卒業論文 1998 年度 (平成 10 年度)

無線 LAN における セル制御システムに関する研究

慶應義塾大学 環境情報学部
徳田研究会 古坂大地
学籍番号 *79557935*
furu@ht.sfc.keio.ac.jp

卒業論文概要 1998 年度 (平成 10 年度)

概　　要

通信技術が発展する中で，設備構築やレイアウト変更の容易さ，移動しながらのネットワークアクセス可能等の利点から，無線 LAN (Local Area Network) の需要が高まってきている．

無線 LAN には，いくつかネットワーク構成があるが，有線ネットワーク上の分散システムを利用する場合，基地局を設置したネットワークを構築する．このようなネットワークは，セルと呼ばれる小さなサービスエリアが集合し，ひとつの大きなサービスドメインを構成する．ひとつのセルはひとつの基地局により管理制御され，無線局はサービスドメイン内で通信を行うことができる．また，デスクトップ型計算機では移動をすることはないが，ラップトップのような移動型計算機では，その携帯性や可搬性を活用し，サービスドメイン内を移動しながら通信を継続することができる．

しかし，以上のような優れた利用方法があるにも関わらず，実際には狭い通信帯域，高遅延および高い誤り率，電波の干渉など多くの技術的問題を抱えている．このような制限のある中で，高品質な無線による通信サービスを提供する．その実現には，サービスドメイン内での無線通信の負荷分散が必要となる．通信負荷とは通信混雑によるスループットの低下，電波干渉などによる通信障害がある．

これらの負荷原因の多くは，通信端末がセル間を移動し新たな基地局に通信先を切り替えることによって改善される．このセル間の移動をローミングと言う．本論文では，既存のシステムのローミング判断基準では負荷分散が有効的に行われていないことを示し，新たな判断アルゴリズムを提供する．

本論文では，サービスドメイン内での無線通信の負荷分散を目的とし，そのためには基地局によるセルの通信管理，およびセルの状態変化に伴った移動局，基地局の動的適応を実現する．そのために必要なセル情報を提案し，情報格納ブロックとその情報を用いた管理制御アルゴリズムの設計および実装を行った．

本システムを利用することにより，セルの状態変化に動的に適応することが可能となり，無線通信の負荷分散を実現することができた．

キーワード:
1: 無線 LAN 2: リンク層 3: ローミング 4: 負荷分散

Abstract of Graduation Thesis Academic Year 1998

Abstract

About My Research....

Keywords:
1: Internet 2: Wireless LAN 3: Data Link 4: Roaming

目 次

図 目 次

表目次

第 1 章

序論

1.1 はじめに

通信技術の発展やユーザの要求に伴ってコンピュータネットワークの多様化が進んできた．技術革新が進み，伝送媒体にも光ファイバや電波等が用いられ，高速通信や移動通信が可能となった．特に移動型計算機環境においては，電波による無線通信の利用が急速に進んできている．

無線通信は，その設備構築の容易さや移動通信可能などの利点があることから，製造工場の製品管理やオフィス，医療機関などのネットワークに利用されるようになってきた．近年では，無線 LAN (Local Area Network) の標準規格が IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.11 分科会によって定められ，ISM (Industrial, Scientific and Medical) バンドにおいて無許可での運用が可能になったことによってさらに普及が進んできている．

このような状況から，ユーザの増加に伴って，電波受信範囲の拡大，転送速度の高速化という要求が出ている．しかし，マルチパスフェージング問題や隠れ端末問題などの無線媒体特有の性質により，無線 LAN による高品質な通信の実現には依然として多くの問題がある．これらのユーザの要求と技術的問題に対応するために，通信品質，通信効率等を改善するトラフィック制御技術の研究が盛んに行われている．[5]

無線通信では，セルと呼ばれるエリアの集合によってサービスエリアが構成される．ひとつのセルはひとつの基地局によって管理され，移動局は基地局を介して有線バックボーンに接続された通信サービスを利用する．移動局はセル間を移動しながら継続的にサービスを受けるためにローミングと呼ばれる技術を利用する．

しかし，現在のローミング技術を用いると，帯域利用が非効率的になる可能性がある．つまり，基地局がセルの状態を判断できないために無線 LAN 全体の負荷分散がされずに，ひとつのセルに無線アクセスが集中してしまう可能性がある．無線アクセスが集中してしまうと，狭い無線帯域を多くの移動局によって共有しなければならい．また隠れ端末が出現する可能性も高まり，電波の干渉が多くなり転送エラーが増加する．その結果としてより多くの転送ロスが生じる．

これらの多くの通信障害は，基地局がセルの状態を把握することによって軽減を図れるものと思われる．しかし，現在のセル制御システムでは，セル情報が十分に利用されてい

るとは言えず，基地局の即時的なセル制御，および移動局による通信アクセス先の効果的な選択が行われていない．そこで，現在のセル制御システムを見直し，セルの状態を管理制御する新たな機構が必要であると思われる．

1.2 本研究の目的

本研究では，無線LAN基地局のための効率的なセル管理制御方式の提供を目的とする．本研究の提案する制御方式によって無線帯域の効率的な利用が実現する．そのために移動局と基地局が保持している情報について検討し，通信効率を改善するためのシステムを設計，実装する．

本論文では，既存のセル制御システムを用いる場合のいくつかの非効率な点を指摘し，その問題点を述べ，その解決策として基地局がセル状態を把握するアルゴリズムが必要であることを述べる．これにより，基地局がセルの混雑度を判断し，移動局に対して適切な指示を与えることが可能になる．また，本システムを用いることによって，混雑時の通信が既存のシステムと比較して最大?? %の性能向上を実現することを示す．

1.3 本論文の構成

本論文では，第2章において無線LANの現状の問題点について説明する．第3章では，本システムの概要について，その構成と機能を述べる．第4章で，本システムの設計について述べ，第5章で実装について述べる．そして，第6章で，本システムと既存のシステムの性能を測定比較し，評価する．第7章では，まとめとして全体の考察と今後の課題について述べる．

第 2 章

既存のシステムとその問題点

本章では，まずはじめに無線 LAN の概要について説明し，既存のシステムについて説明する．

2.1 無線 LAN

以前のコンピュータネットワークは有線によって構成，構築されていた．これは当時の計算機は卓上計算機が主で，固定型のネットワークを構築していたからである．しかし，計算機環境は小型化，軽量化という方向に発展し，その中で時間や場所を問わずコンピュータネットワークを利用したいという要求が出てきた．そして，これらの要求を満たすために無線によるコンピュータネットワークが開発された．

コンピュータネットワークの通信媒体として無線を利用する利点はいくつかある．まず，ケーブルの敷設工事が不要なため，ネットワーク構築にかかる費用が有線と比較して低い．また，オフィスなどのように計算機の配置を頻繁に変更する環境でも柔軟に対応することができる．また，有線ネットワークと比較して，ラップトップのような移動計算機などの可搬性を損なうことも少ない．

こうして無線ネットワーク環境の普及が始まり，1990 年には IEEE 802.11 として無線 LAN の標準化活動が始まった．1997 年 11 月に制定された IEEE 802.11 は，有線 LAN の標準規格 IEEE 802.3 と同じく無線 LAN のアーキテクチャが定められている．IEEE 802.11 では，無線 LAN のシステム構成，物理層およびリンク層の管理制御機構，電波干渉に対する耐性の保証，移動性，セキュリティなどについての標準が定められているが，検討段階の事項もある．

2.1.1 システム構成

無線 LAN のネットワーク構築には，Infrastructure 型と Independent 型の 2 種類がある．前者は既存の分散システムを基盤として構築する場合である．この場合，有線 LAN をバックボーンとすることが多く，無線局は分散システムのサービスを利用できる．後者は独立型のネットワーク構築である．これは，アドホックネットワークとも呼ばれ無線局のみで構成するネットワーク形態で，無線局同士が基地局を介さずに直接通信を行う．本研究では Infrastructure 型のシステム構成を対象としているため，特に Independent 型の説明は

