

# ns-2による無線 LAN インフラストラクチャモード のシミュレーション

樋口 豊章

大規模で複雑なネットワーク上で発生するトラフィックを解析するために、シミュレーションは有効な手段である。ns-2 (Network Simulator - 2) はオープンソースのネットワークシミュレータであり、多くの研究機関で利用されている。

しかし、現在の ns-2 では、無線 LAN アドホックネットワークに関する機能は充実しているものの、一般に使われる無線 LAN インフラストラクチャモードのシミュレーションを行う事ができないという課題がある。そこで本稿では上記のシミュレーションを実現するために ns-2 の拡張を検討した。

## Simulation of wireless LAN Infrastructure Mode with ns-2

Toyoaki Higuchi

The simulation is an effective method to analyze traffic generated on a large scale and complex network. Ns-2 (Network Simulator-2) is a network simulator of open source, and it is used by a lot of research laboratories.

However, there is a problem that wireless LAN infrastructure mode used in general cannot be simulated though the function concerning wireless LAN ad hoc network has been enhanced in present ns-2. Then, to achieve the simulation of the above-mentioned, enhancing ns-2 was examined in this text.

### 1 章. はじめに

大規模で複雑なネットワーク上で発生するトラフィックを解析するために、シミュレーションは有効な手段である。また、市販のシミュレータは一般に高価なものが多いが、ns-2 (Network Simulator - 2) はオープンソースのネットワークシミュレータであり、多くの研究機関で利用されている。

無線 LAN は、端末が存在する場所に関係なく通信を行える移動性と利便性から、急速な普及を遂げており、今後更なる拡大が予想される。

しかし、現在の ns-2 では、ルーティングプロトコルなど無線 LAN アドホックネットワークに関する機能は充実しているが、一般に使われる無線 LAN インフラストラクチャモードのシミュレーションを行うことができない

という課題がある。既存技術を利用した研究の評価や比較検討などに NS-2 を利用するためにはインフラストラクチャモードの機能を追加する必要がある。

そこで本稿では上記のシミュレーションを実現するために ns-2 の拡張を検討し、新たなモジュールを加えることで解決を試みた。

以下、2 章では ns-2 の課題を明確にし、3 章では無線 LAN インフラストラクチャモードの実現に必要な機能について説明を行う。4 章では AP 機能の実装方法について述べ、最後に 5 章でまとめを行う。

### 2 章. ns-2 の課題

現在の ns-2 では無線 LAN と有線 LAN を跨ぐ通信を行うために、ゲートウェイの役割を

果たす BS (BaseStation) が用意されている。BS の無線側はアドホックルーティングプロトコルの DSDV ( Destination-Sequenced Distance Vector) が動作しており, MobileIP の機能を併用することによって, 擬似的なハンドオフも行うことができる。

図 1 に BS におけるパケットの流れを, 図 2 にハンドオフ後のパケットの流れを示す。図 1 に示すように, BS は IP アドレスを参照することで無線 LAN と有線 LAN を繋ぐ中継装置として機能している。また, 図 2 に示すように, 無線端末が接続関係を BS1 から BS2 に切り替えた (ハンドオフ) 後も有線端末は BS1 へとパケットを送信するが, BS1 と BS2 の間でパケットをカプセル化することによって, BS2 配下の無線端末へパケットを送信することができる。

しかし, 有線 LAN と無線 LAN を繋ぐ中継機能が, インフラストラクチャモードはレイヤ 2 レベルのブリッジであるのに対し, BS はレイヤ 3 レベルのルータである。また, BS はインフラストラクチャモードで端末局と基地局の接続関係を確立するのに必要なビーコンや, プローブ要求/応答, アソシエーションの確立などの機能を有していない。さらに, ns-2 ではノードに対してチャンネルが静的に設定されているため, 異なるチャンネルを使用する基地局間でのハンドオフを行うことができない。

