

アドホックネットワークにおける経路制御方式の検討

川上 哲也¹⁾ 鈴木 良宏¹⁾
児島 史秀²⁾ 菅田 明則²⁾ 藤瀬 雅行²⁾

- 1) 松下電器産業 株) 次世代モバイル開発センター
- 2) 独立行政法人 通信総合研究所

〒239-0847 横須賀市光の丘 5番 3号
E-mail: kawakami.tetsu@jp.panasonic.com

あらまし 近年、アドホックネットワークへの関心が高まっている。IETFにおいてもMANET WGで、複数の検討が行われているが、現状のIPネットワークでは、IPアドレスのアドレッシングと端末の移動制御の高速化に課題がある。本論文では、課題解決のためにマルチホップに対応したアドホックシステムとして、レイヤ2と3の2つのプレーンを用いてネットワークを構成する方法について述べる。また、仮想リンクを導入することで、従来のルーティングプロトコルを利用可能なアドホックネットワークの自律構成方式を提案している。また、方式の具体的な評価として IEEE802.11b を用いた装置開発を行い検証を行った。

キーワード アドホック、マルチホップ、VLAN、モビリティ

Study of Path control method on an ad-hoc network system

Tetsuya KAWAKAMI¹⁾ Yoshihiro SUZUKI¹⁾
Fumihide KOJIMA²⁾ Akinori SUGATA²⁾ Masayuki FUJISE²⁾

- 1) Next-Generation Mobile Communications Development Center,
Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.
- 2) Communications Research Laboratory

5-3, Hikarino-oka, Yokosuka, 239-0847, Japan
E-mail: kawakami.tetsu@jp.panasonic.com

Abstract In recent years, the concern about an ad-hoc network has been increasing. In MANET WG (IETF), although a lot of people study an ad-hoc network, we still have some issues about IP addressing and fast handoff in the present IP network. In this paper, we introduced a label switching concept to ad-hoc network. An ad-hoc network system corresponding to perform multi-hop transmission is constructed by two planes (layer 2 plane and layer 3 plane). Moreover we propose the autonomous configuration to an ad-hoc network by introducing a virtual link, then we can use the conventional routing protocol such as OSPF. At last we developed the ad-hoc network system using as standard IEEE802.11b equipment and examined our method.

Keyword Ad hoc, Multi-hop, VLAN, Mobility control

1. はじめに

近年、ADSL/FTTHなどの電話の回線交換を使用しない高速な常時接続インターネットアクセス手段が普及してきた。一方、インターネットは固定通信のユーザのみならず、移動環境での使用をサポートするモバイルインターネットへの要望も高まっている。現在携帯電話等によるデータアクセスは高速移動が可能であるが帶域不足であり、無線LANは広帯域であるが、移動しながらの通信は困難である。我々は、次世代モバイル網はブロードバンドとモビリティに対応することが必要であると考える。

さらに、災害時の小型移動無線装置の連携によるネットワークの早急な復旧など、モビリティへの対応検討は移動端末のみならず、基地局および中継装置においても、移動可能な無線装置を用いてマルチホップ可能な、アドホックネットワークを実現する検討が進められてきている。

我々は、災害時ネットワークへの適用を考慮した、自律的に移動可能な無線ノードにより構成されたアドホックネットワークにおいて無線ノード間でのマルチホップ通信を実現する方式を検討し、自営無線システムの評価を行っている。

本報告では、マルチホップ通信を行う上でのシステム概要および要求事項を挙げた上で、マルチホップ可能なアドホックネットワークの自律構成方式と、この自律構成されたネットワーク上においてラベルを用いる事で、ループの無いレイヤ2ネットワークを構成しユーザデータを転送する方式について説明する。また、IEEE802.11bの無線部を用いてマルチホップ通信システムの開発を行ったので、その評価もあわせて報告する。

2. システム概要

図1にマルチホップ通信システムのイメージを記す。本システムは、自営無線ネットワークとして、災害時のネットワークの早急な復旧を1つのターゲットとしている。このため、本システムでは、無線基地局として可搬型の小型無線装置を用いることを想定する。また、無線装置は移動を考慮し、無指向性のアンテナを有しており、全方向に通信可能であると想定する。また、電源を投入するのみで、自律的に網を立ち上げ、その後変化する網構成に追従する。