しない．図 2.1は，基本的な有線 LAN をバックボーンとして持つ Infrastructure 型のシステム構成を示したもので，図中の用語について説明する．

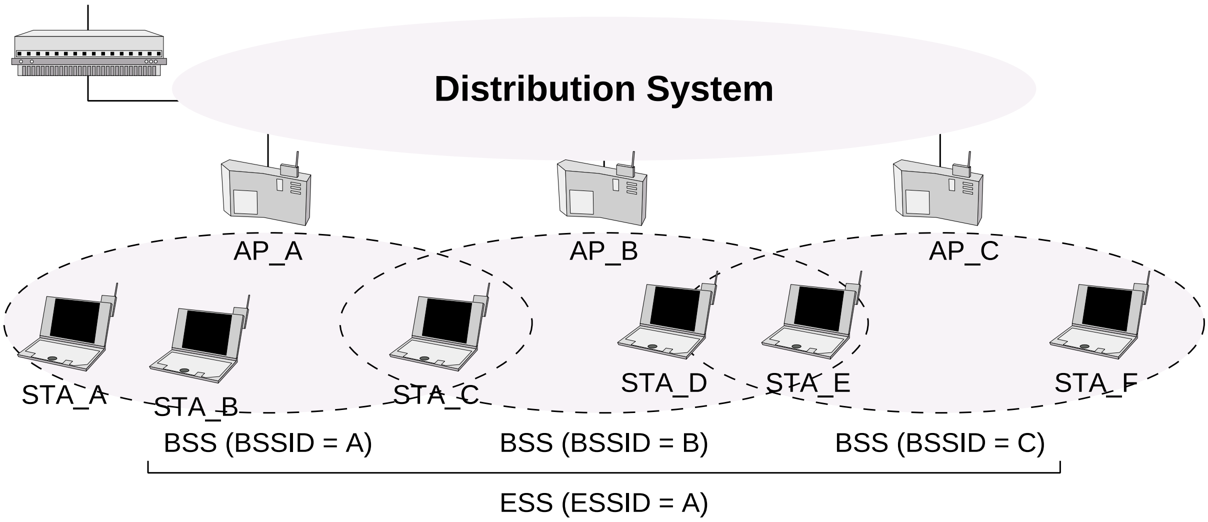


図 2.1: Infrastructure 型システム構成

STA (Station) 無線ネットワークインタフェースを持つ計算機もしくは装置である．STA には，物理的に移動可能な MS (Mobile Station) と固定されている FS (Fixed Station) がある．本論文では，MS を移動局，FS を固定局と記述する．

AP (Access Point) 無線ネットワークと有線ネットワークの間でフレームを転送するためのブリッジもしくは無線ネットワークによってフレームの到達距離を延長するためのリピータである．本論文では，AP を基地局と記述する．

BSS (Basic Service Set) ある領域で同じ無線チャネルを利用して通信する STA によって構成されるサービスセットである．本論文では，BSS をセルと記述する．

ESS (Extended Service Set) 複数の BSS と有線 LAN と複数の AP によって構成されるサービスセットで論理的にひとつの BSS のように見ることができる．本論文では，ESS をサービスドメインと記述する．

BSSID, ESSID BSS や ESS を区別するための固有の識別子．

2.1.2 物理層

IEEE 802.11 では，3 種類の物理層 (PHY: Physical Layer) を 1 つのリンク層が管理する．3 種類の PHY とは，2 つの無線高周波 (RF: Radio Frequency) と，赤外線 (IR: Infrared) である．RF は，盗聴されやすい，干渉しやすいという問題があるので，信頼性，安全性を高めるためにスペクトラム拡散 (SS: Spread Spectrum) という技術を利用している．SS 方式には，直接拡散 (DS: Direct-Sequence) 方式と周波数ホッピング (FH: Frequency-Hopping)

方式があり，RF を用いる 2 つの PHY は，1 つが DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) 方式，もう 1 つが FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) 方式である．

それぞれの PHY の転送速度は，2Mbps もしくは 1Mbps と規定されている．

DSSS 方式

DSSS 方式は，冗長ビットパターンを各ビットを送信する時に生成する．このビットパターンはチップコードと呼ばれる．チップコードが長ければ長いほど，符合化されたデータがエラーを受けても正常に復号される確率が高くなるが，より広い周波数帯域を必要とする．図 2.2に，DSSS 方式のチップコードの符合化 (左) と 周波数拡散 (右) を示す．

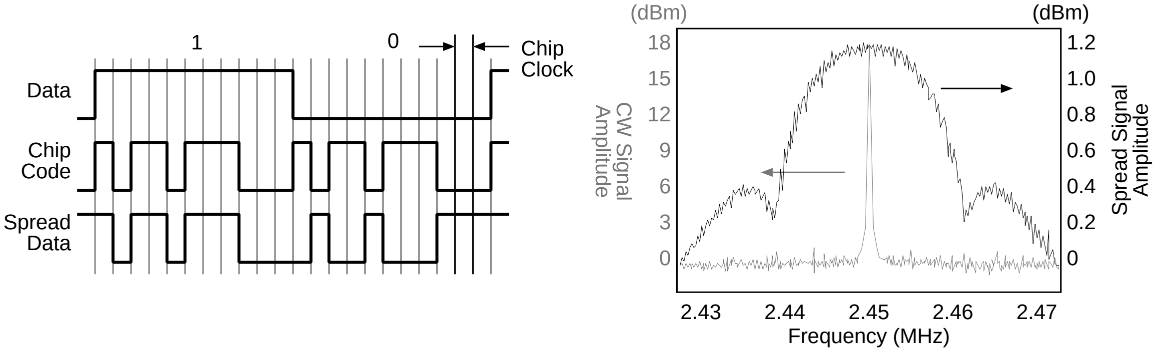


図 2.2: Direct Sequence 方式

FHSS 方式

FHSS 方式は，送信者と受信者の双方が認識しているパターンに基づいて周波数を高速に変更するナローバンドキャリアを利用する．この周波数の変更パターンを正しく同期させることによって，データの送受信を行う．DSSS 方式と比較すると干渉信号から受ける損害が少ない．FHSS は周波数を多数使用しているので，損害を受ける部分が干渉信号と周波数が重なっている部分だけだからである．図 2.3に周波数ホッピングパターンを示す．

2.1.3 リンク層

リンク層では，フレームの断片化，暗号化，電力管理，媒体アクセス制御，およびローミングなどの機能の管理を行っている．媒体アクセス制御 (MAC: Medium Access Control) プロトコルには，CSMA/CA (Career Sense and Multiple Access with Collision Avoidance) と呼ばれる方式を採用している．

CSMA 方式

それぞれのステーションが送信に先立って，他のステーションの通信による搬送波の有無を確認する．この機能をキャリアセンスと呼ぶ．フレームを送信していないステーショ

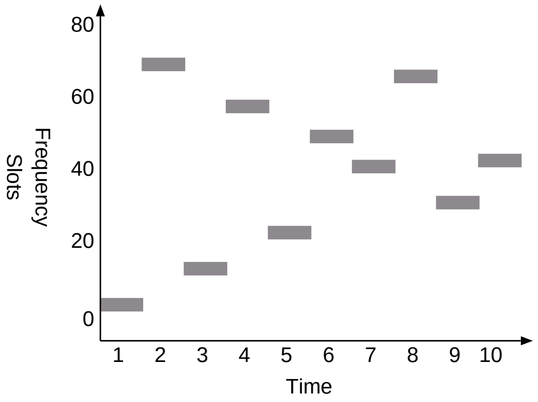


図 2.3: Frequency Hopping 方式

ンは搬送波を送信していない．そのため，キャリアセンスによって，チャネルが使用中であるかどうかを各ステーションは判別することができる．CSMA 方式は，各ステーションがキャリアセンスを行うことによって，媒体の使用状況を見てからフレームを送信するかどうかを決定する方式である．この方式を用いることによって，複数のステーションがひとつの媒体を共有してアクセスできる．

