

メッシュネットワークに利用するアドホックルーティング プロトコルのシミュレーション評価

伊藤 将志[†] 鹿間 敏弘[‡] 渡邊 晃[†]

[†] 名城大学大学院理工学研究科 [‡] 三菱電機 (株) 情報技術総合研究所

Evaluation of Ad hoc Routing Protocols for a Mesh Network based on Simulation results

Masashi ITo[†], Shikama Toshihiro[‡] and Akira Watanabe[†]

[†] Graduate School of Science and Technology, Meijo University [‡] Information Technology
R& D Center, Mitsubishi Electric Corporation

1 はじめに

無線 LAN は物理的配線のコスト削減や、端末が自由に移動できるという利便性から、IEEE(Institute of Electrical and Electronic Engineers)で規格化されて以来、急速な普及を遂げた。無線 LAN は無線端末がアクセスポイント (以下 AP) を介して有線ネットワーク部に接続するインフラストラクチャモードが一般的である。それに対し、近年では無線端末同士直接通信を行うアドホックネットワークの研究が盛んに行われている。アドホックネットワークを構成する端末はそれぞれルーティング機能を持ち、端末が通信を行う際、電波の直接届かない宛先端末に対しては中間に存在する端末を中継してパケットを転送する。ここで用いられるルーティングプロトコルは IETF (Internet Engineering Task Force) の MANET (Mobile Adhoc Network) ワーキンググループで標準化が行われている。しかし、アドホックネットワークでは端末が他端末のパケットを中継する際、バッテリーやメモリ、CPU など、ユーザが必要としないリソースの消費が発生するという課題があり、普及には至っていない。そこで、アドホックネットワークの応用として、AP 間の接続をアドホックネットワークで接続するメッシュネットワークの研究に注目が集まっている。メッシュネットワークを構成する AP は相手端末がどの AP の配下にあるかを把握することによりパケットの経路を決定する機能を持っており、異なる AP に接続した端末同士の通信を可能にする。メッシュネットワークは柔軟に無線 LAN の通信範囲を拡大することができるという利点があり、アドホックネットワークの適切な応用例であると言える。

メッシュネットワークの代表例として、Multihop-Wireless LAN (以後 M-WLAN) [1][2], Metro Mesh[3], MeshCruzer[4] といった技術があり、IEEE802.11s でも標準化作業が進められようとしている。ルーティングプロトコルとして、M-WLAN では MANET の OLSR[5] を改造したものを採用している。また、詳細な情報はほとんど公開されていないが、MeshCruzer では MANET の AODV[6], Metro Mesh では独自の PWRP (Predictive Wireless Routing Protocol) を採用している。

このように、現在メッシュネットワークは開発機関ごとに様々な仕様が乱立している状態である。メッシュネットワークに最適とされるアドホックルーティングプロトコルはまだ明確にさ

れておらず、これを明らかにすることは、今後のメッシュネットワークの研究に重要であると考えられる。メッシュネットワークでは、利用する用途の違いやアドホックルーティングプロトコルの組み合わせによって、ネットワーク全体に及ぼすトラヒック量やパケットロス率などが大きく影響を受ける。例えば、メッシュネットワークの用途としては、公衆無線 LAN 環境の拡大を目的とする場合や、災害時の非常通信、車車間通信への応用などが考えられる。これらの異なる用途では、アクセスポイントの密度、ネットワークトポロジの変化率などの点で前提となる条件が異なる。また、アドホックルーティングプロトコルには、常時経路を生成しているプロアクティブ型、通信ごとにオンデマンドで経路を生成するリアクティブ型の 2 種類がある。これらにはそれぞれに適した利用条件があり、オールラウンドなアドホックルーティングプロトコルは存在しない。

本稿では、我々がメッシュネットワークの一実現方式として研究を進めている WAPL (Wireless Access Point Link) [7]~[9] を例にとってネットワークシミュレータ NS2[11] によって最適なルーティングプロトコルを解析した。その結果、公衆無線 LAN としての利用を想定する場合、トラヒック量やパケットロス率などの観点から WAPL に最適なアドホックルーティングプロトコルは AODV であることを示した。

2 WAPL

図 1 に WAPL の動作概要を示す。WAPL の AP にあたる装置を WAP(Wireless Access Point) と呼ぶ。WAP は無線 LAN のインタフェースを 2 つ持ち、一方は WAP 間の通信、もう一方はユーザ端末との通信に利用する。WAP 間通信は MANET のルーティングプロトコルにより、アドホックネットワークを構成する。ユーザ端末との通信はインフラストラクチャモードで、通常のユーザ端末が接続する。WAP はユーザ端末のパケットをカプセル化/デカプセル化することにより、ユーザ端末間の通信を実現する。

WAPL では、アドホックルーティングテーブルとは別に、リンクテーブルと呼ばれるテーブルを独自に定義する。リンクテーブルとは、端末の MAC アドレスと従属する WAP のアドホッ