そのため, インフラストラクチャモードのシミュレーションを行うには不十分である。

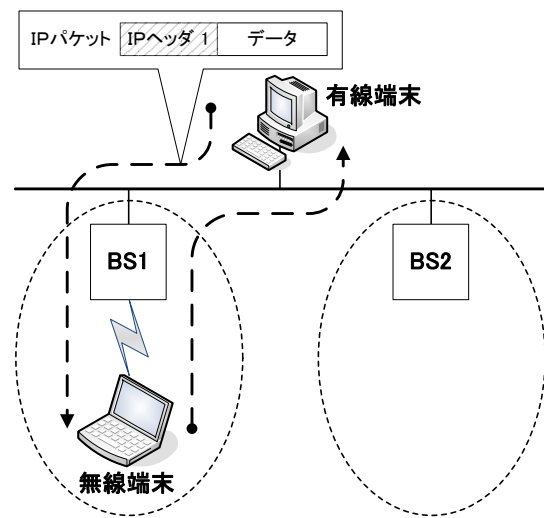


図 1 BS のパケットの流れ (ハンドオフ前)

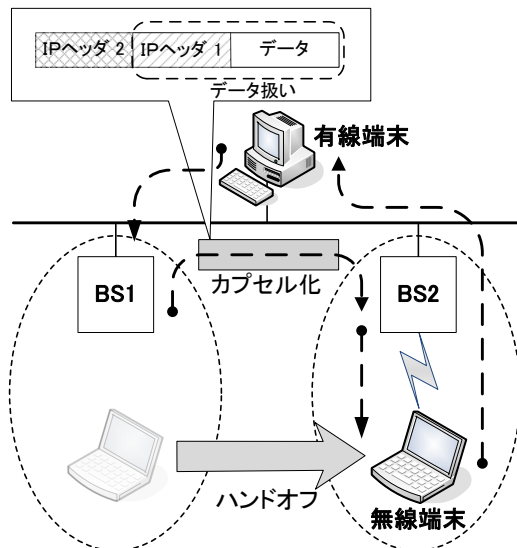


図 2 BS のパケットの流れ (ハンドオフ後)

### 3章. インフラストラクチャモードの実現に必要な機能

#### 3.1. インフラストラクチャモードの機能

ns-2 でインフラストラクチャモードのシミュレーションを行うためには, アクセスポイント (AP : Access Point) の機能を有するノードが必要であるが, ns-2 には AP に相当する機能が存在しない。本研究では ns-2 に新た

なモジュールを追加することにより、無線 LAN インフラストラクチャモードのシミュレーションを実現する。無線 LAN インフラストラクチャモードとして重要な機能を以下の3点にまとめた。

- 1) 有線／無線を繋ぐ中継機能
- 2) 端末／APの接続関係を確立する機能
- 3) ハンドオフ機能

以下に、それぞれの実現方法について述べる。

### 3.2. 有線／無線を繋ぐ中継機能

有線と無線を繋ぐ中継機能において、APはネットワーク機器のブリッジと同様の機能を含んでいるため、MACレベルでパケットを調査し、MACアドレスからフィルタリングを行い適切なネットワークセグメントへ転送する機能が必要である。また、図3に示すように有線LANと無線LANでは、フレームフォーマットが異なるため、有線LANと無線LANを跨ぐ通信を行う場合は、APにおいてフレームフォーマットの変換を行う機能が必要である。現在のns-2では無線LANフレームに“MACアドレス3”と“MACアドレス4”が存在しないため、MACフレームにも改造が必要である。

しかし、フィルタリング後の動作において、APとブリッジでは若干異なる。ブリッジは有線セグメントを繋ぐ装置なので、図4における端末CとDのようにLANケーブルを監視することにより、各端末は同じセグメント内の通信パケットを、ブリッジを介さず直接受け取ることができる。しかし、インフラストラクチャモードにおける通信では無線端末から発信されたパケットは必ずAPを中継するため、図4における端末AとBが通信を行

う場合も、端末から発信されるパケットはAPに送られ、その後、APから宛先端末へと送信される。

図4の構成においてAPを介する通信を行った際のAPの動作とMACアドレステーブルの状態遷移の様子を表1に示す。

表1に示すように、APにパケットが届くとネットワーク機器のブリッジと同様、APはMACアドレステーブルに基づき、パケットを送信するセグメントを選択する。しかし、ネットワーク機器のブリッジではパケットが送信されてきたセグメントへパケットを発信することはないが、インフラストラクチャモードでは無線端末から発信されたパケットは必ずAPを中継するため、端末AとBのように無線セグメント内で通信を行う場合、MACアドレステーブルの状態に関わらず、APは無線側のセグメントにパケットを発信する。