キャリアセンスを行って媒体が使用中である場合，その時点でのフレーム送信は見送られる．その後，送信タイミングを遅らせてからフレームの再送を試みる．再送のタイミングを乱数によって決定することで，キャリアセンスによって送信を遅らせた再送ステーションが同じタイミングで再送することをできるだけ回避させている．

CSMA/CA 方式

代表的な有線 LAN である Ethernet で使われている手法として CSMA/CD (CSMA with Collision Detection) 方式がある．これは，有線 LAN 上で複数のフレームが同時に送信されると，ケーブル上の直流成分が増加する現象を利用したもので，この現象を検出することによって自動的な衝突検知を行うことができる．

しかし，無線 LAN では電波を伝送媒体として利用し，受信における搬送波の信号強度は無線特有のフェージングなどにより激しく変化するためにこの手法が利用できない．衝突検知ができない無線 LAN では，衝突を回避する CSMA/CA 方式を用いる．CSMA/CA 方式が CSMA/CD 方式と大きく異なる点は，キャリアセンス後にチャネルが空いている場合の動作である．CSMA/CD 方式では，キャリアがなければすぐにフレームを送信するのに対して，CSMA/CA 方式では，キャリアがない場合でもすぐにはフレームを送信しない．

図 2.4に，無線 LAN における CSMA/CA 方式を示す．ステーションが送信を試みる時，キャリアセンスによってチャネルの使用状況を調べる．もし，キャリアがなければ，一定時間 (DIFS: Distributed InterFrame Space) 待機し，さらに乱数で選択されるバックオフタイム分だけ待機する．その後，再びキャリアセンスを行い，この時点でチャネルが空いていれば，フレームを送信する．これによりフレームの転送完了後の衝突を大幅に回避することができる．

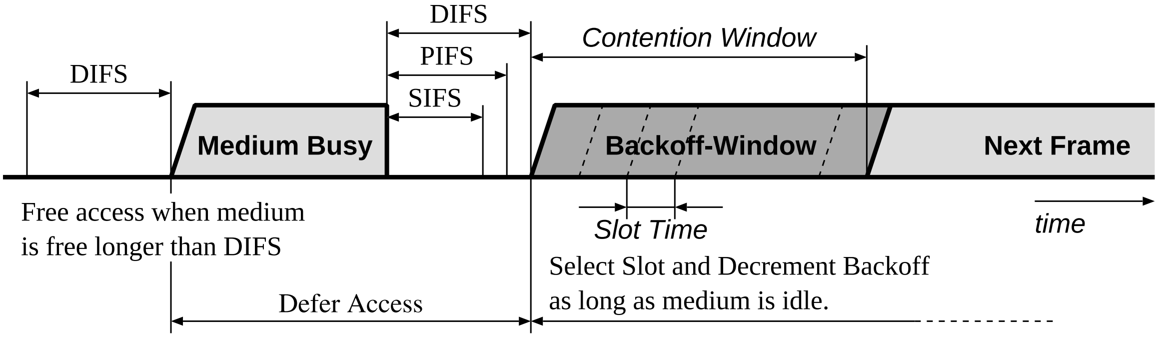


図 2.4: CSMA/CA 方式

2.1.4 ローミング機能

無線 LAN では，アクセスポイントを切替えることによって通信を継続させながらサービスドメイン内を移動することができる．これは無線ネットワークでは有線ネットワークと異なり，接続する媒体が電波であり，従って，固定されたネットワーク基盤に無線局を接続する必要がないからである．無線局は，電波によって基地局と接続しサービスを受ける．無線局は，物理的な移動に伴い基地局を切り替えることによって接続を維持する．この移動性を支援するものがローミングである．ローミングを支援するために基地局のビーコニング (Beaconning) と，移動局のスキャニング (Scanning) の動作を図 2.5に示す．ビーコニングとは定期的な信号 (ビーコン) を送信することで，基地局はビーコンを利用して移動局にセルの存在を知らせている．また，スキャニングとは移動局がセルを探す動作で，ビーコンを受信して基地局の存在を検知する．

1. 移動局 STA がサービスドメイン内を基地局 AP_A のセルから基地局 AP_B のセルへ移動を開始する．
2. 地点 X1 において，STA は AP_A を利用してネットワークに接続している．
3. 地点 X2 に到達すると，STA は AP_A からのビーコンが弱くなっていることを検知し，スキャニングを開始する．
4. 地点 X3 に到達するまでに，STA はスキャニングによって AP_A からのビーコンよりも信号強度が強い AP_B からのビーコンを検知する．
5. AP_B に対してアクセス要求を送信する．
6. AP_B がその要求を受信し，アクセス許可もしくは拒否の応答を送信する．
7. AP_B からアクセス許可を STA が受信すると，AP_A から AP_B へアクセスポイントを変更し，継続してネットワークに接続することが可能になる．

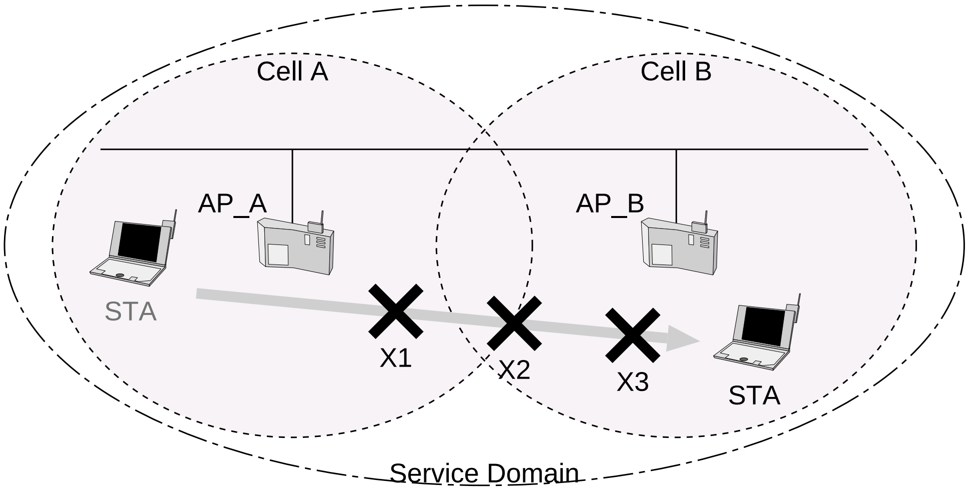


図 2.5: ローミング

2.1.5 電波干渉問題

無線 LAN では，伝送するデータを必要な高周波搬送波で変調され空間に電波として流され，電波は複数のパスを経て受信部へ到着する．受信部では信号を復調し，送られたデータを復元する．以上の流れの中で，電波が干渉を受けると波長が変化し，変調されたデータは受信部で復調された際に破壊されてしまう．無線 LAN では，このような電波干渉によるデータ破損が通信品質の障害となっている．主な干渉問題として，マルチパスフェージング問題と隠れ端末問題がある．

マルチパスフェージング

送信された搬送波は，受信先まで伝搬する際中に様々な経路を通過する．搬送波が空間を進んでいく時，搬送波は様々な障害物 (壁，人，天井など) によって反射する．図 2.6に示すように，反射して複数の経路を通過した電波は受信先に到達する．このようにして到達した複数の搬送波は，強度，位相が互いに異なる波になっている．これらの波は互いに干渉し合い，信号を弱めてしまう．