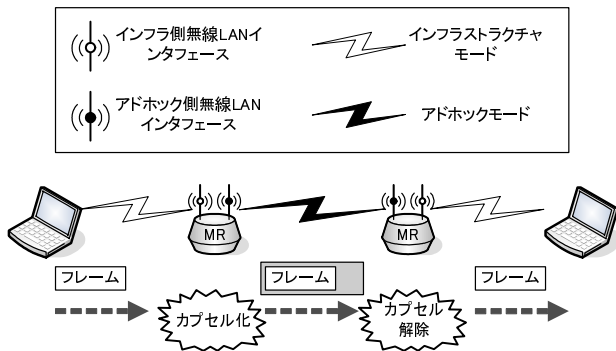


図 1: WAPL 動作概要

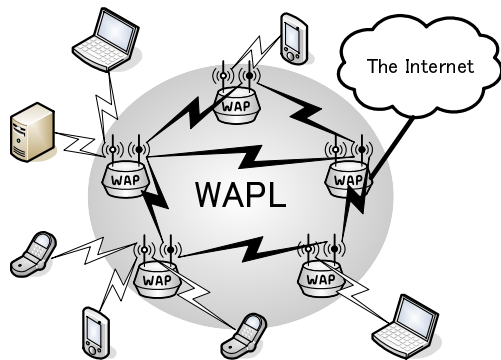


図 2: WAPL の構成例

ク側 IP アドレスの対応関係を表すテーブルである。これを必要に応じて、オンデマンドで自動生成する。自動生成のタイミングとしては、電源オン時の DHCP[10] 処理時、端末が移動したときに端末がデフォルトゲートウェイ宛てに ARP を送信する時などがある。WAP 間通信は MANET のルーティングプロトコルを使用するが、そのプロトコルには一切手を加えない。それゆえに、WAPL は自在なルーティングプロトコルの選択が可能であり、用途に応じた最適なプロトコルを選択できる。

図 3 に端末 1 が WAP1 に接続した時のリンクテーブル生成シーケンスを示す。端末 1 は最初にネットワークに接続する際、DHCP Discover メッセージをブロードキャストする。上記パケットを受け取った WAP1 は、これをカプセル化し、他の全 WAP へフラッディングする。各 WAP はカプセル化を解除して DHCP Discover メッセージを配下の端末にブロードキャストする。同時に受け取った DHCP パケットの情報から「端末 1 は WAP1 の配下に存在する」というリンクテーブルを生成する。WAP3 は、DHCP サーバからの DHCP Offer メッセージを受け取ると、先ほど生成したリンクテーブルを参照し、WAP1 の IP アドレスで DHCP Offer メッセージをカプセル化して、WAP1 に送信する。WAP1 はこれを受け取ると、カプセル化の解除を行い、端末 1 に送信する。以後生成されたリンクテーブルは端末が移動するまで保持され、他の WAP の配下端末から端末 1 へデータの送信が可能になる。また、Windows 端末は AP を移動するとデフォルトゲートウェイへ向けて、ARP を送信する。これを利用して端末が別の WAP に移動した場合、ARP のカプセル化とフラッディングによりリンクテーブルの更新を行う。

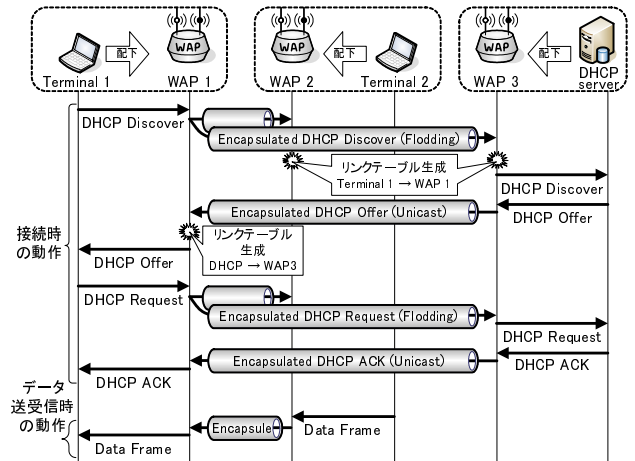


図 3: ネットワーク接続時のシーケンス

3 WAPL の応用例

メッシュネットワークの活用方法として、公共無線 LAN の拡大、災害時への応用、車車間通信への応用が考えられる。これらの利用環境を説明し、それぞれの環境ごとにシミュレーションの条件となる WAP や端末の配置や動きを以下のように想定する。

● 公衆無線 LAN の拡大

従来の AP が利用されている公衆無線 LAN をそのままメッシュネットワークに置き換えたものであり、小規模な地区や都市などに無線インフラを展開することが目的である。WAP は適切に計画的に配置される。端末は WAPL への参入、離脱、移動を繰り返す。

● 災害時通信インフラへの応用

災害時には安否確認などの通信による輻輳の発生や、AP や LAN ケーブルが破壊され通信経路が物理的に断たれる場合がある。これに WAPL を適用すると、WAP の追加によって輻輳回避、迅速なインフラ再構築が可能になる。追加される WAP は比較的計画的に配置することができ、途中から WAPL への参入を行う。端末は公衆無線 LAN と同様に WAPL への参入、離脱、移動を繰り返す。

● 車車間通信への応用

車内に WAP を搭載することにより、一般端末を携帯したユーザが車車間通信を行うことができる。アドホックネットワーク端末を利用した車車間通信の研究も既に行われているが、WAPL のようなメッシュネットワークを利用すると、一般の端末がリソース消費問題を気にせずに通信できる。WAP 同士の位置関係は頻繁に入れ替わる可能性がある。端末も参加、離脱を繰り返す可能性があるが、移動は行わない。

4 ルーティングプロトコルの選定

ネットワークシミュレータ ns2 を用い、特定の条件下において WAPL に利用するルーティングプロトコルを変更し、性能を評価した。WAPL の処理はルーティングプロトコルとは独立

