

# M-34 無線オーバーレイノードによる高密度無線マルチホップ通信 Scalable Ad hoc Networking provided by Wireless Overlay Nodes

中川 智尋<sup>†</sup>  
Tomohiro Nakagawa

太田 賢<sup>†</sup>  
Ken Ohta

吉川 貴<sup>†</sup>  
Takashi Yoshikawa

倉掛 正治<sup>†</sup>  
Shoji Kurakake

## 1. はじめに

無線通信端末が集合して構成するアドホックネットワークは、移動通信網への接続性向上や移動通信における制御効率の向上に有用である。しかし、多数の端末が存在する場合には制御パケット数の削減が課題となる。

本稿では、アドホックネットワーク上にオーバーレイされた制御ネットワーク上で経路情報を伝達する方式において、非常に少ない制御情報でオーバーレイ制御ネットワークを構築するアルゴリズムを提案する。

## 2. アドホック網の役割と課題

端末の通信機能の研究開発は進展を続けており、第三世代のセルラー通信に加えて無線 LAN のホットスポット、アドホックネットワーク等、多様な通信手段が混在する状況となりつつある。特にアドホックネットワークは従来の移動通信の形態を変化させる技術として注目されている。

例えば、端末が他の複数の端末から構成されるアドホックネットワークを経由してセルラー網やホットスポットに接続することにより、移動通信網の通信エリア拡大・輻輳した基地局の回避・電波状態悪化時の代替経路生成等が可能となる。また、間欠的なローカルなトラフィックが生じる場合には、インフラに接続せずにアドホックネットワークのみで通信することにより、全体として効率の良いネットワークの構築が可能となる。

上記の各種通信形態の実現には多くの課題がある。通信性能の安定化や認証・課金、あるいは中継端末へのインセンティブの提供等はその例であるが、実用化にあたって避けられない大きな課題の1つとして、アドホックネットワークの端末密度への適応性が挙げられる。

アドホックネットワークは端末の中継によりネットワークを構成するため、端末が密集した環境でなければ通信路を設定できない。しかし、逆に端末数が多すぎる場合にはネットワークを構築するための制御パケットの量が膨大となり、データ通信の帯域を圧迫するという問題が生じる。アドホックネットワークにおける端末数のスケラビリティを実現するためには、制御パケットの削減が大きな課題である。

## 3. 従来のクラスタ方式の限界

多数の端末が小さなエリアに存在する密度の高いアドホックネットワークにおいては、経路制御のために伝達される制御パケットの量が膨大となる。この問題点に着目した従来研究には、ZRP[1]、CEDAR[2]などがある。

ZRPでは、 $n$ ホップ以内の近隣ノードに関する経路制御情報を定期的に取得する一方で、それ以外の遠隔ノードに関する経路情報はオンデマンドに取得する。遠

隔ノードの経路情報を取得するための制御パケットの削減方法を工夫することにより、効率性の向上を実現している。

CEDARでは、COREと呼ぶノード群によりアドホックネットワーク全体に行き渡る主幹経路を形成する。COREはその隣接ノードに関する経路情報を定期的に取得し、遠隔ノードの経路情報はCORE主幹経路上のオンデマンドな経路制御により取得する。CEDARにおいて特徴的なのはCOREの選出方法である。CORE近隣のノードのみで計算することにより、少ない計算量によりCOREノードを近似的に選出するアルゴリズムについて論じられている。

上記の各手法は、クラスタヘッドと呼ぶノードを中心として複数の端末のグループ(クラスタ)を形成し、クラスタ内ではプロアクティブ型、クラスタ間ではオンデマンド型の経路制御を行うという点で一致している。このような手法では、以下の2つの問題点が解決されない。

第一の問題点は、非常に密度の高いアドホックネットワークにおいて制御パケットの量が多くなる点である。都市部やイベント会場など非常に混雑する場所においては、たとえクラスタの半径を1ホップに設定したとしても、クラスタ内には数十から数百程度の膨大な数の端末が存在すると想定される。このような場所では、クラスタ内の経路情報をクラスタヘッドが定期的に取得する設計指針に従えば、クラスタ内の帯域を圧迫し、実質的なデータ通信の性能は非常に劣化すると考えられる。

第二の問題点は、クラスタヘッドとしての役割を担うノードの負担が大きい点である。携帯端末のように電源や計算資源に制約のある端末に対して、クラスタヘッドのような負荷の高い役割を課すモデルは適していない。

## 4. 提案方式

### 4.1 無線オーバーレイネットワーク

アドホックネットワークにおける経路制御情報の削減のためには、従来手法に見られるように制御情報を伝達する端末を限定するアプローチが有効である。提案方式では、アドホックネットワーク上に展開する経路制御用のネットワークを無線オーバーレイネットワーク(Wireless Overlay Network, 以下WONと略す)と呼ぶ(図1)。WONを構成する端末をオーバーレイノード(以下ONと略す)とし、ON以外の端末をクライアント(以下CLTと略す)とする。データを送信する必要が生じたCLTは隣接するONに経路の構築を依頼し、WON上でオンデマンドに経路を探索する。

RON[3]やX-Bone[4]に代表されるオーバーレイネットワークの研究では、IP層と独立に構成された仮想的なトポロジーを持つオーバーレイネットワークが、基本的な通信サービスに様々な付加価値を提供する上で有効であることが論じられている。提案方式では、非常に密度の高

<sup>†</sup> (株) NTT ドコモ マルチメディア研究所,  
Multimedia Labs., NTT DoCoMo, Inc.