隠れ端末

データ送信する際，各無線局はキャリアセンスを行う．有線では同一セグメント上の全てのホストによってキャリアセンスが行えるが，無線では同じセル内にいてもキャリアセンスが行えない局が存在する．これは，送信点から距離が離れるにつれて強度が弱まる電波の性質に起因する．図 2.7は，移動局 STA_1 が基地局 AP に対してデータを送信している状況である．この状況で，移動局 STA_2 が送信を試みる．STA_2 は CSMA/CA によってキャリアセンスを行う．この時，STA_1 は AP へデータを送信している最中である．しかし，ここで 2 つの移動局の距離が遠いために，STA_2 からは STA_1 をキャリアセンスできない．従って，STA_2 はどの移動局もデータを送信していないと判断し，自分のデータ

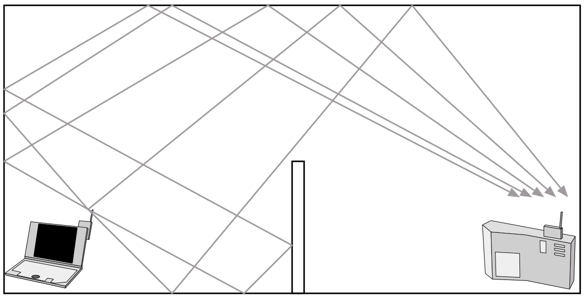


図 2.6: マルチパスフェージング

を送信する．こうして AP に届いた 2 つの移動局のデータの搬送波は互いに干渉し合い破壊されてしまう．このように互いの電波が届かないような距離にいる無線局をそれぞれの隠れ端末であると言う．隠れ端末が存在する場合，その無線通信の効率は著しく低下する．

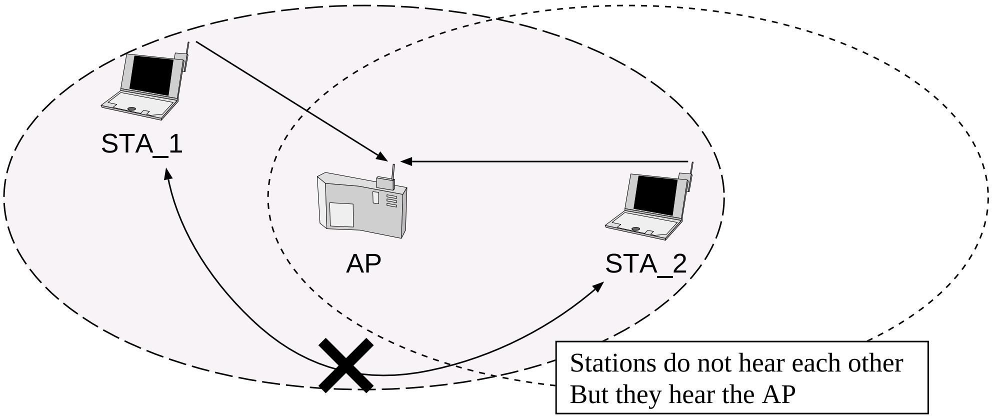


図 2.7: 隠れ端末

2.2　既存のセル制御システムの問題点

規格 IEEE 802.11 によって無線 LAN の使用帯域は 2Mbps もしくは 1Mbps と規定されている．この狭い帯域を効率良く利用するためには，基地局がセルを管理し，無線通信のトラフィックを制御する必要がある．しかし，これまでの基地局の役割は，主に有線ネットワークと無線ネットワークのブリッジ，無線セル間のリピータ，ローミングのサポートが主で，セルの通信状況に応じた動的な制御は行われていない．

昨今の規格 IEEE 802.11 の標準化によって，隠れ端末に対応する基地局も製品として登場しはじめた．しかし，この機能は基地局がセルに隠れ端末が存在すると判断し動的に制御するものではなく，基地局の管理者が手動で隠れ端末用のスイッチを切り替えを行わなければならない．

次に既存の製品である AT&T 社の WaveLAN システムのローミング機能について説明し，その問題点を述べる．

2.2.1 WaveLAN におけるローミング機能

WaveLAN システムにおけるローミング機能は，基地局から定期的に送信されるビーコンの SNR (Signal to Noise Ratio : 信号雑音比) を利用する．WaveLAN システムでは，SNR に 3 つの閾値を設定して，移動局にローミングの判断基準 (セル探索モード) を与えている．

セル探索モードとローミング

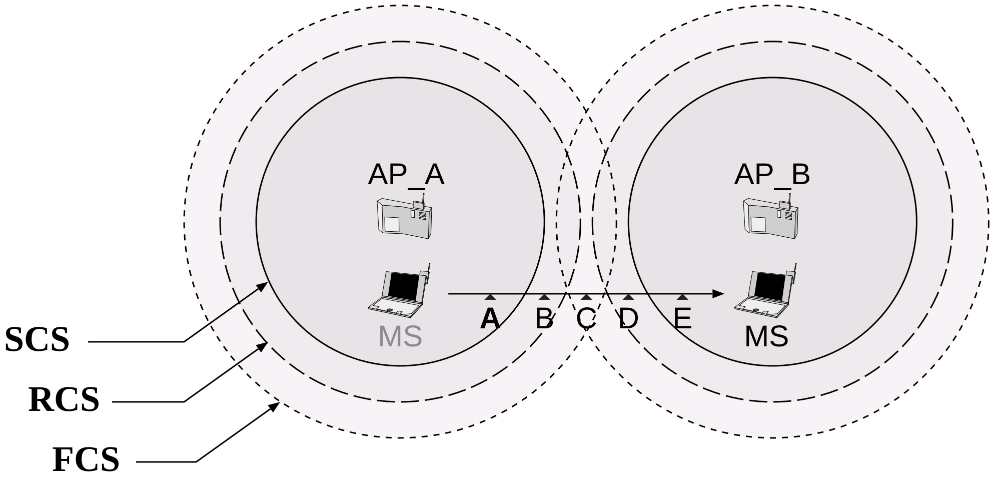


図 2.8: セル探索モードとローミング

SCS (Stop Cell Search) 現在の基地局との通信品質が十分高いので他のセルを探索しない状態．最も安定した通信レベルである．

RCS (Regular Cell Search) このモードになると，常に他のセルがないか探索し続ける．移動局は SCS 以上の通信レベルのセルが見つかるまではセルを切替えない．

FCS (Fast Cell Search) このモードは，現在の通信レベルよりも高いセルが見つかるまでセルを探索し続ける．最も不安定な通信レベルである．

図 2.8に，SNR の閾値によって定められるセル探索モードとローミング時の移動局の動作を示す．移動局 MS は，図の矢印に沿って右方向へセル間を移動している．地点 A ~ E における MS のセル探索モードと基地局選択，およびビーコンの SNR の比較変化を表 2.1 に示す．

表 2.1を見ると，STXP_A ローミングは SNR の大小関係と関連づけられる．しかし，単純な SNR の大小比較のみで基地局の選択を行うことは，信号強度や雑音が変化し続ける環境では好ましくない．たとえば，地点 C において閾値とセル探索モードを持たせずに，SNR の単純比較を行えば，MS は AP_A と AP_B の間で絶えずローミングをしてしまう．従って，WaveLAN システムのローミング判断のアプローチは正しいものと言える．

地点	セル探索モード	選択基地局	SNR 比較
A	SCS	AP_A	SNR(A) > SNR(B)
AB 間	SCS	AP_A	SNR(A) > SNR(B)
B	SCS	AP_A	SNR(A) > SNR(B)
BC 間	SCS → RCS	AP_A	SNR(A) > SNR(B)
C	RCS	AP_A	SNR(A) = SNR(B)
CD 間	RCS → FCS → RCS	AP_B	SNR(A) < SNR(B)
D	RCS	AP_B	SNR(A) < SNR(B)
DE 間	RCS → SCS	AP_B	SNR(A) < SNR(B)
E	SCS	AP_B	SNR(A) < SNR(B)