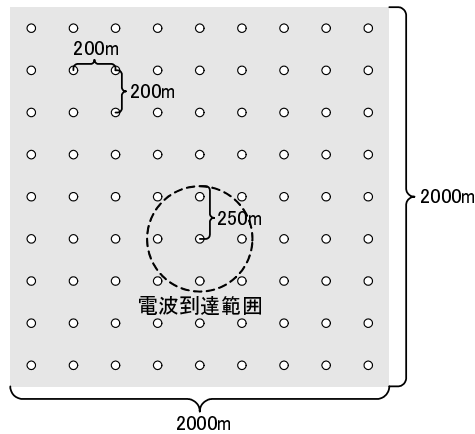


図 4: WAP の配置図

しており、実際にルーティングプロトコルを変更するのは容易である。

MANET のルーティングプロトコルは、前述のように経路生成方法において、リアクティブ型とプロアクティブ型の2つに分けられる。リアクティブ型では AODV が、プロアクティブ型では OLSR が代表であり、ともに RFC となっている。ゆえに、この2つのルーティングプロトコルを比較対象として、シミュレーションを実施した。

4.1 シミュレーション諸元

前述のように公共無線 LAN への利用における環境では WAP を適切配置することができる。今回行った適切配置とは、フラッディング効率に優れた密度で、対象エリア全体をカバーするように WAP を配置することである。

WAP の周りに端末が配置されるシミュレーションが理想であるが、ns-2 ではインフラストラクチャモードがサポートされておらず、WAP の動作を実装するのは困難である。そのため、今回は WAP そのものからトラヒックが発生するものとした。WAPL では、端末-WAP 間と WAP 同士では異なるチャンネルを利用するため、それぞれのトラヒックは独立している。よって、この方式でも WAPL のトラヒックシミュレーションを行うことが可能である。

シミュレーションの測定エリアは 2000m 四方とし、WAP の配置間隔は 200m。電波到達範囲は 250m である。WAP の必要数は 81 個となる (図 4)。WAP 同士の通信に用いる周波数チャンネルはすべて同一とする。

WAPL 内で適当なデータサイズの UDP ストリームを流し、制御トラヒック、全体トラヒック、パケットロスを測定する。1つのストリームは UDP で 200byte のデータを 50msec 間隔で送信する。シミュレーションでは 30 秒間のトラヒック量を測定する。1回のシミュレーションごとにストリームの本数を変更し、40回のシミュレーションを AODV と OLSR ごとに試みた。OLSR においては WAP 内の経路情報が確定するまである程度時間がかかるため、50秒～80秒の30秒間（安定時）で測定した。

4.2 シミュレーション結果とプロトコル評価

シミュレーション結果を図 5～7 に示す。図 5, 6 では横軸に 1 回のシミュレーションで流したストリームの本数、縦軸にシミュレーション時間中の全体のトラヒック量とルーティングプロトコルが占めるトラヒック量を示し、AODV と OLSR の場合を比較した。図 7 では、横軸にストリーム数、縦軸に WAPL 内全体のパケットロス率を示し、AODV と OLSR を比較した。

図 5 が示すように、AODV の場合、アドホックルーティングプロトコルの制御トラヒックはストリーム数と共に増加する。AODV は通信開始時にのみ制御パケットをフラッディングし、経路情報を生成する。ストリーム数が 12 までは制御トラヒックが極端に増加することはないが、それ以上は AODV の制御パケットが急増する。これは、経路の輻輳により、キャッシュに溜まった送信待ちパケットが破棄され、迂回経路の再構成を行う動作が働くためである。このとき WAP のデータリンク層から CallBack (以後 CBK) と呼ばれる指示が上位層に出され、その度にルートエラーメッセージがフラッディングされる。この処理は AODV 特有の機能である。図 7 から AODV はストリーム数が 12 を超えた辺りでパケットロスが発生し始める。これは上記 CBK が発生したときに、キューに溜まっていたパケットを全て廃棄するためである。このパケットロスにより全体トラヒック量も増加率が減少しているのが分かる。それに対して、OLSR の場合は図 6 に示すように、ストリーム数が増えるにつれて、アドホックルーティングプロトコルの制御トラヒックが減少する。これは、OLSR では経路に輻輳が発生しても AODV のような経路再構成処理による制御メッセージが発生しないためである。OLSR は輻輳を認識しても、即座に制御メッセージを出すことはなく、定期的に情報交換を行う制御パケットによって経路の再構成を行う。また、図 7 のように、OLSR は定期的な経路再構成が行われるまで輻輳への対処を行わない分、全体のパケットロス率は AODV に比べて多いことがわかる。

図 8 にペア数が最大時におけるパケットロスの理由別内わけを示す。CBK は CallBack によるパケットの破棄を、NRTE はルートが利用できずに生じるパケットの破棄を、IFQ はキューから溢れたことによるパケットの破棄を、TTL はパケットの生存時間が 0 となることによるパケットの破棄を、LOOP はループしたパケットの破棄を表す。AODV では CBK が、OLSR では NRTE が主なパケットロスの理由である。

経路の輻輳が発生すると、AODV では前述のように迂回経路を再構成するため、制御パケット量は増加するが、その分パケットロス率を抑えることが出来る。OLSR では輻輳があっても経路の再構成はせず、経路の再構成はあくまで定期的な情報交換のもとに行う。そのため、ルートの再構成が間に合わず、パケットロスの大半が NRTE となる。

また、通信ストリーム数が 24 を超えると、両ルーティングプロトコルによるパケットロス率の差に大きな差はないが、パケットロス率が、0～7% という実用的な範囲では AODV の方が良い結果を出している。OLSR の一般的な利点は、定期的な情報交換により最小限の中継ノード集合 (MPR 集合) を形成し、無駄なフラッディングを回避するところにある。これはアドホックネットワークが密集している場合には効果大きい。しかし、WAP を適切配置した場合は、このような OLSR の利点は生かされない。