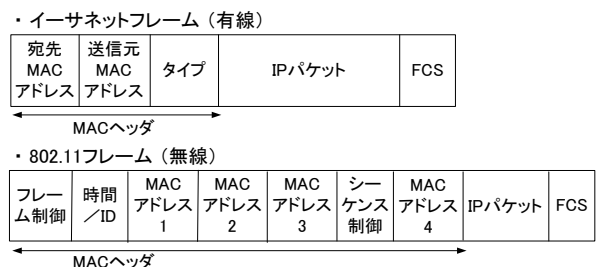


図3 有線と無線のフレームフォーマットの違い

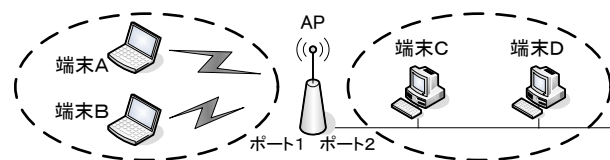


図4 APの構成例

表 1 MAC アドレステーブルと AP の動作例

パケットの流れ		アドレステーブル		APの動作
		ポート1	ポート2	
1	シミュレーション開始直後			アドレステーブルには何も登録されていない
2	端末A→端末C	A		テーブルに端末Cが登録されていないため、ポート1と2のセグメントに送信する
2'	端末C→端末A	A	C	テーブルに端末Aが登録されているため、ポート1に送信し、ポート2には送信しない
3	端末B→端末A	A B	C	テーブルに端末Aが登録されているため、ポート1に送信し、ポート2には送信しない
3'	端末A→端末B	A B	C	テーブルに端末Bが登録されているため、ポート1に送信し、ポート2には送信しない
4	端末D→端末A	A B	C D	テーブルに端末Aが登録されているため、ポート1に送信し、ポート2には送信しない
4'	端末A→端末D	A B	C D	テーブルに端末Dが登録されているため、ポート2に送信し、ポート1には送信しない

※ A, B, C, Dは各PCのMACアドレス

### 3.3. 端末/AP の接続関係を確立する機能

端末と AP の間には、端末が周囲の AP を認識し、認識した AP との間に接続関係を確立する機能が必要である。端末が周囲の AP を認識する方法は、パッシブスキャンとアクティブスキャンの 2 種類がある。図 5 と図 6 に、それぞれパッシブスキャンとアクティブスキャンの動作を示す。

パッシブスキャンは、図 5 に示すように AP が定期的かつ一方的にビーコンを端末へ送信する方法で、端末はビーコンに対して応答はしないが、ビーコンを監視することにより、端末/AP 間の接続を確立するために必要な情報を得る。ただし、ビーコンは CSMA/CA 方式に従って送信されるため、ビーコン送信タイミングにチャンネルがビジー（使用中）である場合には、実際のビーコンの送信タイミングは少し遅れることになる。

アクティブスキャンは、図 6 に示すように端末が積極的に周囲の AP を検索する方法である。端末は AP に対してプローブ要求フレームを送信し、AP が返すプローブ応答により、AP との接続確立に必要な情報を得る。プローブ要求に対して 2 つ以上のプローブ応答が返ってくる場合には、各端末がチャンネルの使用状況を検査して自律的にパケットの送信タイミングを決定する DCF (Distributed Coordination Function) によるアクセス手順に従い応答フレームを受け取る。

ームを送信し、AP が返すプローブ応答により、AP との接続確立に必要な情報を得る。プローブ要求に対して 2 つ以上のプローブ応答が返ってくる場合には、各端末がチャンネルの使用状況を検査して自律的にパケットの送信タイミングを決定する DCF (Distributed Coordination Function) によるアクセス手順に従い応答フレームを受け取る。