表 2.1: SNR による基地局選択

SNR の閾値のみでローミングを判断する場合の問題点

WaveLAN のように SNR の閾値のみで判断していると閾値を越えるまでローミングを開始しないという問題がある．

例えば，図 2.9のような状況である．セル A には 4 台の移動局が，セル B には 1 台の移動局が存在し，両方のセルが重複した領域に 1 台の移動局 (STA_X) が存在するとする．もし，STA_X がセル A 内に存在していた場合，セル A には 5 台の移動局が，セル B には 1 台の移動局が存在することになり，通信負荷がセル A の方に偏ってしまう．この結果セル A 内の MS の通信効率は著しく低下してしまい，結果的に STA_X にとって最良の選択ではなくなってします．場合には，STA_X はセル B の方にローミングを行い，セル B 内で通信を継続した方がサービスドメイン内での通信効率は上がる．セル内の無線局の台数を STA_X が把握できないためで，基地局はセルの情報を有効的に管理しておらず，セル，サービスドメインの管理制御が効率的になされているとは言えない．

2.3 関連研究

無線 LAN に関する研究およびセル制御技術，ローミング技術に関する研究について説明し，それぞれの論旨をまとめて紹介する．

2.3.1 Mobiware

Mobiware は，統合的なモビリティネットワークにおけるプログラム制御可能なミドルウェアである．Mobiware を発表したコロンビア大学の COMET グループは，環境が時間によって変わる移動通信や無線通信におけるアプリケーションの動的適応支援を取り扱うために，適応型 Qos (Quality of Service) や，そのサービスモデルを提案した．

Mobiware の特徴は基地局や移動局をプログラムするための API を提供し，各ネットワーク構成要素をオブジェクトとしてプログラムできることである．これによって QoS 制御がされたハンドオフやフロー制御を行うことができる．

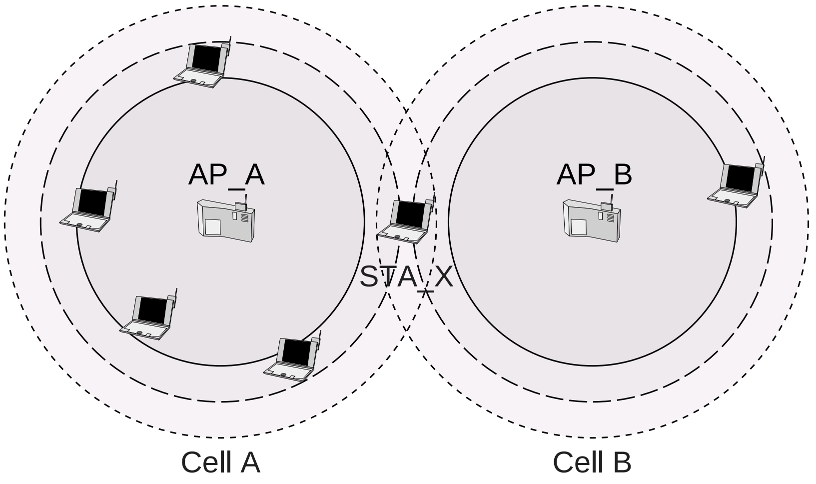


図 2.9: SNR 閾値のみのローミング

2.3.2 Fast and Scalable Handoffs

Lucent Technology 社の R. Caceres と カリフォルニア大学バークレの V. N. Padmanabhan らによる無線 LAN におけるハンドオフに関する研究論文で，将来，無線 LAN のような小さな無線セル上を多数のユーザが移動しながら通信を行う時代が来ると考え，そのような環境に適応したハンドオフについて研究をした．

そこで，モビリティを管理するアーキテクチャを提案した．まず，モビリティには階層構造があると考えた．1. ローカルモビリティ 2. 管理ドメイン内モビリティ 3. グローバルモビリティ という スコープを与え，そして，それぞれのスコープで有効的なハンドオフプロトコルを利用する必要がある．この論文では，この階層構造の最下層であるローカルモビリティにおける，迅速で信頼性があり，拡張性の高いハンドオフプロトコルの設計と実装を行った．

また，様々なハンドオフ時のパフォーマンス測定を行って，ビーコンの送信間隔とスループットの関係およびビーコンの送信感覚とハンドオフ時のパケットの欠損数の関係などを調べてる．結果として，50ms 以下の送信間隔でビーコンを送信するとスループットが著しく落ちること，送信間隔が長ければ長いほどハンドオフ時のパケット欠損数が多くなることが示されている．

2.3.3 Hybrid Handover Protocol for Multi-Media Wireless LANs

2.3.4 RTS/CTS

第 3 章

概要

3.1　本システムの目的

前章で述べたように既存のシステムではセルを管理する情報が非常に乏しいために，基地局がさまざまな無線障害を回避することが難しい．本研究では，移動局がセルとセルを移動する際のローミングの判断アルゴリズムの改善と，隠れ端末発生時の動的対応アルゴリズムを導入することによって，狭い無線帯域の利用の効率化を目的とする．

図3.1は既存のシステムを用いた場合(左)と，本システムを用いた場合(右)の負荷の分布について示したものである．ここで使う負荷とはセル内の各無線局が利用できる帯域を基準にした負荷である．既存のシステムを用いると，中央のセルには負荷が集中しその周辺のセルにはまったく負荷が掛からないような不均等な分布をする可能性があるが，本システムを用いることによって，その問題が解消しおよそ均等な負荷分散を行うことができる．

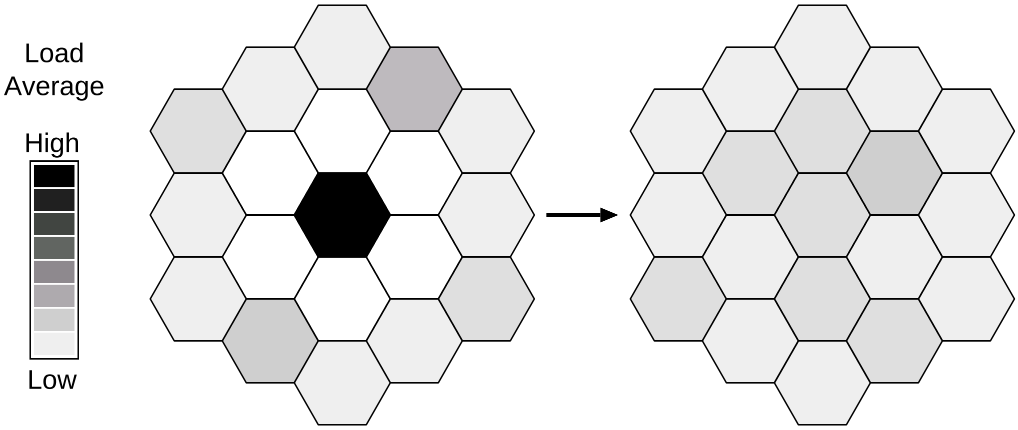


図 3.1: 負荷分散

このような負荷分散を行うために，基地局および移動局で取り扱えるセル情報について見直し，基地局には情報の保持，管理，制御機構を組み込む．保持された情報は無線LANの上位プロトコルによって交換される．

3.2　本システムの構成

本研究では，基地局と移動局によって構成される Infrastrucutre 型の無線 LAN システムを想定している．本システムの構成を図 3.2に示す．

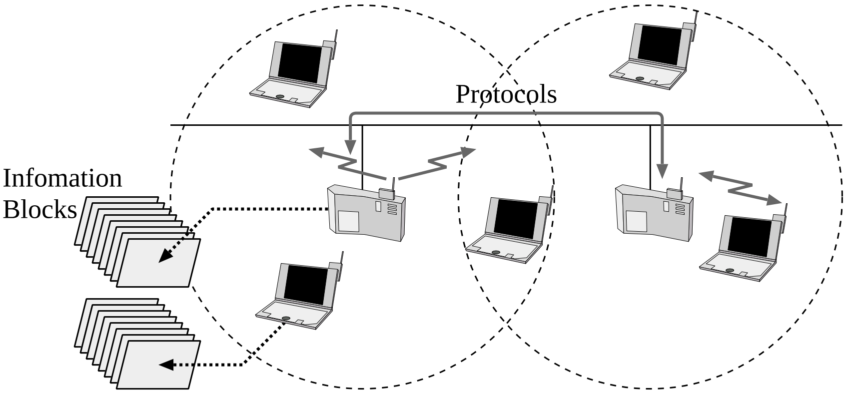


図 3.2: セル制御システムの構成

本システムは，以下の 3 つの要素から構成されている．

- 情報格納ブロック
- 管理制御プロトコル
- 状態判断アルゴリズム

これらの項目について概要を説明する．

3.2.1　情報格納ブロック

セルを制御するためには，基地局と移動局はそれぞれの状態や通信状況を把握する必要がある．そのために各局は情報を保持しておく情報格納ブロックを持つ．これらの情報は無線 LAN の上位プロトコルを利用して交換される．