以上のシミュレーション結果及び考察より、WAP を適切配置できる公衆無線 LAN にメッシュネットワークを適用した場

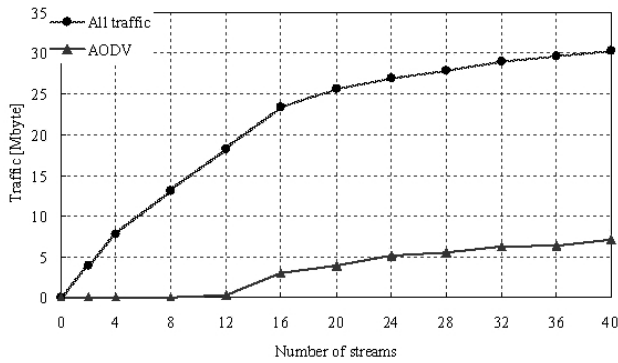


図 5: ストリーム数に対する AODV トラフィック

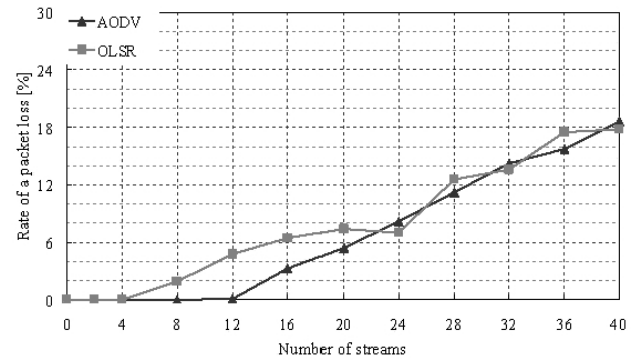


図 7: ストリーム数に対するパケットロス率

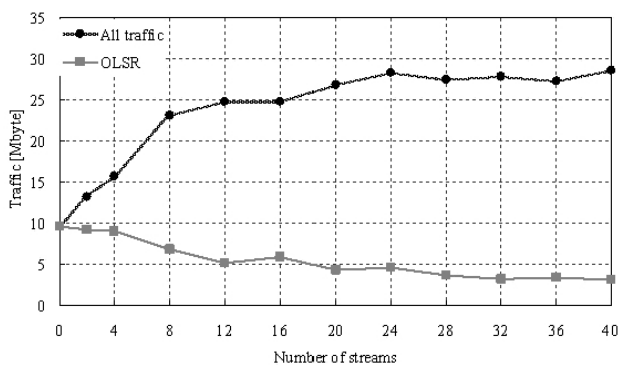


図 6: ストリーム数に対する OLSR トラフィック

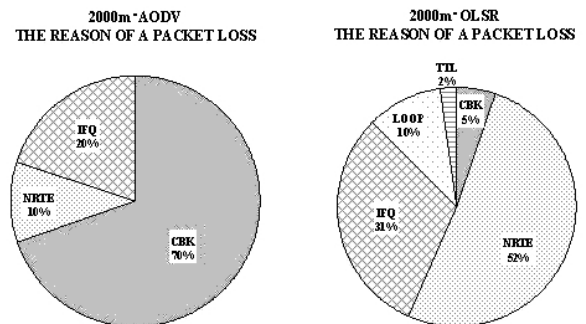


図 8: パケットロスの理由

合ではルーティングプロトコルとして AODV が適していると考えられる。

5 まとめ

メッシュネットワーク構築の一方式である WAPL に最適なアドホックルーティングプロトコルを検討した。WAPL はルーティングプロトコルと完全に独立した構造をとる。そのため、用途に応じてルーティングプロトコルを選定できる。

本稿ではメッシュネットワークを公衆無線 LAN に利用した場合を想定し、WAPL に最適なアドホックルーティングプロトコルを検討するためにシミュレーションを行った。UDP のストリーム数を変化させたときのトラフィック量、通信パケットのロス率を調査することにより、WAP を通信エリアに適地配置する公衆無線 LAN への利用の際には AODV が適していることがわかった。

今後はネットワークシミュレータに WAPL を実装した上でのシミュレーションを行い、災害通信や車車間通信への応用など、様々な WAPL の利用環境を想定したシミュレーションを行っていく。

参考文献

- [1] K.Mase, et al., "Wireless LAM with Wireless Multihop Backbone Network", IEEE ICWLHN 2001.pp349-358
- [2] 大和田 泰伯, 照井 宏康, 間瀬 憲一, "無線マルチホップ LAN のアーキテクチャにおける検討" 電子情報通信学会 信学技報 Nov. 2004
- [3] Metro Mesh
<http://www.tropos.com/>
- [4] MeshCruzer
<http://www.thinktube.com/>
- [5] T.Clausen P.jacquet, "Optimized Link State Routing Protocol" (OLSR) RFC3626 October 2003
- [6] C.Perkins S.Das, "Ad hoc on-Demand Distance Vector" (AODV) RFC3561 July 2003
- [7] 市川祥平, 渡邊 晃, "アクセスポイントの無線化を実現する WAPL の方式", DICOMO2005 July.2005
- [8] 小島崇広, 市川祥平, 渡邊 晃, "無線アクセスポイントリンク WAPL の立上げ方式", DICOMO2005 July.2005
- [9] 大石 泰大, 渡邊 晃, "WAPL を適用した車車間通信の実現", 情報処理学会第 67 回全国大会, March.2005
- [10] R.Droms, "Dynamic Host Congiguration Protocol", (DHCP) RFC2131 March 1997
- [11] The Network Simulator ns-2
<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