本自営無線ネットワークでは、外部インターネットへの接続点となる接続局とその他移動無線ノードより構成されている。各無線ノードは基地局として自身の配下に無線端末を収容すると同時に、中継装置としてパケットの転送を行うことも可能である。ただし、中継装置として動作している間は移動を行わないことを想定している。

各無線ノードおよび無線ノードに接続した無線端末は接続局を通じて外部ネットワークと通信できると同時に、自営無線ネットワーク内部の無線ノードおよび無線端末どうして通信を行うことが可能である。

システムへの要求事項を以下にまとめる。

1) アドホックネットワークの自律立ち上げ

緊急時の早急なネットワークの立ち上げを行うために、複雑なネットワーク設定を手動で行う必要なく、電源をONするだけで自律的にネットワークを構成する

2) ネットワークポロジーの変化の把握

無線ノードの移動や増減に対応し、自動でネットワークの拡張、経路制御の変更・更新を行う

3) 無線端末の移動制御

本ネットワークに接続する無線端末の移動に対応し、移動しながらの通信の継続を確保する

4) インターネットからの着信制御

電話等の双方向通信を実現するために、自営無線ネットワーク内部の端末からの発信のみならず、インターネットからの着信を可能とする

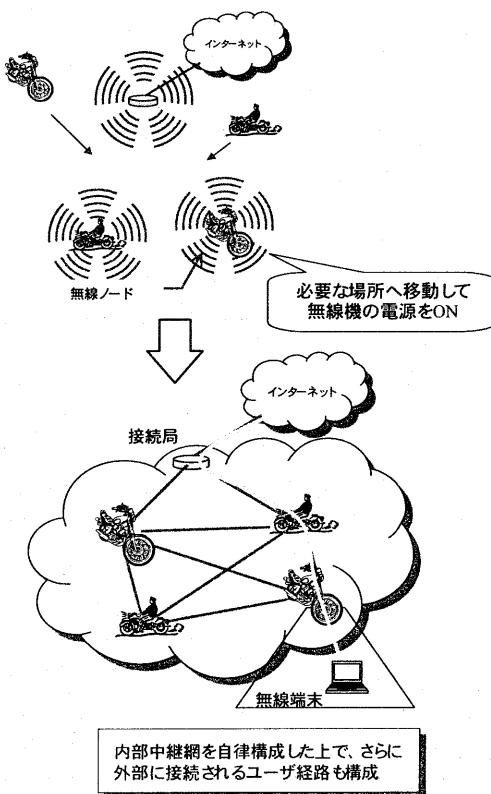


図1 マルチホップ通信システムの構成

3. 従来例

マルチホップ通信を実現するために、IETFなどの標準化団体においても、MANET (Mobile Ad hoc Network) WGなどにおいて、検討が進行中である。しかし、現状検討されているIPネットワークでは、以下に示すような幾つかの課題がある。

1) IPアドレス割り当て

通常IPアドレスは、経路制御に使われるネットワークアドレスを示す部分と、1つのネットワークの中で個別のノードを示すノードアドレスにより構成される。

MANETにおいては、IPアドレスのフィールド全てをネットワークアドレスとして処理し、個々のノード単位に経路を有する仕組みとなっている。このため、ユニークなIPアドレスさえ設定できれば、マルチホップ通信ネットワークを自動構成することが可能となっている。しかし、基本的にアドホックグループ内の閉じた通信をターゲットとして検討が行われており、インターネットなどの外部ネットワークとの接続の検討は進んでおらず、インターネット側からのグローバルアドレスを用いた着信や、重複しないIPアドレスの自動設定などに関しては、今後の検討課題となっている。

2) 無線端末の移動制御の高速化

MANETにおける検討では、各無線ノードがルータとして動作するため、無線ノードの移動制御は個別のネットワークアドレスを持つルータの移動として扱われる。移動により経路の変更が起こると、ルーティングプロトコルにより、全体の経路の収束を待つか、もしくは宛先までの個々の経路の再構成を行う必要がある。

