

## 電力制御を利用したアドホックネットワークルーティング\*

3G-06

東京電機大学 理工学部 情報システム工学科†

梅島慎吾‡ 松垣博章§

## 1 背景と目的

近年、ノート型 PC や PDA、自律移動ロボットなどのモバイルコンピュータが広く利用されるようになってきた。これらのモバイルコンピュータは、移動中においてもアプリケーションを実行し、他のコンピュータとの間で通信を行なう。そのため、基地局の存在に依存せず、ネットワークアプリケーションの実行が可能なアドホックネットワーク [3] への要求が高まっている。アドホックネットワークでは、ネットワーク上のすべてのモバイルコンピュータがパケットのルーティング機能を持ち、エンド-エンドの通信路 (パス) を構築する。モバイルコンピュータ間の通信には、IEEE802.11 [1] や HIPERLAN [2] などの無線 LAN プロトコルが利用されている。無線通信媒体である電磁波には、送信元からの距離が長くなるほど減衰する特性がある。そのため、遠方のモバイルコンピュータとの通信と比較し、近傍のモバイルコンピュータとの通信に必要な送信電力は小さい。論文 [6, 7] で提案されている MAC プロトコルを用いることによって、通信に必要な最小送信電力を得ることができ、送信電力を制御した通信が可能となる。

送信電力を制御することは、送信信号の到達範囲を制御することでもある。図 1 のように、モバイルコンピュータの分布が密である場所に複数のパスが構築されている場合、従来のルーティングプロトコル [4, 5] では図 1 左図のように、これらのパスの信号到達範囲が重複するために、競合 (コンテンション) が発生する。この競合による送信待ちによって、エンド-エンドの通信遅延が大きくなる。そこで図 1 右図のように、モバイルコンピュータの送信信号の到達範囲を縮小することによって、信号到達範囲の重複を解消または削減し、エンド-エンドの通信遅延を短縮することができる。これはネットワークのスループットの向上にもつながる。

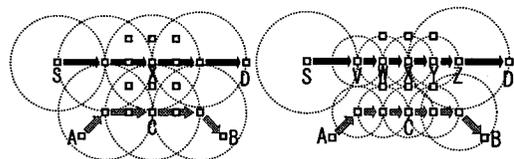


図 1: 電力制御による競合の回避

本論文では、電力制御を利用したアドホックネットワークルーティング手法 [8] を提案する。各モバイルコンピュータが複数のパスの信号到達範囲が重複していることを検出し、パス分離アルゴリズム、パス縮小アルゴリズムを局所的に適用する。パス縮小アルゴリズムは、

新しいモバイルコンピュータをパスに追加し、モバイルコンピュータ間の距離を短縮することで、送信信号到達範囲を縮小する。また、パス分離アルゴリズムは、複数のパス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、[6, 7] において提案されている無線 LAN プロトコルを前提とする。[6, 7] では、IEEE802.11 と同様に媒体アクセス方式として CSMA/CA + Ack を採用している。また、データパケットのルーティングには、DSR [4] や LBSR [9] 等によって得られたソースルートを用いることにする。

## 2 提案手法

送信電力制御 MAC プロトコルを用いることで、必要最小送信電力から最大送信電力の間で送信電力を制御できる。各モバイルコンピュータ (以下ノードと記述) は、最大送信電力を用いて通信を開始する。ノードの分布が密であり、多数のノードが通信を行なっている領域では競合が発生する。そこで、パス分離アルゴリズムとパス縮小アルゴリズムを局所的に適用し、競合を減少させる。これによって、エンド-エンドの通信遅延を短縮し、スループットを向上させる。

## 2.1 パス分離アルゴリズム

図 2 のように、複数のパスが同一のノードを含んでいる状態を合流という。合流は競合を発生させるため、通信遅延を大きくする。そこで、このノードを含まないパスへ切り替えることでパスを分離し、合流を解消する。

[手順]

1. 合流点であるノード  $X$  が合流を検出する。
2.  $X$  の上流ノード  $S_i$  へ合流の検出を通知する。
3.  $S_i$  は最大送信電力を用いて、無線信号到達範囲にパス変更要求メッセージをブロードキャストする。
4. これを受信したノードは、自身をパスに含むことの可否を記したパス変更応答メッセージを返送する。
5. 分離可能ならば、更新した経路情報を送信元ノードへ通知する。

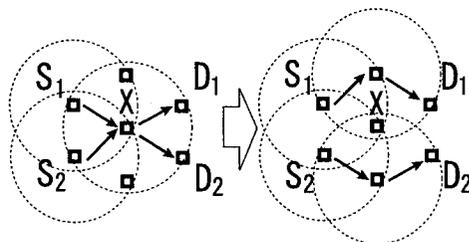


図 2: パス分離アルゴリズム

\*PowerControl Based Adhoc Routing Protocol

†Tokyo Denki University

‡Shingo Umeshima and Hiroaki Higaki

§{shin5,hig}@higlab.k.dendai.ac.jp

## 2.2 バス縮小アルゴリズム

図3のように、無線信号の到達範囲が重複すると競合が発生し、通信遅延が大きくなる。そこで、バス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。

