルートディスカバリーとルートメンテナンスの二つに分けられる。

ルートディスカバリーは、送信元ノード (SRC) が送信先ノード (DEST) を探そうとする動作で、経路情報を構築する必要が生じる場合に行われる。手順としては、RREQ (Route Request) パケットを周囲のノードにフラッディングすることによって行われる。RREQを受け取ったノードは、まず自分がDESTでないか確認する。もし自分がDESTであれば受信可能を示すRREP (Route Reply) パケットをユニキャストでRREQを送信したノードに返す。DESTでない場合は、さらに周辺のノードへとRREQをフラッディングしていく。このようなプロセスを各ノードが実行することで、やがてDESTにRREQが到達し、そこまでの経路を遡ってRREPがSRCに返ってくるため、経路の探索が可能となる。またDSRでは、ルートキャッシュという過去の経路履歴をキャッシュしており、これに目的ノードが含まれている場合は、再フラッディングを行わずに、RREPを返すことができる。しかしながら、トポロジの変化などによって経路情報が実際と異なった場合には、上記の手順に従った経路探索が必要になる。

ルートメンテナンスは、もしキャッシュしている経路のいくつかが途絶えた場合に、その途絶えた先のノードへの送信要求があったノードに対して、ルートエラーパケットを返す処理である。これにより各ノードは、目的ノードへのリンクが途絶えたことを知り、他の通信経路を探索する必要がある場合には、再びルートディスカ

†神奈川大学工学部電子情報フロンティア学科, Department of Electronics and Informatics Frontiers, Kanagawa University

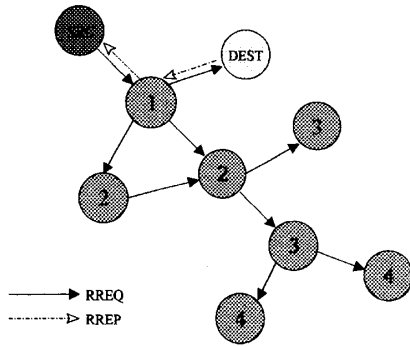


図1: フラッディングの例

バリーが行われる。

2.2 問題点

2.1節で述べた手順によってルートディスカバリーは行われるが、以下に述べるような問題点がある。図1のようにフラッディングが行われた場合を考える。ここで、ノードに振られた番号はSRCからのホップ数である。

SRCがRREQパケットを送信すると1番のノードがこれを受信する。受信したノードはDESTではないので、RREQをフラッディングする。次いでDESTと2番のノードが1番のノードが送信したRREQを受信する。この時2番の各ノードは、既にRREQがDESTに届いたことを知らないなので、さらにRREQを3番の各ノードへフラッディングしてしまう。そのため、この場合のDESTに対するフラッディングが次々で行われてしまい、既にDESTまでRREQが到達しているにも関わらず通信を行う。これにより、各ノードの無駄な通信による電力消費に繋がってしまうという問題が生じている。

3. 提案手法

3.1 フラッディングアルゴリズム

本研究では、無駄なフラッディングを極力抑えるために、ある一定ホップ数 h_{max} までは、RREQをすぐに再送信せずノードで一定時間送信を遅らせる方法を提案する。具体的には、各ノードに以下のような機能を追加する。なお、CP (Closing Packet) とは、フラッディングを終了させるためのパケットで、SRCが送信源となる。

1. RREQ 受信時

Step 1 RREQを受け取ったノードは自身がDESTであるかどうか確かめる。DESTであった場合はStep 5へ。

Step 2 RREQパケットのOption領域のホップカウントよりSRCからのホップ数 h を調べる。

h が h_{max} より大きければStep 4へ。

Step 3 CPの受信がないことを確認するための時間 t_{stop} だけ待つ。 t_{stop} 内にCPを受信しなかった場合Step 4へ、CPを受信した場合は、CP受信時の処理へ移行する。

Step 4 周辺ノードへRREQをフラッディングし、RREQ受信処理を終了する。

Step 5 RREPパケットを返信しルートディスカバリーを終了する。

2. RREP 受信時 (SRCのみの処理)

Step 1 RREQパケットのOption領域のホップカウントよりDESTまでのホップ数を調べ、 h_{max} 以下の時はStep 2へ、それ以外はCPのプロセスを終了する。

Step 2 周辺ノードにCPを送信する。この時、フラッディングを中止するノードまでのホップ数(DESTまでのホップ数)を記載する。

3. CP 受信時

Step 1 RREQと同様の方式でCPのSRCからのホップ数を確認し、自身がフラッディング中止の対象である場合は、Step 3へ。

Step 2 周辺ノードに対してCPを送信し、CP受信処理を終了する。

Step 3 RREQのフラッディングを中止し、CP受信処理を終了する。

ここで、時間 t_{stop} は、中継ノードのホップ数を変数とする値であり、 $t_{stop} \geq 2ht_1$ (t_1 は1ホップの伝達時間)で与えられる。これはDESTがSRCにRREPを返し、SRCがCPを受け取るべきノードにCPを返すのにかかる時間である。