基地局が保持する情報格納ブロック

基地局は移動局のリストと基地局自体のシステムの情報を保持する．1 つの移動局に対して 1 つの情報格納ブロックが割り当てられ，基地局が管理している移動局の情報は情報格納ブロックのリストとして保持される．各情報格納ブロックは基地局の定期的なセルの監視によって更新される．

移動局が保持する情報格納ブロック

移動局は，自分自身が受信したビーコンを送信した基地局の情報を保持する．1つの基地局に対して1つの情報格納ブロックが割り当てられる．もし，複数の基地局のビーコンを受信可能な場合には，基地局の情報は情報格納ブロックのリストとして保持される．各情報格納ブロックは定期的に移動局自身によって更新される．

3.2.2 管理制御プロトコル

管理制御プロトコルは，基地局と移動局の間，同一サービスドメイン内における基地局間の通信規約を定めている．このプロトコルに従って，情報格納ブロックに保持されているセル情報を交換したり，メッセージを送信する．

管理制御プロトコルには，大きく分けて3種類のプロトコルがある．

- ビーコンプロトコル
- 基地局-移動局プロトコル
- 基地局間プロトコル

3.2.3 状態判断アルゴリズム

この情報格納ブロックとプロトコルを利用して，セルの管理制御を行う．本研究では，以下の2つのアルゴリズムを組み込む．

- ローミング判断アルゴリズム
- 隠れ端末判断アルゴリズム

このアルゴリズムによって，帯域利用の効率化を図り，また移動局同士の電波の干渉を最小限に抑えることができる．

ローミング判断アルゴリズム

前章で述べたように既存のローミング機能は，各基地局からの電波のSNRの比較を基準にしてローミングを行っている．しかし，単純なSNRの比較だけではなく，さらにセルの台数や通信状況，および各移動局の状態を判断基準に取り入れることによって，サービスドメイン全体の負荷分散が実現できる．

隠れ端末判断アルゴリズム

前章で述べたように無線ネットワークでは隠れ端末という問題が発生する．隠れ端末がセルに存在すると，CSMA/CA方式で通信媒体にアクセスしていても，電波干渉によるフレームの衝突発生率が非常に高くなり，フレームロスなどの通信障害が生じる．IEEE 802.11ではCSMA/CA方式に加えてRTS/CTS方式によって，媒体アクセス制御を行う

ことによって隠れ端末対策を行うが，基地局ではどの移動局が隠れ端末となっているかを判断できない．

そこで，各移動局がフレームロスの値を常に監視し，ある一定値を越えるフレームロス率になったら，隠れ端末の存在を疑い基地局に報告を行う．基地局は，その報告を受信すると隠れ端末が存在するかどうかを推測して，もし隠れ端末が存在すると判断した場合，RTS/CTS 方式に切り替える．隠れ端末モードになったことを基地局がセルに通知すると，移動局も RTS/CTS 方式に変更する．

第 4 章

設計

この章では，本システムの設計について述べていく．はじめに管理制御プロトコルの概要を述べ，各種プロトコルの手順を説明する．次に基地局と移動局の設計について触れる．各局の基本機能と情報格納ブロックの取り扱い方とセル制御に関するアルゴリズムについて説明する．

4.1 管理制御プロトコルの設計

管理制御プロトコルには大きく分けて 3 種類のプロトコルがある．これらのプロトコルは，無線 LAN の上位プロトコルである．図 4.1 に，プロトコルスタックを示す．それぞれのプロトコルについて，その概要およびプロトコルの手順を述べる．

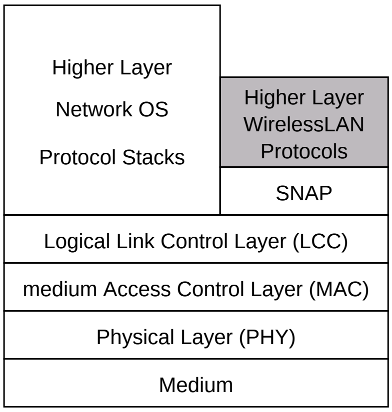


図 4.1: プロトコルスタック

4.1.1 ビーコンプロトコル

基地局は定期的にビーコンを送信する．ビーコンにはセルに関する情報が載っていて，移動局はビーコンを受信しセル情報を処理する．もし，ビーコンに全てのセル情報を載せる

ことができれば，移動局は自律的にその情報を元にしてセルの状態を判断できる．しかし，ビーコンは頻繁に(毎秒数フレーム)送信されるので，フレームサイズを大きくすると，帯域を浪費してしまう．そこでビーコンに載せるメッセージサイズはできるだけ小さくする必要がある．

ビーコンの役割の1つは，基地局の存在を移動局に知らせることである．ビーコンは，リンク層のマルチキャストを利用するので，このマルチキャストグループに入っているすべての無線ネットワークデバイスはビーコンをスキャンすることができる．これによって基地局の存在を検知する．

ビーコンに載せる情報のリストを表4.1に載せる．Sequence から AP Name までは基地局に設定されている情報である．本研究では，新たに移動局がセルの状態を把握できるように3つの情報を加える．Nodes から Message Flag は基地局が保持しているセル情報を利用して設定される情報である．

Sequence	ビーコンのシーケンス番号
DomainD	基地局が属しているサービスドメインの識別番号．
NetworkID	基地局が管理するセルの識別番号．
RF Noise	基地局周辺の周波数ノイズ．
Cell Threshold	セル探索モードの切り替わるSNRの閾値
Interval	ビーコンの送信間隔
TimeOut	基地局の情報格納ブロックの有効時間
AP Name	基地局名．
Nodes	基地局が管理している移動局の数．
Band Use Level	帯域の使用レベル．
Message Flag	基地局からのメッセージを示すフラグ.

表4.1: ビーコンに載せるセル情報

メッセージフラグ

表4.1の最後の項目 Message Flag はビーコンにメッセージ機能を追加するためのフラグである．このフィールドには基地局からのセルの状態に関するメッセージが入っていて，各フラグに対応して移動局はセルの状態に適応するように動作を変更する．図4.2は，メッセージフラグの処理の流れを表わしている．

CELL_CONGESTION このメッセージは，基地局がセルが混雑していると判断した時に送信される．移動局はメッセージを受信すると，セルが混雑しているのでより良い状態のセルのスキャニングを開始する．スキャニングする条件としてSNR値を利用する．

HIDDEN_NODE このメッセージは，基地局もしくは移動局によって隠れ端末がいると推測し判断した時に送信される．移動局はメッセージを受信すると，フレーム送信方法をCSMA/CA + RTS/CTSに変更する．

`HIDDEN_NODE_PROBE` このメッセージは，基地局もしくは移動局が隠れ端末の存在の可能性を持った時に送信される．これは検査信号であり，信号を受信した移動局は隠れ端末の存在の可能性を調べ，隠れ端末がいると推定し判断した場合に応答する．