メッシュネットワークに利用するアドホック ルーティングプロトコルのシミュレーション評価

伊藤 将志 †

鹿間 敏弘 ††

渡邊 晃 †

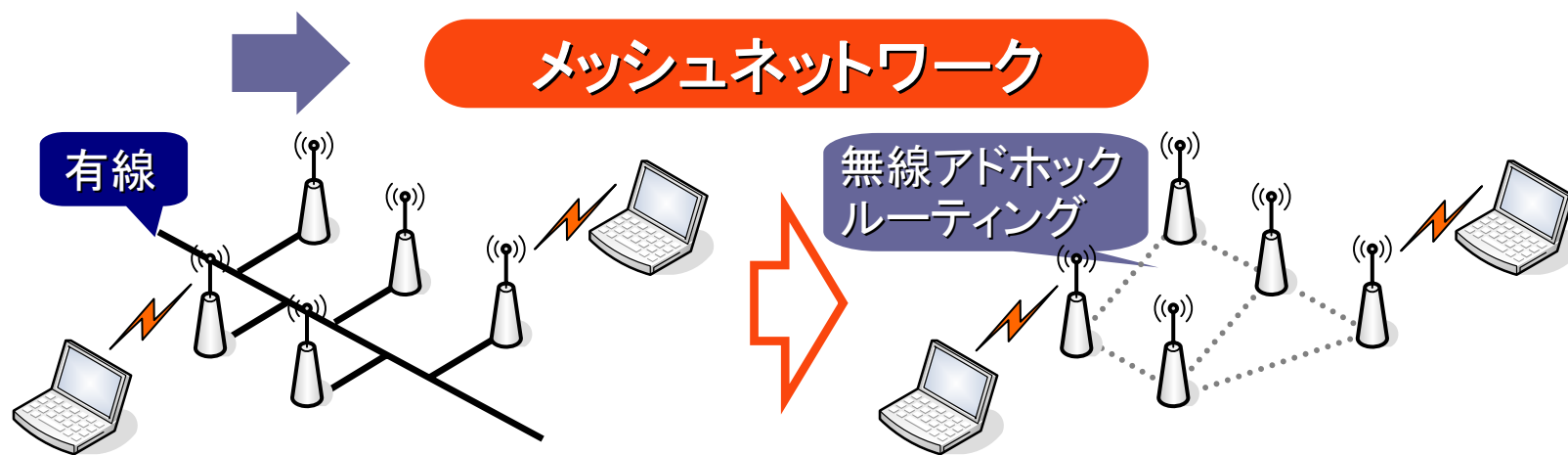


† 名城大学大学院理工学研究科

†† 三菱電機(株) 情報技術総合研究所

はじめに

- 無線LANの普及
 - 配線の除去, 自由なレイアウト
 - 移動性
- 更なる通信範囲拡大の要求
- 有線では採算があわない地域にもブロードバンドを提供

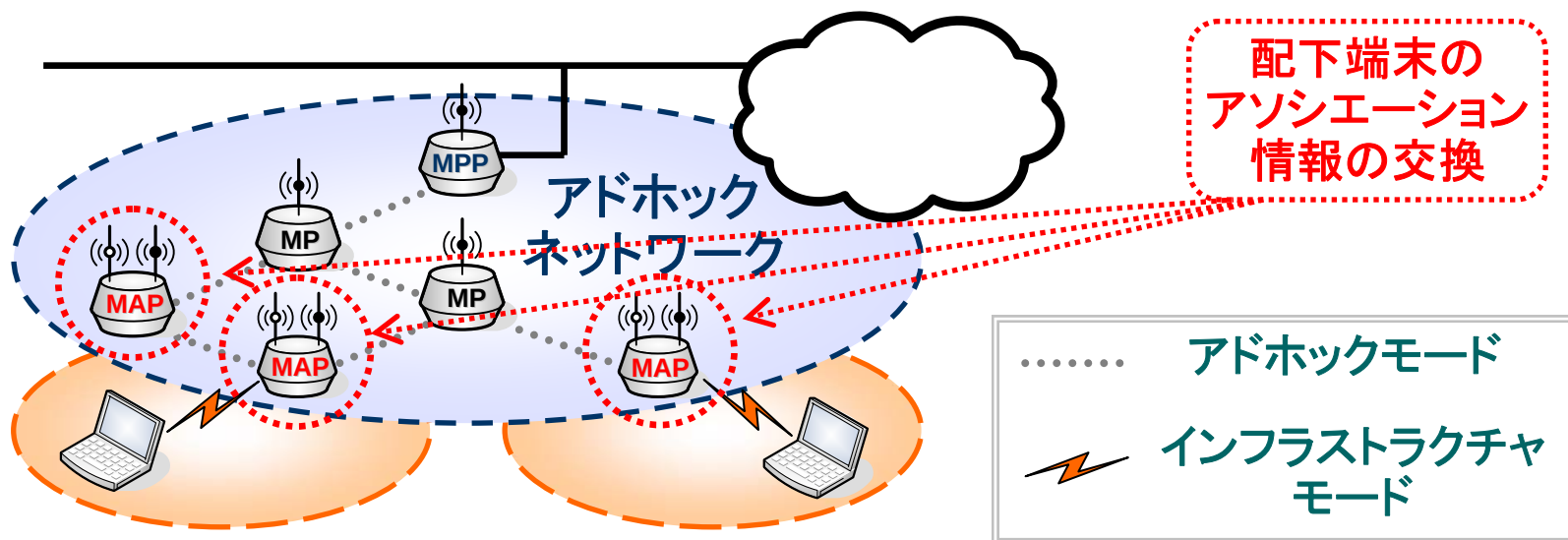


AP (Access Point)間をアドホックルーティングで繋ぐことによって、
容易かつスケーラブルな無線ネットワークの構築が可能

メッシュネットワーク概要

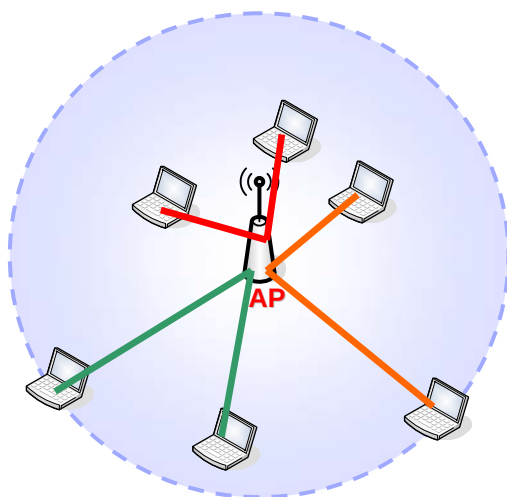
IEEE802.11sの例

- **MP (Mesh Point)**
 - アドホックネットワークを形成するノード
- **MPP (Mesh Portal Point)**
 - アドホックネットワークと有線を接続するノード
- **MAP (Mesh Access Point)**
 - アドホックネットワークを形成するAP
- **STA (Station)**
 - APにアソシエーションを張る一般端末

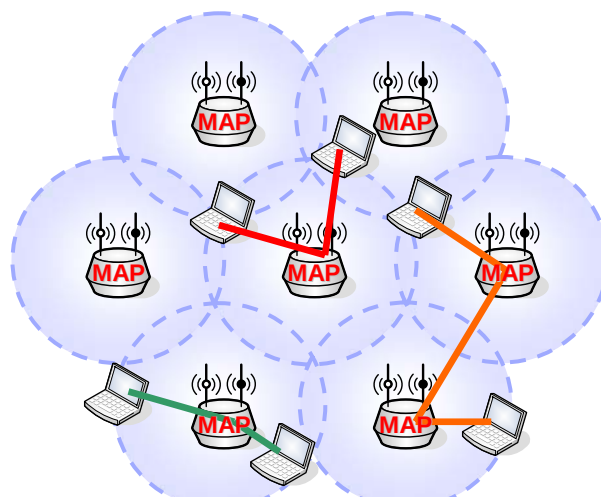


メッシュネットワークの利点

- アドホックネットワークや長距離無線規格との比較
 - 端末リソース消費問題の解決
 - 消費電力の削減(MAPからの通信距離を短くできる)
 - APの負荷分散
 - 迂回経路による信頼性向上
- } 1端末あたりの
利用可能帯域向上



長距離無線