また端末の移動という点では、モバイルIPを用いた検討がなされている。しかし、モバイルIPでは、端末自身を示すIPアドレスと、経路制御用に使用されるIPアドレスの2つのアドレスを用いており、移動先でのパケット送受信用に異なるIPアドレスが再割り当てられるため、転送先IPアドレスの変更手順などの処理が必要となり高速な端末の移動制御に課題がある。

4. 提案方式

4.1. ネットワークアーキテクチャ

本提案では、以下の2つの観点からアプローチを行った。

● 経路制御

トポロジーが変化する網で、その追従を行うために、十分に早い経路表の交換と、収束の早い経路の再計算手段が必要となるため、これまでのIPネットワークでの分散経路制御から集中制御に変更する

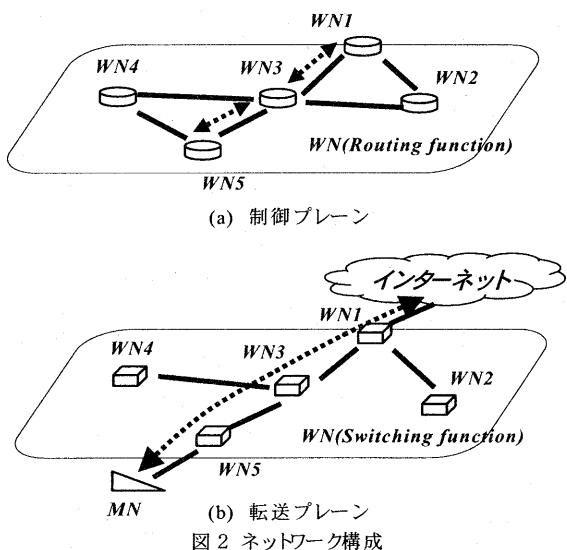
● アドレス

移動制御の基本としては、無線ノードのIPアドレスの

一貫性を保つことが必要である。通常のIPネットワークではIPアドレスがノード識別子と配達用経路識別子を兼ねるため、無線ノードの持つIPアドレスと配達用のIPアドレスというアドレスの二重性を導入していたが、転送に関して、IPアドレスに依存しない下位レイヤでの転送に変更する。

上記2つの観点より、アドホックネットワークの網構成情報を収集・制御するための制御機能を有する制御プレーンと、端末が接続されパケットを中継し、インターネットとの通信が可能となる転送機能を有する転送プレーンの2つのプレーンを用いる構成とした。

図2に2つのプレーンの構成図を示す。個々の無線ノードWNは制御プレーン上ではIPルータとして、転送プレーン上ではスイッチとして動作する。以下、各プレーンの説明を行う。



1) 制御プレーン

制御プレーンはアドホックネットワーク内に閉じたIPネットワークとして構成され、アドホックネットワークを構成するための情報収集および各種設定といった管理に用いられる。無指向性のアンテナを用いた無線システムは、有線ネットワークと異なり、ポートやケーブルといった物理リンクのないブロードキャストメディアである。このような無線ネットワークでルーティングを行なうため、本提案では、VLANを用いた仮想リンクをポイントツーポイントで構成し、各無線ノード間に個別のIPサブネットワークを形成する方式とした。各無線ノードはメッシュ状に接続されることになるが、各仮想リンクはVLANIDにより区別されたインターフェースとして認識されるため、有線ネットワークで用いられている

ルーティングプロトコルをそのまま使用して経路制御を行うことが可能となる。図3に制御プレーンのプロトコルスタックを示した。各無線ノードはIPを終端しVLANIDで示される仮想リンクを使用してパケットのルーティングを行う。

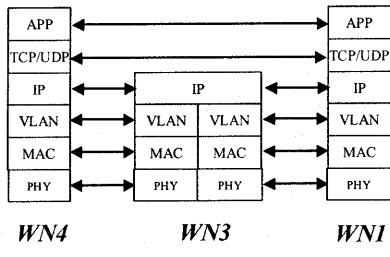


図3 制御プレーンのプロトコルスタック

2) 転送プレーン

転送プレーンは各無線ノードがフラットに接続されるレイヤ2のネットワークとして構成される。このためこの網に接続される無線端末(MN)は同じアドホックネットワーク内の他の無線端末や、外部に接続される網とレイヤ2で接続されることになる。図4に転送プレーンのプロトコルスタックを示した。転送プレーンでは無線ノード(WN)はL2スイッチとして動作している。1つのレイヤ2ネットワークとして網を構成することで、端末の移動時にもモバイルIPを用いたときに必要な移動先でのIPアドレスの変更処理が発生することなく、通信を継続しながらの高速な移動が可能となる。このようなレイヤ2のネットワークは1つのVLANネットワークとして制御プレーンと論理的に分離されている。転送プレーンをレイヤ2で構成した場合、アドホック網が1つのブロードキャストドメインとなるため、アドレスの割り当てに関してでもDHCPサーバを用いて、IPアドレスを重複しないように管理した上で自動割当を実現することも可能となる。