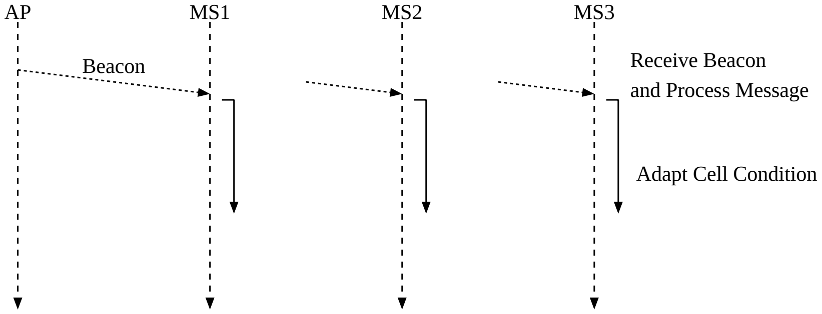


図 4.2: メッセージフラグの処理

4.1.2 基地局–移動局プロトコル

基地局–移動局プロトコルの役割は，主にローミング機能のサポートである．移動局がアクセス先の基地局を切り替える時に用いるものである．移動局から基地局に対してセルへの接続要求を出すと，基地局は移動局の要求を処理し，応答をする．アクセス許可の応答が返送されると，移動局はそのセルで通信を行えるようになる．

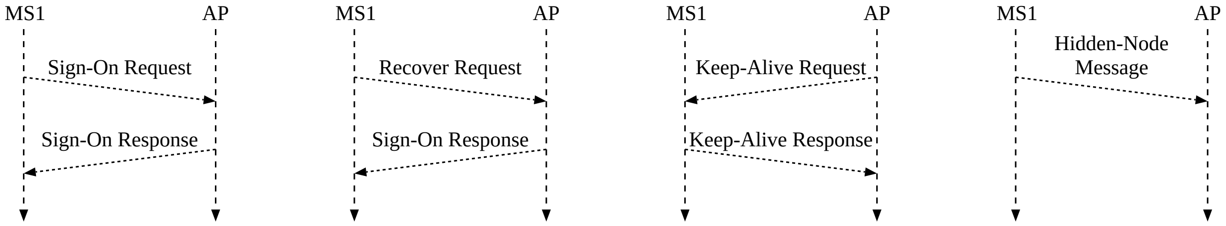


図 4.3: 基地局–移動局間メッセージ

`SIGN ON` 要求と `RECOVER` 要求は，移動局がセルへアクセスする時に用いられるプロトコルである．`SIGN ON` 要求には現在の移動局の状態およびセルの状態が含まれる．そして，`SIGN ON` 応答によって，移動局のアクセス要求を受け入れたことを知らせる．

`KEEP ALIVE` 要求は，移動局がセルに存在しているかどうかを確認するために基地局が使用するプロトコルである．この要求を受信した移動局は `KEEP ALIVE` 応答によって存在していることを知らせる．

`HIDDEN NODE` メッセージは，移動局が隠れ端末を疑いがあると推測したときに移動局に知らせるプロトコルである．

4.1.3　基地局間プロトコル

基地局間では移動局のセル移動の通知，セル情報の交換を行う．これは，基地局が移動局の移動を検知することはできないために必要なプロトコルである．移動通知を有線 LAN などのバックボーンを利用して送信する．`HAND OFF` メッセージを利用する．

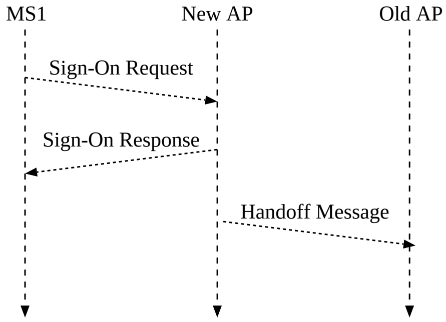


図 4.4: `HAND OFF` メッセージ

4.2　基地局の設計

基地局がサポートする機能は，有線と無線のブリッジ，無線と無線のリピータ，セルの管理制御である．セルの管理制御部には，ローミングや隠れ端末対策のサポートなどが含まれる．本研究では，セル間のフレームのリピートはしないので設計にはリピータとしての機能は含まれない．図 4.5に，基地局のフレームの処理の流れを示す．これらの処理は OSI 参照モデルではすべてリンク層において行う．

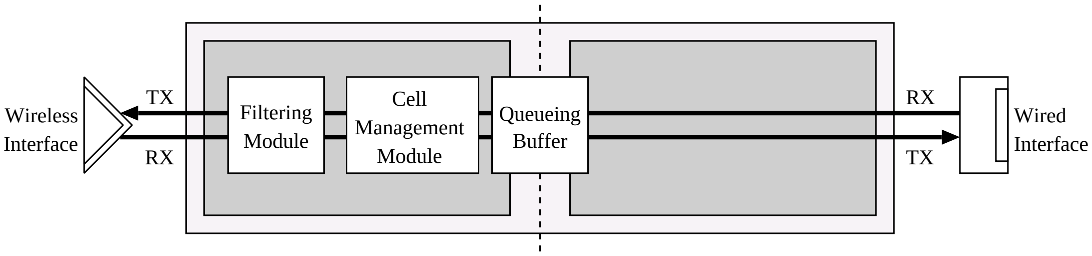


図 4.5: 基地局のフレーム処理

4.2.1　有線–無線ブリッジ

有線と無線のブリッジでは，無線媒体への送信フレームを最小限にするためのフィルタリング機能を持たせる．これは，有線インタフェースからのフレームをフィルタリングす

ることによって，有線セグメント側の余計なフレームをブリッジしなくするもので，こうすることによって無線帯域を節約できる．

4.2.2 セル管理制御機構

管理制御プロトコルは基地局のMAC層によって処理をされる．セル管理制御機構ではこの処理を担当する．ここでは，以下のような処理を行う．

情報格納ブロックの割当て `SIGN ON`要求もしくは`RECOVER`要求によって移動局の移動を受け入れると，基地局はその移動局に対して1つ情報格納ブロックを割当てる．

情報格納ブロックの更新 基地局は，定期的に情報格納ブロックを更新する．これは，セルの状態を判断するために必要である．

セルの混雑度の判定 定期的に情報格納ブロックを調べ，データ転送量と移動局の通信状態によってセルの混雑度を計算する．

隠れ端末の判定 フレームロスの数を定期的に監視し，隠れ端末の発生を推測する．

4.2.3 セルの状態判断アルゴリズム

セル管理制御機構では，セルの混雑度の判定および隠れ端末の判定を行う．ここではどのようにしてそれらを判定するかを述べる．

セルの混雑度の判定

セルの混雑度は，セルに存在する移動局の1台が使用できる帯域幅によって判定される．従って，セルの混雑度は単純に計算すれば次式のようになる．

$$\text{混雑度} = \frac{\text{帯域幅}}{\text{移動局の台数}}$$

しかし，このような単純な計算式では実際の混雑度は計算できない．図4.6は，複数の移動局がそれぞれ基地局を介して通信している状況を示した図で，右側のグラフはそれぞれの移動局のフレーム転送量を時系列に表わした簡易グラフである．このグラフに示すように，各移動局がそれぞれ異なった量の転送を行っているので，時間毎にセルの混雑度は変化する．従って，移動局の数をセルの混雑度の計算式に直接適応することは現実的ではない．セルに移動局が5台存在していたとしても，5台全てが通信しているのと，5台のうち1台のみが通信しているのとでは，混雑度は大きく異なる．