メッシュネットワーク

既存技術

● IEEE802.11s

- 提案内容(提案例: SEE, WiMeshなど)
 - 経路制御技術
 - MAC高度化技術
 - セキュリティ
 - 相互接続
 - チャネル設定
- WDSを利用したMAP間通信
- 仕様草案発行2006年3月, 作業終了2008年6月

● Cellular Wi-Fi

- 米国での運用実績
- PWRP (Predictive Wireless Routing Protocol)
- 自己編成・自己回復能力

既存技術

● M-WLAN (Multi hop Wireless LAN)

- OLSRを拡張したルーティングプロトコル
- 拡張OLSRによるAP配下アソシエーション情報の定期的交換
- 大規模テストベッドによる実験

● WAPL (Wireless Access Point Link)

- アドホックルーティングプロトコルに依存しない
- オンデマンドなアソシエーション情報の交換

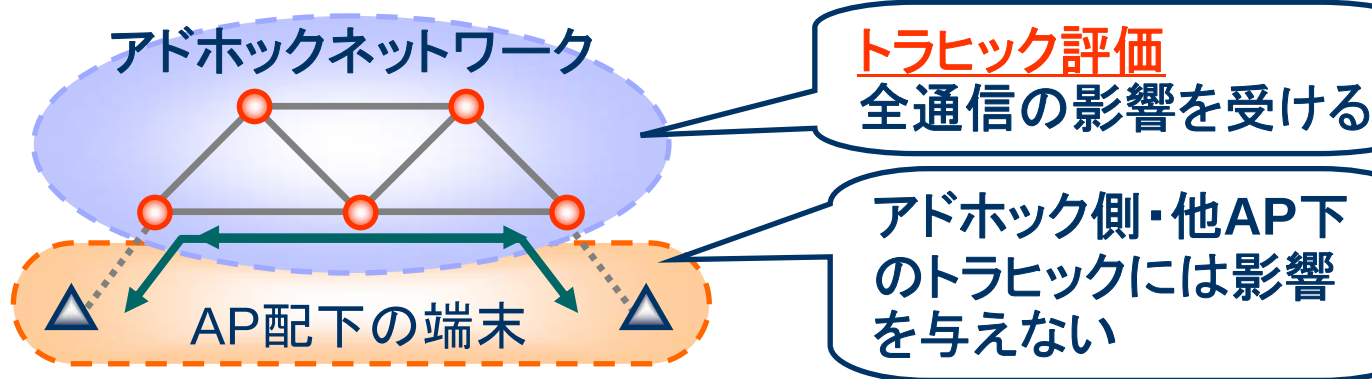


本シミュレーションの目的

- 既存技術ではルーティングプロトコルの選定基準について明らかにされていない
 - ➡ ns-2を利用してメッシュネットワークにAODVとOLSRを適応させて、トラフィックを流した際の評価を定量的に示す
- AODV : リアクティブ型(オンデマンド)
 - 通信開始時にフラッディングにより経路生成
 - 利点** トポロジー変化を意識しなくてよい
 - 欠点** 通信開始時に遅延が発生
- OLSR : プロアクティブ型(テーブル駆動)
 - 定期的なフラッディングによる経路情報の交換・経路生成
 - フラッディング経路の最適化
 - 利点** 通信開始時の遅延がない
 - 欠点** トポロジー変化への対応に遅延が発生