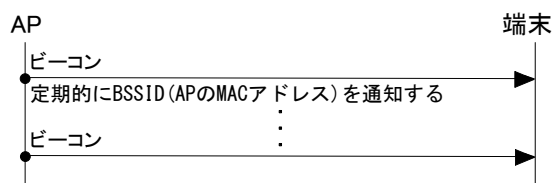


図 5 パッシブスキャン

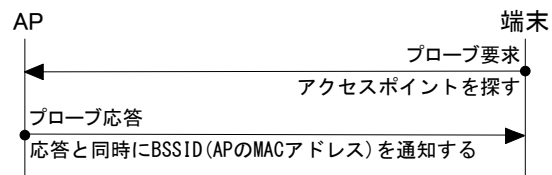


図 6 アクティブスキャン

スキャンした AP の中から最適 AP との間  
に端末が接続関係を確立するまでの手順を図

7 に示す．無線端末が AP と接続関係を確立するには，無線 LAN の物理的なセキュリティを確保するため，無線端末が正規のユーザである（使用している ID の所有者である）証明としてオーセンティケーション（認証）を行う必要がある．オーセンティケーションは，AP と無線端末の間でオーセンティケーション要求／応答フレームを交換することで行う．しかし，セキュリティ上の問題が起こらないシミュレータでは厳密に認証を行う必要はない．そのため，オーセンティケーション要求／応答フレームの交換はダミーのパケットを用いて擬似的に行う．

そして，認証が行われた端末と AP が接続関係を確立するには，アソシエーションを確立する機能を追加する必要がある．この機能により，図 7 に示すように端末と AP の間でアソシエーション要求／応答フレームの交換が行われ，パラメータの交渉や AID（Association ID）の割り当てが行われる．

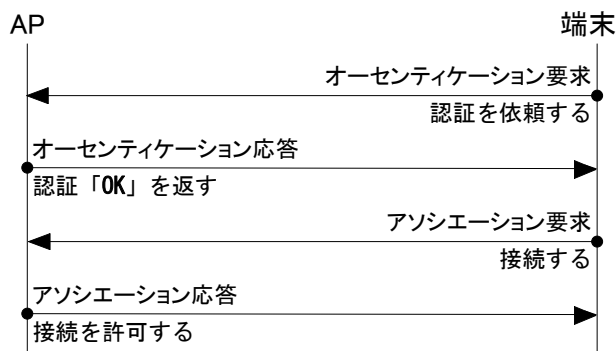


図 7 端末と AP の接続関係確立手順

### 3.4. ハンドオフ機能

ハンドオフとは，ノードが移動，又は何らかの障害によって，それまで接続していた AP と通信できなくなった際に，新たな AP を探索し，通信を継続する機能である．

図 8 に無線端末が AP を探索し，再度接続関係を確立する手順を示す．ハンドオフ処理ではアクティブスキャンを用いてチャンネルを

逐次スキャンし，新たな AP を探索する．探索した AP の中から最適な AP との間にアソシエーションを確立（再アソシエーション）する．

しかし，現在の ns-2 では，ノードのチャンネルが静的に設定されており，ノードがシミュレーション中に利用するチャンネルを変更することはできない．そのため，動的にチャンネルを変更できる機能を追加する必要がある．

