

高スループットのための電力制御アドホックルーティング Power Control Routing for High Throughput in Mobile Ad hoc Networks

西島 康之*
Yasuyuki Nishijima

杉 信吾*
Shingo Soma

小野 真和*
Masakazu Ono

楢垣 博章*
Hiroaki Higaki

1. 背景と目的

モバイルアドホックネットワークでは、モバイルコンピュータの分布密度がネットワーク全体で一様であることは稀であり、場所によって疎密があることが一般的である。モバイルコンピュータの分布が密である場所に複数の経路を構築する場合、従来のルーティングプロトコル [2,3] では、ホップ数の小さい経路を構築するため、互いの信号到達範囲が重複し、競合が発生する。この競合による送信待ちによって、送信機会が減少し、エンド-エンドのスループットが低下する。

そこで本論文では、電力制御を利用した新しいアドホックルーティング手法を提案する。各モバイルコンピュータが、複数の経路の無線信号到達範囲が重複していることを検出し、経路分離アルゴリズム、送信範囲縮小アルゴリズムを局所的に適用する。送信範囲縮小アルゴリズムは、モバイルコンピュータを経路に追加し、モバイルコンピュータ間の距離を短縮することで、無線信号到達範囲を縮小する。また、経路分離アルゴリズムは、複数の経路が同一のモバイルコンピュータを含む状態(合流)を解消する。なお、本論文では、DSR [2] 等のオンデマンドソースルーティングプロトコルを用いることとする。

2. 従来手法

送信電力制御 MAC プロトコル [5] を前提としたルーティング手法としては、経路上にあるノードの消費電力を考慮した [1,4] のルーティングプロトコルがある。ここでは、ノードのバッテリー残量と送信電力をメトリックとして評価し、消費電力を低減することによってネットワーク全体の接続性を高く維持できる経路を選択する。しかし、競合や衝突の発生回避を目的として電力制御を行ない、これによってエンド-エンドのスループットを向上させることを目指す試みはこれまでに行われていない。

CSMA/CA では、到達範囲の重複した無線信号の衝突回避によって、コンテンションウィンドウが大きくなり、バックオフ時間が長くなる。そのため、競合は送信待ち時間を増加させ、送信機会が減少する。

異なる経路間で発生する競合の原因には、並行、合流、交差の3つがある。これらの競合を検出するために、無線通信においては、すべてのメッセージがブロードキャストされることを利用する。並行した経路は、ある経路に含まれているノードが、他のノードを送信先とするメッセージのうち、自身を経由せずに配送されたメッセージを受信することで検出できる。また、合流する経路は、自身を経由して異なる配送先へと配送されるメッセージを受信することで検出できる。しかし、交差した経路を検出するためには、各ノードの位置を示す座標情報が必要となる。そこで、この問題は、本論文では議論の対象

としないこととする。

3. 提案アルゴリズム

図1左図のように、複数の経路が同一のノードを含んでいる状態を合流という。ここでは、図1右図のように、このノードを含まない経路へ切り替えることで経路を分離し、合流を解消する。

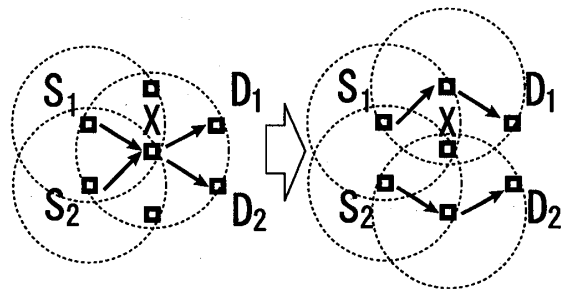


図1: 経路分離アルゴリズム

[経路分離アルゴリズム]

1. 2つの経路 R_i と R_j の合流点であるノード X が合流を検出する。
2. 上流ノード $S_i \in R_i$ へ経路変更提案メッセージ $RUPROP(R_i)$ をユニキャストで送信する。
3. $RUPROP(R_i)$ を受信した S_i は経路変更要求メッセージ $RUREQ(R_i)$ を最大送信電力 P_{max} でブロードキャストする。
4. $RUREQ(R_i)$ を受信したノード M_i は、 M_i を R_i に含むことの可否を決定し、変更応答メッセージを S_i へユニキャストで送信する。
 - 4-1. M_i が R_i 以外の経路に含まれている場合は、経路変更否定応答メッセージ $RUNACK(R_i)$ を S_i にユニキャストする。
 - 4-2. M_i が R_i 以外の経路に含まれていない場合は、 $m_i \in R_i$ かつ $m_i \in Range(M_i, P_{max})$ で S_i よりも送信先ノードに近いノード m_i が存在するかを確認する。ただし、 $Range(n, p)$ とは、ノード n の送信電力 p による無線信号到達範囲である。
 - 4-2-1. 存在しない場合は、 $RUNACK(R_i)$ を S_i へユニキャストで送信する。
 - 4-2-2. 存在する場合は、経路変更肯定応答メッセージ $RUACK(R'_i)$ を S_i へユニキャストで送信する。ここで R'_i は M_i を含むように更新した経路情報である。
5. S_i は受信した R'_i を送信元ノードへ通知する。□

一方、図2左図のように、無線信号到達範囲が重複

*東京電機大学理工学部情報システム工学科

すると競合が発生し、送信機会が減少する。そこで図2右図のように、経路に新しいノードを追加し、ノード間の距離を短縮し、送信電力を低減することによって、それぞれのノードの無線信号到達範囲を縮小する。これによって、競合を抑制する。