図2において、 $h_{max} = 2$ とした場合の動作例を説明する。

まず、SRCがRREQパケットを送信すると1番のノードがこれを受信し、受信したノードはDESTではないので、一定時間 t_{stop} 経過後にRREQをフラッディングする。次いでDESTと2番のノードが1番のノードが送信したRREQを受信する。DESTノードはRREQを受け取ると、RREPをSRCへ向けて返す。SRCはRREPを受け取ると、フラッディングを終了させるパケットCPを1番のノードに送信する。CPを受け取った1番のノードは、CPを2番の各ノードに中継する。これにより、2番の各ノードはRREQをフラッディングする前にCP

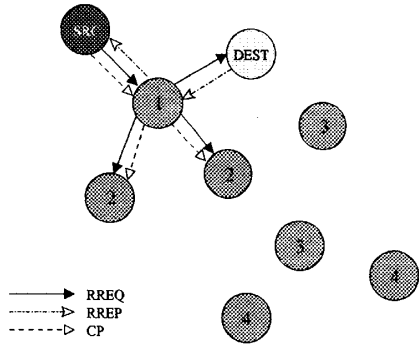


図 2: 提案フラッディングの例

表 1: シミュレーションパラメータ

| | Case 1 | Case 2 |
|--------|-----------|-----------|
| モデル長 | 150 × 150 | 100 × 100 |
| ノード数 | 2~80 | 2~200 |
| 通信可能距離 | 20 | 20 |
| 試行回数 | 100000 | 100000 |

を受け取り、3 ホップ以降のノードに無駄にフラッディングが伝わることはなく、省電力化が可能となる。

3.2 シミュレーションモデル

シミュレーションで用いたモデルについての定義をする。今回モデルは正方平面を扱うこととした。ノードの配置はモデル内でランダム配置とする。各ノードの能力として、通信可能距離を設定し、通信可能距離により周囲のノードと通信可能か否かが決まるとした。また、研究の初期の段階ではなるべく簡単なモデルにより基本的な特性を明らかにするため、通信中のノードの移動はないものとした。

次にパラメータの設定を行う。まず、パケットを送受信する際にノードは電力を消費するものとし、一つのノードが送受信する際にかかる電力消費量 W を一定値 1 と定義した。評価の際にはネットワーク全体の電力消費量を試行回数で割り平均をとった値である W_{max} をグラフ化する。本研究では、 W_{max} を最小化することが目的であるが、同時に遅延時間の評価もする。遅延時間については、これもノードが一回に送信する時間を一定として扱い、 $t_1 = 1$ とする。評価対象は、RREQ パケットが DEST に届くまでのフラッディング時間 T_A とする。その他のパラメータを表 1 にまとめる。

4. 結果と考察

Case 1 の総電力消費量を図 3 に示し、Case 2 の総電力消費量を図 4 に、Case 2 の遅延時間を図 5 にそれぞ

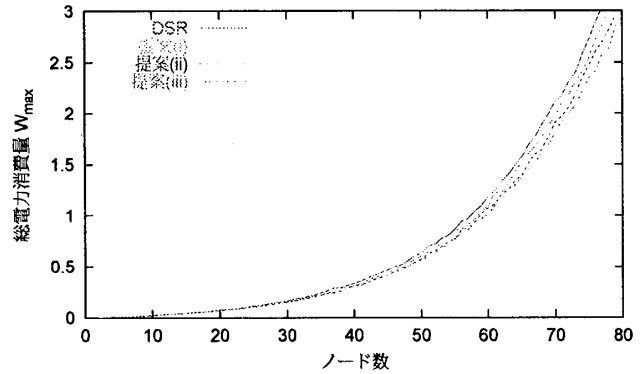


図 3: 総電力消費量 (Case 1)

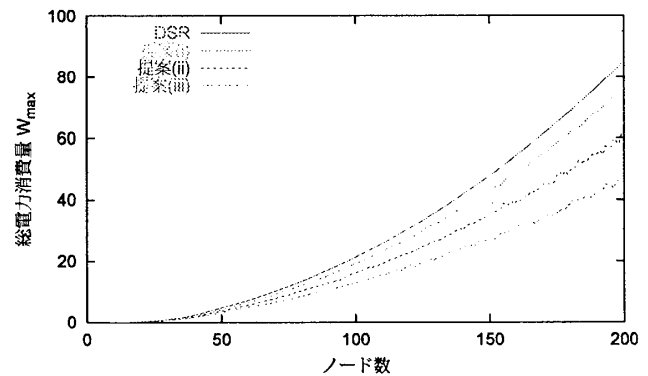


図 4: 総電力消費量 (Case 2)

れ示す。

グラフの凡例は、既存方式である DSR と提案方式との総電力消費量を比較したものである。また提案方式については、(i)1 ホップ先で溜める ($h_{max} = 1$) 場合、(ii)1 ホップと 2 ホップで溜める ($h_{max} = 2$) 場合、(iii)1 ホップと 2 ホップと 3 ホップで溜める ($h_{max} = 3$) 場合の 3 パターンでの計測を行った。Case 1 は、モデル長が 150×150 のネットワークに対して、ノード数が 2~80 であり、比較的規模の小さなネットワークといえる。Case 2 は、モデル長が 100×100 のネットワークに対して、ノード数が 2~200 であり、Case 1 に比べて大規模なネットワークであるといえる。