シミュレーション方法

- MAPの適切配置を想定したシミュレーション
- MAP配下の端末同士の通信のシミュレーション
 - ➡ MAPが代理で端末のトラヒックを発生させる
 - インフラストラクチャ側とアドホック側ではチャンネルが異なる



メッシュネットワークシミュレーションの特徴

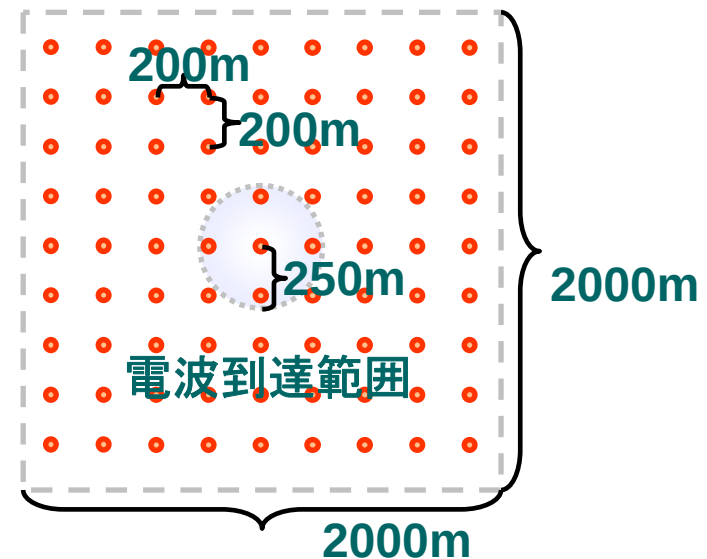
アドホック端末間通信ではトラヒック発生元はモバイル端末が想定される

➡

トラヒック発生元はAP(適切配置)のため **フラッディング最適化の効果減**

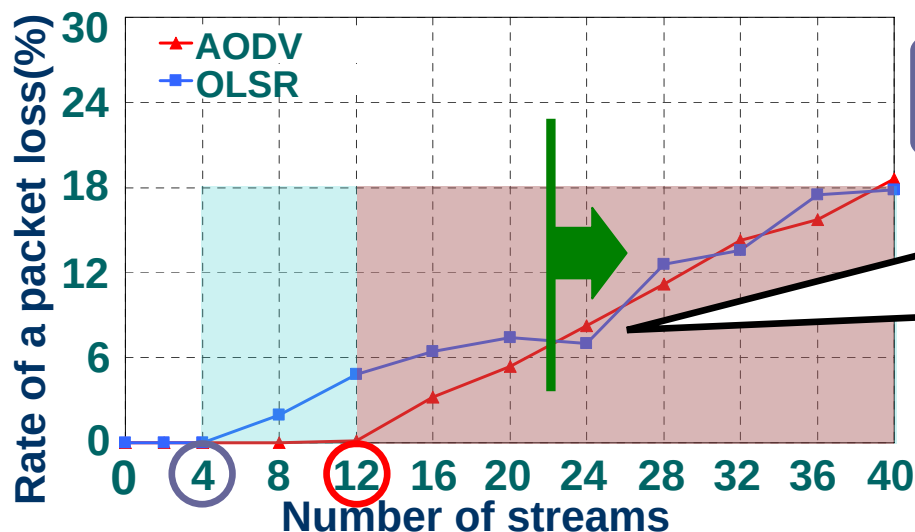
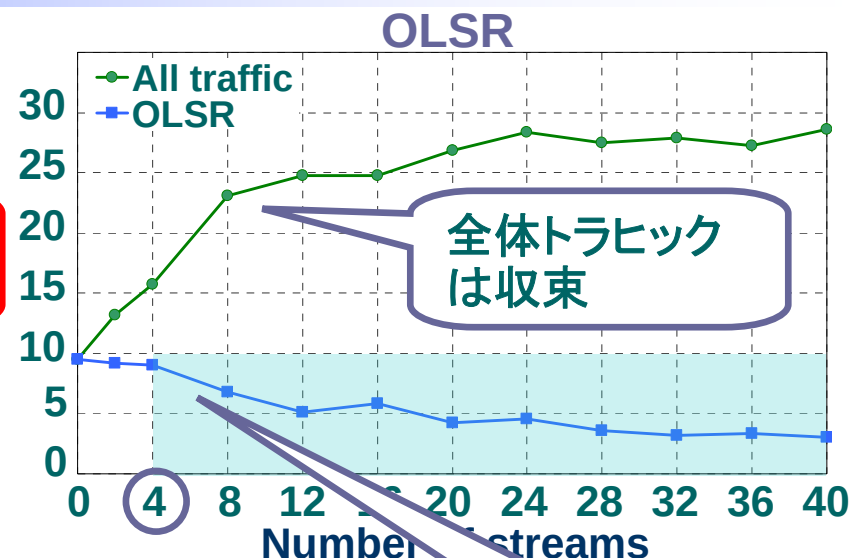
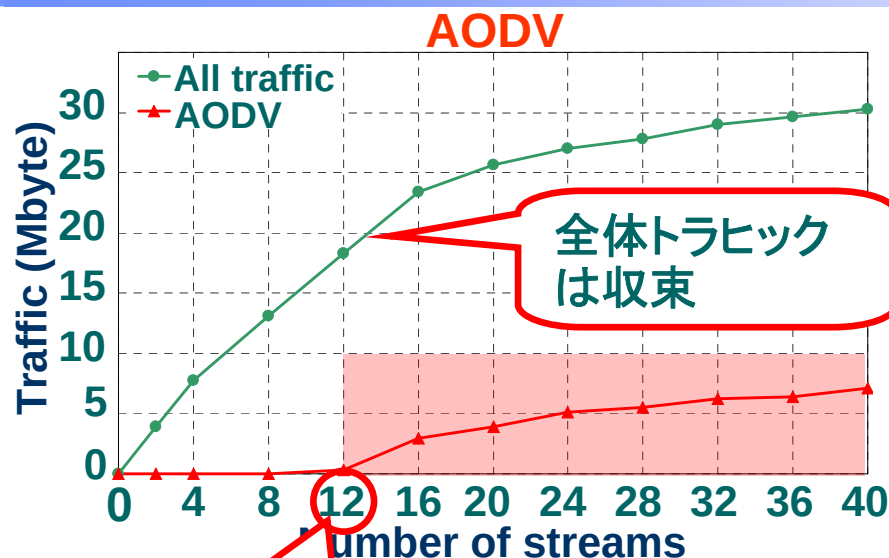
シミュレーション緒元