[手順]

1. ノード  $X_i$  を含まないバスを配送されるメッセージを  $X_i$  が受信することによって、無線信号到達範囲の重複を検出する。
2.  $X_i$  は、 $S_i$  への送信に必要な最小送信電力を用いて、バス縮小要求メッセージをブロードキャストする。
3.  $S_i$  は、 $X_i$  への送信に必要な最小送信電力を用いて、バス参加要求メッセージをブロードキャストする。
4. 2つのメッセージを受信したノードは、参加の可否を記したバス参加返答メッセージを返送する。
5. 追加可能なノードが存在するならば、更新した経路情報を送信元ノードへ通知する。

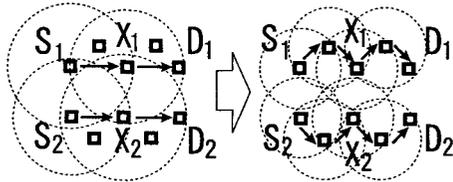


図 3: バス縮小アルゴリズム

## 2.3 バスの状態管理

バス分離アルゴリズム、バス縮小アルゴリズムをソースルーティングに適用するためには、それぞれのノードが、いずれのバスに含まれているかを知る必要がある。各ノードは、自身が含まれるバスの経路情報を保存するルートキャッシュを持つ。送信元ノードはデータ送信開始前(バス使用開始前)、データ送信終了後(バス使用終了後)に送信先ノードへバス使用開始メッセージ、バス使用終了メッセージを送信する。バス使用開始メッセージを受信したノードは、メッセージに含まれる経路情報をルートキャッシュに保存する。この経路情報は、バス使用終了メッセージ受信時に削除される。

しかしアドホックネットワークでは、ノードの移動などによってリンクが切断され、バスが使用できなくなることがある。DSR、LBSRなどでは、リンク切れを検出したノードが、送信元ノードへバスエラーメッセージを送信する。これによって切断リンクより上流のノードは、経路情報をルートキャッシュから削除する。しかし、下流のノードはバスが無効化されたことを知るができない。そこで、各ノードのルートキャッシュには、経路情報とともにバスの状態を保存する。

バスの状態は、有効、休眠、無効のいずれかである。有効とはパケット配送に使用されている状態、休眠とは確立されているがパケット配送に使用されていない状態、無効とは切断されている状態である。本論文のアル

ゴリズムでは、有効状態とその他の状態を区別できればよい(図4)。

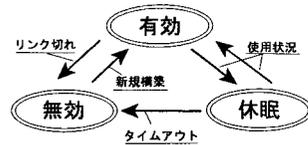


図 4: バスの状態遷移

ルートキャッシュに経路情報が保存されるとき、無効状態から有効状態へ遷移する。バス使用の終了、リンク切れによって有効状態から無効状態への遷移が起きる。タイムアウトによって休眠状態から無効状態に遷移する際に、ルートキャッシュから経路情報が削除される。有効状態と休眠状態の間は、バスの使用状況によって遷移する。一定期間内に閾値以上のパケットが送信されていれば、そのバスは有効状態であり、そうでない場合には、休眠状態となる。有効状態であるバスがルートキャッシュに保存されているノードは、バス参加要求メッセージを受信した場合、参加を拒否する。

## 3 まとめと今後の課題

本論文では、送信電力制御により送信信号の到達範囲を縮小することで、通信遅延を短縮し、スループットを向上する手法を提案した。今後はシミュレーションによる有効性の評価を行なう。

## 参考文献

- [1] "Wireless LAN Medium Access control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications," Standard IEEE 802.11 (1997).
- [2] "Radio Equipment and Systems(RES); HIPERLAN," ETSI Functional Specifications (1995).
- [3] Corson, M.S., Macker, J., "Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations," RFC 2501 (1999).
- [4] David, B., David, A., Hu, Y.-C., Jetcheva, J.G., "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-04.txt (2000).
- [5] Perkins, C.E., Royer, E.M., "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," Proceedings of the IEEE 2nd Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp. 90-100 (1999).
- [6] Tseng, Y.C., Wu, S.L., Lin, C.Y., Sheu, J.P., "A Multi-Channel MAC Protocol with Power Control for Multi-Hop Mobile Ad Hoc Networks," Proceedings of the 21st International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, pp. 419-424 (2001).
- [7] Singh, S., Raghavendra, C. S., "PAMAS - Power Aware Multi-Access protocol with Signalling for Ad Hoc Networks," ACM Computer Communications Review, July, pp. 5-26 (1998).
- [8] 梅島, 松垣, "電力制御を利用したアドホックネットワークルーティング," 情報処理学会研究報告, No.88, Vol.2001, pp. 7-12 (2001).
- [9] 佐川, 神林, 松垣, "アドホックネットワークにおけるループ型ルーティングプロトコル," 第9回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp. 157-162 (2001).