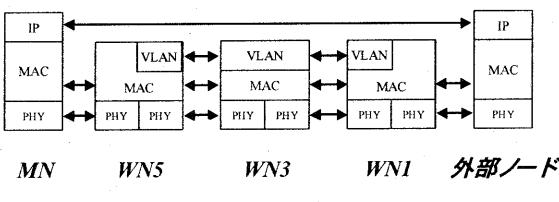


図4 転送プレーンのプロトコルスタック

上記で述べたように、レイヤ2のネットワークを転送プレーンとして構成することで、IPアドレスの割り当てに関する課題および端末移動時の高速化を実現することが可能となる。しかし、レイヤ2のネットワークを構成するにはループのないトポロジーを構成することが必須である。

本提案では、最初にIPネットワークで構成された制御プレーンを用いて、アドホック網のトポロジーを収集・集中管理

し、ループのないツリーを算出する。その後、制御プレーンを用いて算出したツリーを各無線ノードに設定することでループの発生しないネットワークを構成する。またこのとき1つのツリーは1つのVLANドメインとして設定されるため、複数のツリーを異なるVLANドメインのネットワークとしてアドホックネットワークに多重することが可能である。各無線ノードではあるVLANドメインで接続可能と指示された無線ノードとのみ通信を行うように、フィルタリングの設定を行っている。

従って本方式では、まずIPネットワークである制御プレーンを自律的に構成する必要がある。また、災害時のネットワークへの対応を考慮した場合、転送プレーンのトポロジーを集中管理するノードは固定するべきではない。このため本方式では、全ての無線ノードが転送プレーンを制御可能な機能を有する構成としており、アドホックに立ち上がったネットワーク中から自律的に代表ノードを選択し、選択されたノードが転送プレーンのトポロジー管理を行う。

4.2. 網の自律立ち上げ

前節で示したように、本方式ではまず制御プレーンとなるIPネットワークを自律的に構成する必要がある。具体的には以下の手順で制御ネットワークの自律立ち上げ処理が行われる。図5に仮想リンク生成のイメージを示した。

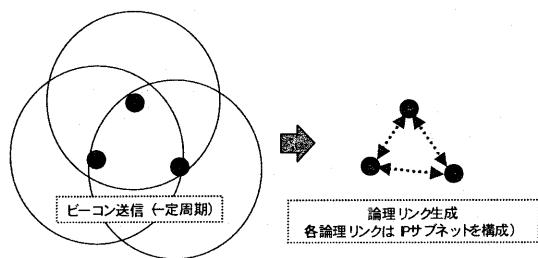


図5 仮想リンク生成のイメージ

- ① 電源投入後、各無線ノードはアドホック網内でユニークなIDである無線ノードIDを含むビーコンパケットを周期的に送信する。
- ② 受信したビーコン中の相手ノードIDと自ノードIDを用いて、制御用論理リンクのVLANIDとIPアドレスをユニークに自動生成する。
- ③ 仮想インターフェースを生成し、ピアとなる相手との通信確認を行う。
- ④ 生成した論理リンクを用いて通常のルーティングプロトコルを動作させIPネットワークを構成する。(制御プレーンの構成)
- ⑤ 制御プレーンを用いてトポロジー情報や無線リンク情報を収集・共有する。
- ⑥ 代表ノードを選び出し、転送プレーンのツリーを計算・設定する。(転送プレーンの構成)

5. 実装例

上記方式の検証として、IEEE802.11b の無線装置を用いた無線ノードの開発を行った。また、システムのスケールとして、数十台程度の無線ノードによるアドホックネットワークをサポートすることを想定し、自律構成の処理および転送ブレーンの設定方法を検討した。