- 測定範囲: 2000m四方
- 配置間隔: 200m
- 端末数: 81
- 電波到達範囲: 250m
- パケットサイズ: 200byte
- 通信インターバル: 0.05秒 (終了時まで継続)
- Helloメッセージ送信間隔 (OLSR): 1秒
- TCメッセージ送信間隔 (OLSR): 5秒

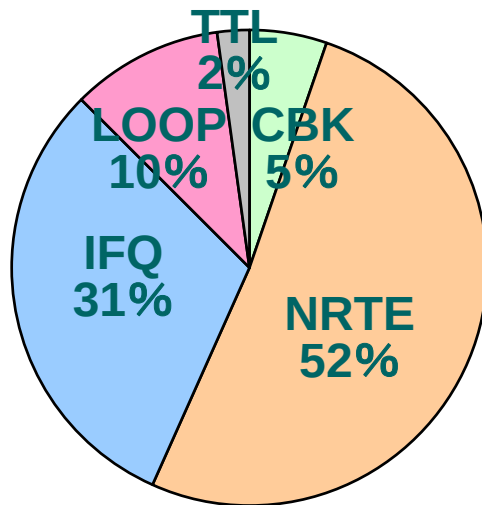
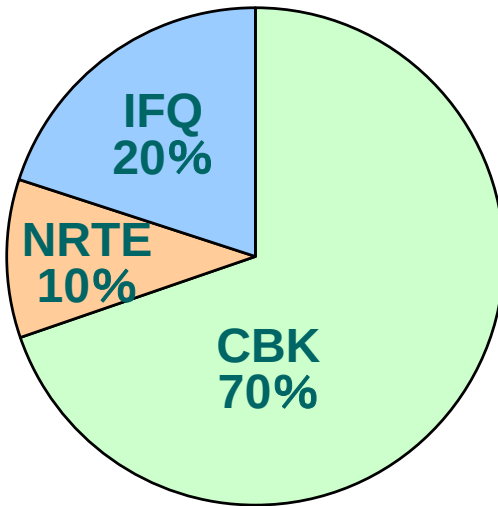


➡ 30秒間でネットワークに発生するストリーム総数が1～40本の場合毎にトラヒック量, パケットロスを測定

結果と考察1



結果と考察2



● AODV

- 送信待ちパケットが溜まると**即**経路再構築を行う
- 経路再構築中にMAC層からCBK (Call Back)が発生し, 経路が出来るまでパケットは破棄される

● OLSR

- 送信待ちパケットが溜まっても経路再構築は行わない
- 経路は**定期的**に再構成される
- ルートが利用できない(NRTE)とされパケットが破棄される

シミュレーションのまとめ

結果に影響すると考えられる要因

- OLSRのフラッディング最適化の効果低下
- 今回の通信シナリオは各ストリームの通信量が多く、通信頻度が少ない
 - 通信開始毎に制御パケットを発生するAODVに有利
 - 輻輳が頻繁に発生する環境
- 輻輳に対して随時経路再生が行われるAODVの方がパケットロスしにくい



MAPが適切配置される環境を想定した場合、今回の通信条件ではAODVの方が有利
(ただし今回の通信条件はAODVに有利)

今後のシミュレーション

- 適地配置による影響を明らかにする
 - ➡ 通信頻度を上げた際のシミュレーション
(プロアクティブ型に有利)
- WAPLアーキテクチャの実装
- アソシエーション情報交換によるトラヒックを含めた評価
 - オンデマンド交換方式と定期的交換方式の比較
 - 上記の状態で端末の移動が起こった際の比較
- シチュエーションを変えたシミュレーション
 - 車車間通信
 - 災害時の通信

まとめ

- メッシュネットワーク概要
 - AP間通信の無線化
 - シミュレーションの特徴
 - MAPが代理で端末のトラヒックを発生させる
 - アドホック間通信に対し, インフラストラクチャ間通信では, トラヒックを発生するノードは適切配置可能
 - AODV, OLSRをメッシュネットワークに適用させて, 定量トラヒックを流した場合の評価
 - AODVは随時経路再生し, パケットロスが少ない
 - 輻輳が通信に適した範囲の場合, AODVが有利 (輻輳が膨大になると両プロトコルは同等)
- ➡ 適地配置の影響を明白にするには通信頻度の高いシチュエーションでの評価も必要

フラッディング最適化効果の低下