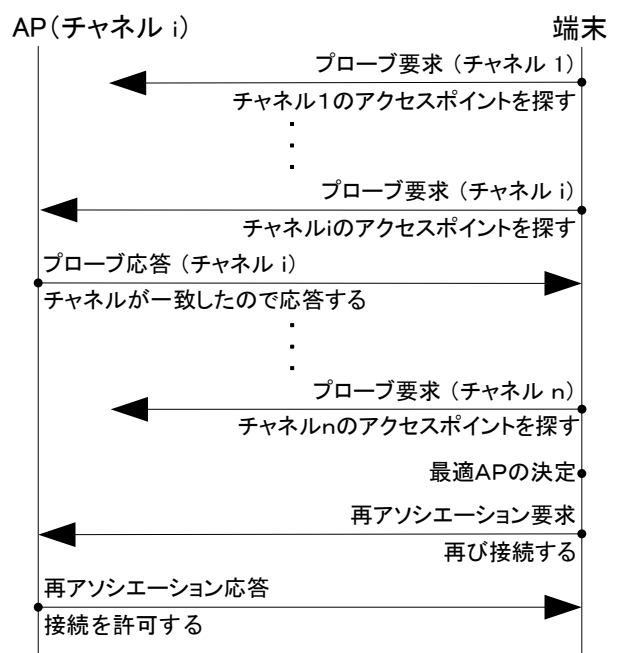


図 8 ハンドオフ処理

## 4 章. AP 機能の実装

### 4.1 実装の概要

図 9 に BS の機能と無線 LAN インフラストラクチャモードに必要な機能の一覧を示す．無線 LAN インフラストラクチャモードの実現には，BS を拡張する方法と，新たなモジュールを追加する方法が考えられる．

BS と AP の機能を比較すると大きく異なっており，インフラストラクチャモードに必要な機能は，BS の拡張としてではなく，ns-2

に新たなモジュールとして加える方法が適していると考えられる。

ns-2 の改造内容を図 10 に示す。3 章で述べた機能はリンクレイヤ (LL) の上位に AP モジュールを追加し、かつ MAC モジュールに改造を加えることで実装する。図 10 に示すように AP モジュールはリンクレイヤの上位に実装するが、データリンク層の上位から MAC モジュールへパケットを送る際、インタフェースキュー (IFq : Interface Queue) を通す必要がある。IFq は、届いたパケットの中から目的地のアドレスが判明しているパケットを順次キューから出すというフィルターをサポートしている。AP モジュールから発生するフレームの処理を優先させることにより、IFq によるキュー待ちを発生しないようにできる。

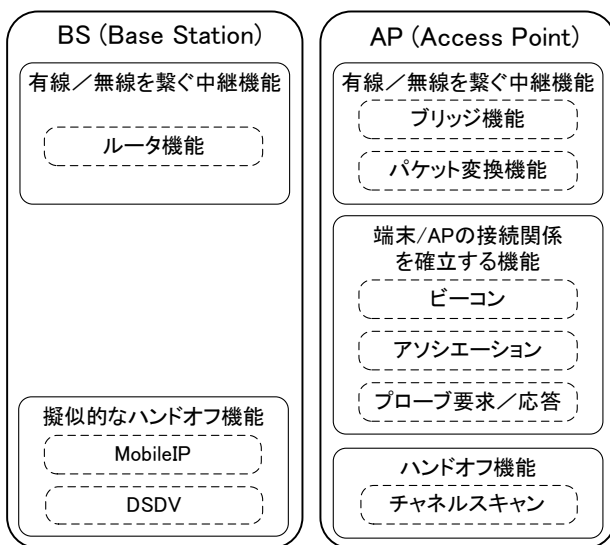


図 9 BS と AP の機能比較

## 4.2. MAC モジュール

MAC 層では、無線側と有線側の MAC モジュールを繋ぎ、その間でパケットを中継することにより実現する。その際、パケットから宛先 MAC アドレス、送信元 MAC アドレスなどの情報を取り出し、IEEE802.11 無線フレームフォーマットと Ethernet フレームフォーマットの相互変換を行う。また、パケットの送信元アドレスから MAC アドレステーブルを作成し、アドレステーブルをもとに異なるセグメントへ不要なパケットを送信しないようフィルタリングを行う。

## 4.3. AP モジュール

AP モジュールではビーコンやアソシエーションメッセージなどの処理を行う。AP 側の AP モジュールは定期的にビーコンを発信し、そのビーコンから得られる情報を用いて端末側の AP モジュールはアソシエーションを行う。本来なら、AP モジュールの機能は MAC 層に実装されるべきものであるが、ns-2 の MAC 層で行われているタイムスケジューリングが複雑で、信号の送信タイミングが上手く組み込めない可能性がある。それを回避するため、リンクレイヤの上位に実装することで簡単化を図った。