5.1. 無線ノード構成

図 6 に開発した無線ノードの構成を示す。本装置では転送ブレーンでのレイヤ 2 転送を高速に行うため L2SW を中心として、各種モジュールがイーサネットインターフェースで接続される構成となっている。

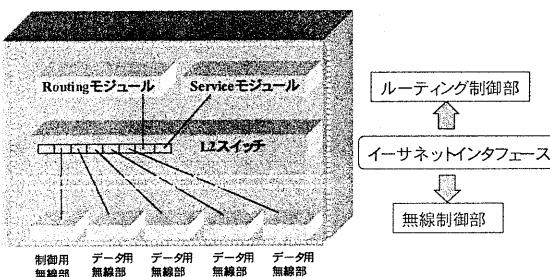


図 6 無線ノードの構成

Routing モジュールが網の制御を行う部分で、ルーティング制御およびトポロジー管理、ツリー算出と VLAN の設定を行なう部分である。制御ブレーンを流れるパケットは L2 スイッチを通して全てこの Routing モジュールが処理することになる。Service モジュールは転送ブレーンに接続され、無線ノードが移動端末として動作するときのアプリケーションを処理するモジュールとなる。

無線部は複数で構成され、複数チャネルを用いて効率的なパケット転送を実現可能である。このうち 1つの無線部が制御用の無線部として動作する。制御用無線部はアドホックモードで動作し、1つのチャネルが制御用に割り当てられる。直接電波の届く範囲にある全ての無線ノードとの間に VLAN により論理的に分離された仮想リンクを多重して送受信している。一方転送ブレーンのデータ転送用には複数の無線部を使用する。各無線部は特定の他の無線ノードとの間でのみ通信が可能となるように、制御ブレーンで算出されたツリー構造に従ってフィルタ設定を行うことで、1つの無線部が1つのリンクを構成する。転送ブレーンにおいては1つの無線リンクを1つの物理リンクとして扱うことが可能であり、L2SW により高速なスイッチングが可能となる。

また、本検証では IEEE802.11b を用いたが、無線部とのインターフェースとしてイーサネットを用いているため、今後他の無線規格を用いて方式の検証を行うことも容易となる構成としている。

5.2. 自律立ち上げ処理

本評価システムにおいては、無線ノードの数を数十台程度と想定している。このため実装において、無線ノードをユニークに区別する無線ノード ID を 6ビットの値に設定し、自律立ち上げの処理を検討した。

4. 2で説明したように、無線ノードは電源投入後、周期的に無線ノード ID を含むビーコンを出力する。本実装では IP ブロードキャストパケットを用いてビーコンを出力している。複数の無線ノードが起動し、お互いにビーコンを受信すると相手のビーコン中の無線ノード ID と自装置の無線ノード ID より図 7 に示すフォーマットの VLANID を生成し、自装置の Routing モジュール内部で仮想インターフェースを生成する。

このようなフォーマットを規定することで、網内で VLANID が一意に決定すると同時に、仮想リンクのための ID として使用されない値が確定するため、転送ブレーンで使用する VLANID もリザーブすることが可能である。



図 7 VLANID のフォーマット

仮想インターフェース生成後は、図 8 に示すフォーマットの IP アドレスを生成し、仮想インターフェースに設定する。これらの値は無線ノード ID より一意に生成されるため、各無線ノードが独立して処理を行うことが可能である。

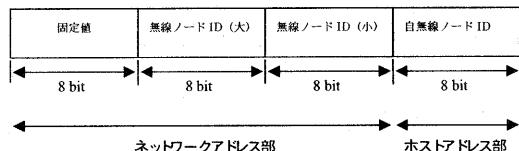


図 8 IP アドレスのフォーマット

仮想インターフェース生成後は、相手の無線ノードに対して Ping による通信の確認を行い、仮想リンクの生成を確認している。その後、各無線ノードはルーティングプロトコルとして OSPF を用いて、IP の経路制御を行う。Ping による確認が得られない場合、生成したインターフェースを削除する。