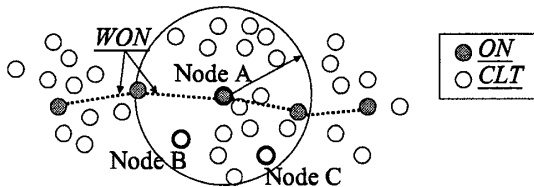


図 1: 無線オーバレイネットワーク

アドホックネットワーク上に、少数のオーバレイノードから構成される WON を展開し、高密度なアドホックネットワークにおける高効率経路制御機能を実現する。

4.2 経路制御に対する要件

WON をベースとした高密度アドホック網の経路制御方式に対する3つの要件に関して以下で述べる。第一の要件は、クラスタの構成、管理に要する制御情報の削減である。クラスタ内の有効帯域を圧迫しないようなクラスタ構成アルゴリズムが必要となる。

第二の要件は、端末の計算性能や電源を考慮した ON の選択である。アドホックネットワークを構成する端末は性能に制約のある携帯端末が主であるが、高性能かつ電源供給のある端末が存在してネットワークの構築を支援することも考えられる。このような端末を優先的に ON として選択し、端末の性能・電源に応じた負荷分散を行うことが必要である。

第三の要件は、構築した経路上での輻輳の回避である。WON 上に経路を構築する方式では、多数の経路が構築された場合に ON 間のリンクにトラフィックが集中する。通信品質の劣化を防止するためには、ON 間以外のリンクにトラフィックを分散させる仕組みが必要である。

4.3 WON 構築アルゴリズム

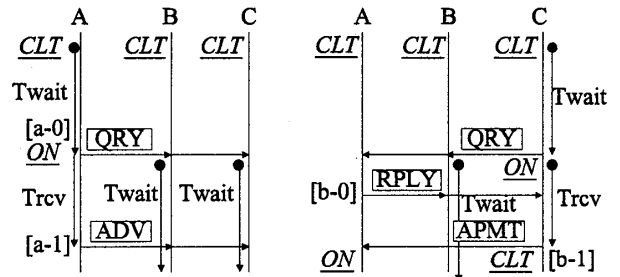
図 1 中の Node A,B,C 間の制御を例にとり、前節で述べた要件を満たす WON 構築アルゴリズムを図 2 に示す。Node A,B,C は互いに隣接する端末であり、全ての端末は初期状態において CLT である。端末の性能や電源の観点での ON の適性は A が最も優れており、C が最も劣っていると仮定する。

まず、図 2(a) の A が主体となって動作する場合について述べる。図中 [a-0] において、A が時間  $T_{wait}$  の間に ON の発信する広告 (ADV) を受信しない場合に ON となる。同時に、より適性の優れた CLT の存在を問合せクエリーパケット (QRY) をブロードキャストする。[a-1] において、他の CLT からの応答 (RPLY) を受信しなかった A は ON の状態を維持する。

図 2(b) の C が主体となって動作する場合、C が発信した QRY に対して [b-0] で A が応答 (RPLY) を送信する。[b-1] において C は A を ON に任命するパケット (APMT) を送信する。

以上で述べた提案方式においては、4.2 節で述べた第一の要件を満たすため、QRY の発信元端末は適性を QRY に含めて送信し、この適性を下回る CLT は RPLY を送信しない。さらに、CLT からの応答を受信待機時間  $T_{rcv}$  内で分散させ、適性の優れた他の CLT の RPLY を受信した場合、その CLT は RPLY を送信しない。

第二の要件を満たすため、RPLY を受信した QRY の発信元端末は最も優れた適性を有する CLT を選択し、



(a) QRY sent by A (b) QRY sent by C

図 2: WON 構築アルゴリズム

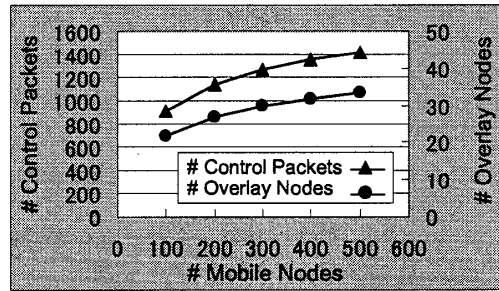


図 3: 端末数のスケラビリティの評価

APMT を発信する。

第三の要件に関しては、現在、WON 上で構築した経路を代替経路に切替えるアルゴリズムを検討している。

シミュレーション結果を図 3 に示す。1km 四方の平面上に配置された移動ノードがオーバレイ制御ネットワークを形成する際の、制御パケット数とオーバレイノード数の平均値を測定した。グラフより、端末数の増加に対して、制御パケット数が爆発的に増加しないことが確認できる。なお、本シミュレーションでは適性の優れた CLT を ON に任命する機能は含まれていない。

5. おわりに

本稿では、移動通信網に様々な応用の可能性を持つアドホックネットワークに着目し、オーバレイネットワークをベースとした効率の良い経路制御方式を提案した。今後、通信端末の適性を考慮して WON を構築する機能や、WON 上での輻輳を回避する機能を組み込んで評価を行う予定である。

参考文献

- [1] Zygmunt J. Haas et al., "The Performance of Query Control Schemes for the Zone Routing Protocol," ACM SIGCOMM, 1998.
- [2] Raghupathy Sivakumar et al., "CEDAR: a Core-Extraction Distributed Ad hoc Routing algorithm," August 1999.
- [3] David Anderson et al., "Resilient Overlay Networks," ACM SOSP, October 2001.
- [4] J. Touch, "Dynamic Internet Overlay Deployment and Management Using the X-Bone," ICNP 2000, November 2000.