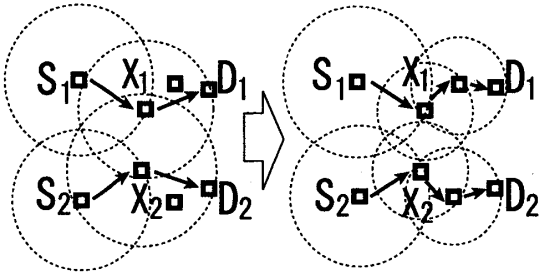


図2: 送信範囲縮小アルゴリズム

[送信範囲縮小アルゴリズム]

1. $X_j \notin R_i$ が $X_i \in R_i$ から送信され、 R_i を配送されるメッセージを受信することによって、無線信号到達範囲が重複し、並行が存在することを検出する。
2. X_j は、送信範囲縮小提案メッセージ $RRPROP(R_i)$ を X_i にユニキャストで送信する。
3. $RRPROP(R_i)$ を受信した X_i は、送信範囲縮小要求メッセージ $RRREQ(R_i)$ を X_j に対する最小送信電力 $P(X_j)$ を用いてブロードキャストする。
4. $RRREQ(R_i)$ を受信したノード M_i は、 M_i を R_i に含むことの可否を決定し、縮小応答メッセージを X_i にユニキャストで送信する。
 - 4-1. M_i が R_i 以外の経路に含まれている場合は、送信範囲縮小否定応答メッセージ $RRNACK(R_i)$ を X_i にユニキャストする。
 - 4-2. M_i が R_i 以外の経路に含まれていない場合は、 $m_i \in R_i$ かつ $m_i \in Range(M_i, P_{max})$ で X_i よりも送信先ノードに近いノードが存在するかを確認する。
 - 4-2-1. 存在しない場合は、 $RRNACK(R_i)$ を X_i へユニキャストで送信する。
 - 4-2-2. 存在する場合は、送信範囲縮小肯定応答メッセージ $RRACK(R_i)$ を X_i へユニキャストで送信する。ここで、 R'_i は M_i を含むように更新した経路情報である。
5. X_i は受信した R'_i を送信元ノードへ通知する。□

4. 評価

提案手法によって送信機会が増加し、エンド-エンドのスループットが向上することをシミュレーションによって評価した。図3のように、ノード $S1, S2$ がそれぞれ $D1, D2$ に1秒間メッセージを送信するものとし、送信元から送信先までのノード数に対するスループットを求めた。ネットワーク層に IEEE802.11b を用いて DSR によって経路を構築した場合と、電力制御 MAC プロトコルを用いて DSR に範囲縮小アルゴリズム、経路分離アルゴリズムを適用した場合のスループットを比較した。

無線信号の最大到達範囲は $50m$ である。結果を図4に示す。送信元から送信先までのノード数が7台以上の場

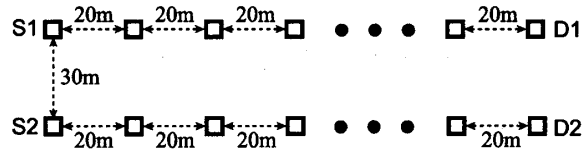


図3: シミュレーションにおけるノード配置

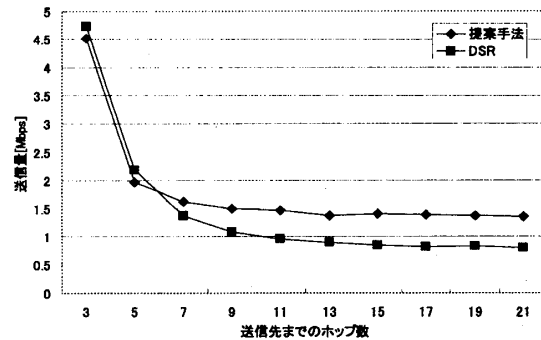


図4: 送信先までのノード数に対する送信量

合、DSR よりも提案手法におけるスループットが高い。これは DSR では同一経路上のノード間で発生する競合に加え、異なる経路間で競合が発生するのに対し、提案手法では同一経路上のノード間でのみ競合が発生するため、DSR よりも送信機会が増加したためである。

5. まとめ

本論文では、送信電力制御を利用して DSR において競合の発生を削減し、スループットを向上する手法を提案した。また、シミュレーションによって、提案手法を評価した。シミュレーション結果から、本提案手法により、送信機会が増加し、エンド-エンドのスループットが向上することが確認された。

参考文献

- [1] Chang, J-H., Tassiulas, L., "Energy Conserving Routing in Wireless Ad-hoc Networks," Proceedings of the IEEE INFOCOM 2000, pp. 22-31 (2000).
- [2] Johnson, D. B., Maltz, D. A., Hu, Y.-C., "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)," Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-09.txt (2003).
- [3] Perkins, C., Belding-Royer, E., Das, S., "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," RFC 3561 (2003).
- [4] Stojmenovic, I., Lin, X., "Power aware localized routing in wireless networks," Proceedings of IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium, pp. 371-376 (2000).
- [5] Singh, S., Raghavendra, C.S., "PAMAS - Power Aware Multi-Access protocol with Signalling for Ad Hoc Networks," ACM Computer Communication Review, Vol. 28, No. 3, pp. 5-26 (1998).