まず Case 1 について考察する。ネットワーク内のノード数が増えると、ネットワークの総電力消費量は指数的に高まるという特性が得られた。そして提案方式については、溜めるホップ数を増やしていくと総電力消費量は従来手法に対して、より小さくなっていくことが分かった。ただし、図 3 より、既存方式も提案方式も若干の差はあるが、際立って省電力になったとは言い難い。これ

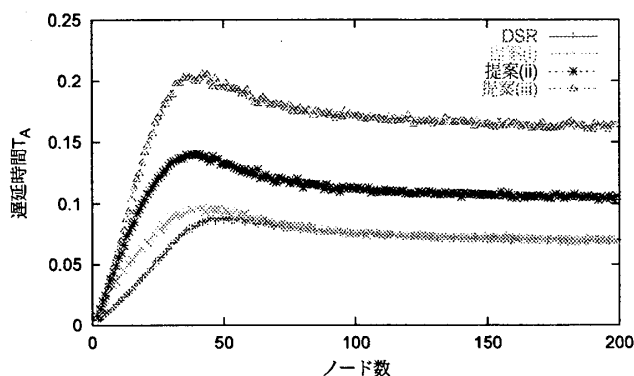


図 5: 遅延時間 (Case 2)

は、モデル長が 150×150 のネットワークに対して、ノード数が 2~80 であり、比較的小規模なネットワークであるため、無駄なフラディングを行うノードが少ないことが理由として挙げられる。

次に Case 2 について考察する。図 4 は、Case 1 と比べて既存方式と提案方式の差が大きく開いていることが分かる。具体的には、最大ノード数 200 の時、既存方式の総電力消費量と比べて、(i) の場合、約 12% 減の省電力を確認した。そして (ii) の場合、約 39% の減少、(iii) の場合には約 50% もの省電力を確認できた。しかし、同時に図 5 に示す遅延時間に関する実験結果からは、(i) のケースでは変わらないものの、(ii) で 1.52 倍、(iii) で 2.34 倍かかった。図 5 において全てのグラフにいえることは、ノード数 0~40 付近では、徐々に到達時間が増えていくが、その後は、一定の値に近づくことである。以上の結果より、遅延時間がある程度は増加するものの、総電力消費量を低く抑えられることが確認できた。特に、ノード数が増加するにつれて、電力の改善効果が大きくなり、遅延時間の劣化量が小さくなるので、この領域での有効性が特に高いと考えられる。また、 h_{max} の値によって、電力消費と到達時間にトレードオフの関係が見られるので、モデルに応じた h_{max} の最適化によって、さらなる効果も期待できると思われる。

5. おわりに

本論文では、DSR の RREQ 時における省電力フラディング手法を提案した。シミュレーション実験の結果より、密なネットワークにおいてはその効力を最大限に活用できることが分かった。今後の取り組みとしては、通信中のノードの移動を考慮した評価を行うとともに、消費電力と遅延時間の総合的な評価による、 h_{max} の最適化を進める必要があると考えている。これは、実際に

効率的なアドホックネットワークを構築する際には、有益な知見となり得るであろう。また、今回の検討では、未検討だったルートディスカバリーにおけるキャッシュ機能やルートメンテナンス機能を追加したシミュレーションモデルでの評価を行い、より現実的で実際に近い状況を考慮し、提案手法の効果を明らかにしていく予定である。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省ハイテクリサーチセンター整備事業の助成金によって行われた。

参考文献

- [1] IETF Working Group Charter:
<http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>.
IETF Working Group Charter (1997).
- [2] A. Muqattash and M. Krunz: Power Controlled Dual Channel (PCDC) Medium Access Protocol for Wireless Ad Hoc Networks, *Proc. IEEE INFOCOM 2003* (2003).
- [3] J. M. Choi, Y. B. Ko and J. H. Kim: Utilizing Directionality Information for Power-Efficient Routing in Ad Hoc Networks, *Proc. of the IEEE / IEE 3rd International Conference on Networking* (2004).
- [4] J. L. Bordim, J. Cui and K. Nakano: Randomized Time- and Energy-Optimal Routing in Single-Hop, Single-Channel Radio Networks, *IEEE Transactions on Fundamentals*, Vol. E86-A, No. 5, pp. 1103-1112 (2003).
- [5] D. B. Johnson and D. A. Maltz: Dynamic Source Routing in Adhoc Wireless Networks, in *Mobile Computing*, Kluwer Academic Publisher (1996).
- [6] J. Broch, D. Johnson and D. Maltz: The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks, *IETF Internet Draft* (2004).
- [7] C. E. Perkins, E. M. Royer, S. R. Das and M. K. Marina: Performance Comparison of Two On-Demand Routing Protocols for Ad Hoc Networks, *IEEE Personal Communications Magazine*, pp. 16-28 (2001).