5.3. 転送プレーンの設定

転送プレーンを設定するためには、網のトポロジーを把握する代表ノードによるツリーの算出が必要である。

本実装方式では、代表ノードの選定に無線ノードIDを用いて、アドホックネットワークを構成する無線ノードのなかで、最も値の小さな無線ノードを代表ノードに選出する。このため、OSPFで交換されるルータIDの値に無線ノードIDをマッピングしている。こうすることで、OSPFによりトポロジー情報を交換し経路が収束すると、各無線ノードは自動的にルータIDより代表ノードを決定することができる。代表ノードとなった無線ノードはトポロジー情報に基づいて転送プレーンに設定すべきツリーの算出をおこなうことになる。

ツリーの算出に関しては、各種方法が考えられるが、今回の評価システムでは単純にコスト(ホップ数)を用いたSPFによるツリーとした。ツリー算出後は代表ノードはデータベースとしてそれを保持し、その他の各無線ノードが代表ノードよりツリーデータベースを取得して、無線ノードのL2SWおよび無線部に対して、フィルタおよびVLANの設定をおこなっている。この設定が行われることで転送プレーンが構成され、移動端末の送受信するパケットは各無線ノードのL2SWを経由するのみで高速に処理されることになる。

また、無線状態(電界強度)などを監視し、無線状態の悪化があった場合、状態を代表ノードに通知することで、あらかじめツリー構成を変更し、IPの経路が不安定になる前に転送プレーンの経路を変更することも可能である。

5.4. 動作検証

方式の動作検証を行うために、無線ノード3台を用いてマルチホップ通信の動作検証を行った(図9)。お互いの電波の届かない位置で起動している2台の無線ノードWN1、WN2の中間で新たに無線ノードWN3を立ち上げる。WN3の起動後、制御プレーン上で、WN1とWN3の間に仮想リンクが生成され、WN2とWN3の間にも仮想リンクが生成されることにより、これまで通信不能であったWN1とWN2の間でIPによる通信が可能になることを確認した。

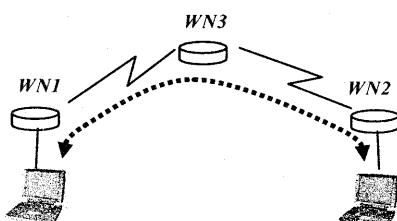


図9 マルチホップ動作検証

またtracerouteによりWN3によりIPパケットがルーティングされていることも確認できた。さらにWN1とWN2に端末1、端末2を接続し、転送プレーン上のレイヤ2の同じVLAN内で通信が行われていることを確認した。これにより本実装で行ったVLANIDおよびIPアドレス生成規則を用いた方法で、制御プレーンをレイヤ3で自律的に構成し、さらにレイヤ2の転送プレーンを用いて通信が行えることを確認した。

6.まとめ

本論文では、マルチホップ無線通信システムとして災害時のネットワーク復旧をターゲットとしたシステム概要および、システムに要求される機能条件を示した。また、通常のIPネットワークで課題となるアドレッシングとモビリティ制御を解決する方式としてレイヤ2を用いた転送とレイヤ3による制御を行いうプレーン構成のアーキテクチャとネットワークの自律構成方式を示した。また本方式をIEEE802.11bの無線機を用いて実装し、制御プレーンのルーティングプロトコルとしてOSPFを用いて制御を行う方式について説明し、動作検証を行った。システムスケールを限定して、仮想リンクIDのフォーマットを規定することで、仮想リンクIDを決定するプロトコル等を用いることなく、無線ノードが独立して処理を行い自律的に網を立ち上げることが可能であることを確認した。

また、本システムの特徴である、自律構成する制御用プレーンと、高速な移動処理とアドレッシングの問題を解決するデータ転送用プレーンの構成は、ルーティングプロトコルや、転送プレーンに構築するレイヤ2ネットワークのトポロジーを限定するものではない。このため今後、本システムのプラットホーム上で複数のルーティングプロトコルや、転送プレーンのトポロジーの算出方式を検討していくことが可能である。

文献

- [1] C.Perkins, E.Belding-Royer , S.Das "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>
- [2] D.B.Johnson , C.E.Perkins , Jari Arkko "Mobility Support in IPv6", <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-mobileip-ipv6-18.txt>
- [3] 川上他「広域イーサネットにおけるモビリティ制御の検討」、電子情報通信学会IA研究会論文、2002.10