IFq への送信指示の優先度を高くすることにより、MAC 層で実現した場合と同様の処理を実現できる。

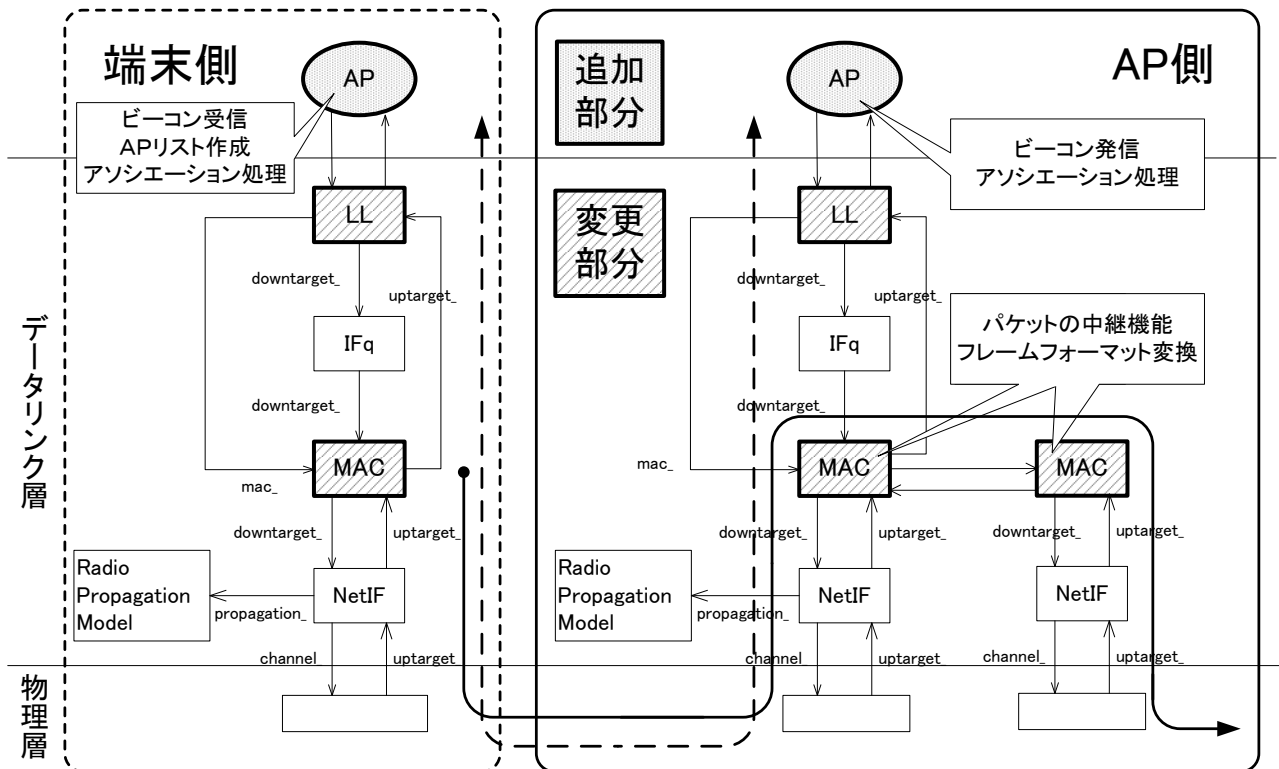


図 10 ns-2 の改造内容

## 5 章. むすび

ns-2 により無線 LAN インフラストラクチャモードのシミュレーションを可能とするため、ns-2 の拡張を検討した。ns-2 のリンクレイヤの上位に AP モジュールを追加し、かつ MAC モジュールに改造を加えることで解決できる見通しを得た。今後は検討結果に基づき ns-2 の拡張を実施し、動作検証を行う。

### ・謝辞

本研究を行うに当たり、多大なるご指導、ご鞭撻を頂きました渡邊晃教授に心より感謝いたします。また、有益なご助言、及びご検討を頂いた渡邊研究室の皆様に深く感謝します。

### ・参考文献

- [1] 802.11 高速無線 LAN 教科書  
守倉正博, 久保田周治, 2006, impress R&D
- [2] 802.11 無線ネットワーク管理  
Mattbew Gast, 2006, O'REILLY
- [3] NS2 によるネットワークシミュレーション実験で学ぶ QoS ネットワーク技術  
銭 飛, 2006, 森北出版