従って，セルの混雑度は，実質的な通信を行っている移動局の台数で帯域幅を割った値に基づいて計算する必要がある．セルの混雑度の計算式は次式のようになる．

$$\text{セルの混雑度} = \frac{\text{帯域幅}}{\text{実質的な移動局の台数}}$$

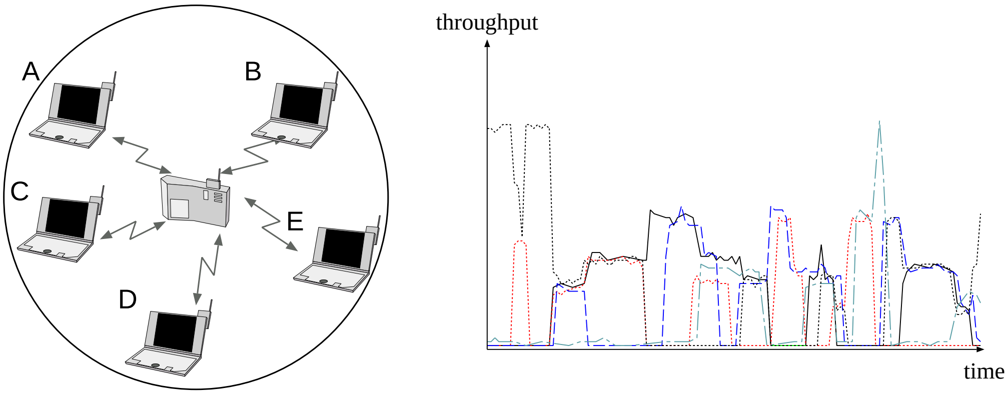


図 4.6: 移動局の転送状況のばらつき

次に，実質的な移動局の数の計算方法について説明する．本アルゴリズムでは，単位時間あたりの各移動局のデータ転送量に基づいて，実質的な移動局の台数を計算する．まず，1 台あたりの使用可能帯域幅を求めると

$$1\,\text{台あたりの使用可能帯域幅} = \frac{\text{帯域幅}}{\text{移動局の台数}}$$

となり，各移動局が実際に使用している帯域幅は，

$$\text{各移動局の使用帯域幅} = \frac{\text{データ転送量}}{\text{単位時間}}$$

となる．これらの値を利用して，1 台あたりの重みを計算すると，

$$\text{各移動局の重み} = \frac{\text{各移動局の使用帯域幅}}{1\,\text{台あたりの使用可能帯域幅}}$$

ここで，各移動局の重みは $0 \sim 1$ の値を取るように範囲を指定し，もし，この範囲に収まらなければ，範囲内まで値を切り詰める．そして，この重みを負荷させた移動局の総和を実質的な移動局の台数とすると，次式のようになる．

$$\text{実質的な移動局の台数} = \Sigma\text{各移動局} \times \text{各移動局の重み}\ (0 < \text{重み} < 1)$$

従って，セルの混雑度は次式のように計算される．

$$\text{セルの混雑度} = \frac{\text{帯域幅}}{\Sigma(\text{各移動局} \times \frac{\text{各移動局の使用帯域幅}}{1\,\text{台あたりの使用可能帯域幅}})}$$

となる．

隠れ端末の推測

隠れ端末が発生すると，隠れ端末関係にある複数の移動局の電波が干渉してしまい，転送エラーが増加する．そこで，ある一定以上の転送エラーが生じた場合，基地局は隠れ端

末の存在を疑う．そして，セルに対して隠れ端末の可能性があることをビーコンを利用して通知する．移動局は，このメッセージを受信し，移動局自身の転送エラー情報を調べ，隠れ端末の存在の有無を検証する．

4.3 移動局の設計

移動局がサポートする機能は，基地局からのメッセージに伴った動的な動作変更とローミングの判断および隠れ端末の判断である．

4.3.1 ビーコンの処理

移動局がセルの状態を把握するために利用できるものとして，ビーコンがある．ビーコンに載せられた情報を利用して，移動局はセル探索や切り替えを行う．移動局によるビーコンの処理について述べる．

メッセージフラグの処理

移動局では，基地局からの定期的に送信されるビーコンの情報を受信し，セルの状況を把握する．ビーコンを受信した移動局は，ビーコンに載せられたセル情報を処理し，情報格納ブロックを更新およびメッセージフラグに応じた対応をする．

4.3.2 SNR 値と閾値の比較

また，ビーコンを受信するとアンテナモジュルで信号強度 (Signal Strength)，雑音レベル (Noise Level)，信号品質 (Signal Quality) を解析する．信号強度と雑音レベルの値から SNR を計算し，ビーコンに載せられたセル探索モードに関する SNR の閾値を比較して，セル探索モードを選択する．

SNR 値は以下のような計算式によって求められる．

$$SNR = \frac{\text{信号強度}}{\text{雑音レベル}}$$

本システムでは，WaveLAN システムにおけるセル探索モードのアルゴリズムを利用して基地局の切り替えを行う．セル探索モードの選択には以下のようなアルゴリズムを用いる．

```
Switch ($current$Mode)
  Case: FCS
  Case: RCS
    if ( $current$AP SNR > SCS Threshold )
      then $new$Mode = SCS
    else
      search $new$AP
      if ( no AP || ( $new$AP SNR < FCS Threshold ))
        then $new$Mode = FCS
      if ( ( $current$AP = $new$AP ) || ( $current$AP SNR > $new$AP SNR ) )
        then $new$Mode = RCS
  Case: SCS
    if ( $current$AP SNR > RCS Threshold )
      then $new$Mode = SCS
    else if ( $currrent$AP SNR < FCS Threshold )
      then $new$Mode = FCS
    else $new$Mode = RCS
```

4.3.3 動的な閾値の変更

セル探索モードはその閾値によって選択される．本システムでは，セル探索モードの選択基準に新たな条件を組み込むことによって移動局の効率的な基地局の選択を行う．セル探索モードを変更する新たな条件として以下の条件を設定する，

- 移動局が基地局から離れる方向に移動する．
- セルの混雑レベルが一定値を越える

移動局は自分が基地局から離れているかどうかを受信する信号強度によって推測する．受信レベルが下がれば，基地局から離れていると判断し，受信レベルが上がれば基地局に近づいていると判断する．受信レベルの変化は短い間隔で定期的に送信されるビーコンを利用して行う．

移動局は，ビーコンの受信よって解析さらた信号強度がある一定時間に単調減少した，もしくは一定以上の信号強度の落差が生じた場合，移動局は基地局から離れているとを判断する．

また，ビーコンの `Congestion Level` フィールドに示された混雑レベルが高くなると，移動局は現在の基地局を介して通信することが効率的でないかもしれないので，セル探索モードを変更する．

移動局が基地局から離れていていることを認識する，もしくはセルの混雑レベルが一定値を越えると，移動局はセル探索モードの閾値を変更する．本システムでは WaveLAN システムの SNR の閾値を利用する．

4.3.4　隠れ端末の判定

移動局は隠れ端末の存在を自分自身で推測する．このアルゴリズムは，基地局の隠れ端末判断アルゴリズムと同じであり，フレームの転送エラー率がある一定以上の値になった場合，移動局は隠れ端末の存在を疑い，基地局に隠れ端末の可能性があることを `Hidden Node` メッセージを利用して通知する．

第 5 章

実装

基地局および移動局の実装は，IBM 社のノート型パソコン ThinkPad 600 を利用した．実装にあたり，FreeBSD 2.2.6 Release のカーネルソースコードを用い，それぞれの機能を実装した．また，無線 LAN のインタフェースカードには AT & T 社の WaveLAN を用いた．

5.1 基地局の実装

基地局の実装では，デバイス設定部分 CMU（Carnegie Mellon University），Monarch プロジェクトから分配されているソースコードを元にカーネル内での実装を行う．
以下の基地局の機能は，本システムで新た提案されたものである．

- ブリッジによるフレームのフィルタリング
- ビーコンにおけるメッセージ機能拡張
- 混雑度の計算

5.1.1 ブリッジ

本システムでは，基地局を FreeBSD2.2.6 環境で実装を行い，Unix カーネル上でブリッジの機能を実装した．ブリッジはリンク層におけるフレームのフォワードを行う．通常は `ether_input` 関数によってネットワーク層まで上げられる処理をリンク層で処理し，フレームを有線/無線インタフェース間でフォワードの処理を行う．既存のカーネルコードへの変更を少なくするために，`ether_input` 関数，`ifnet` 構造体の変更および `bridge_input` 関数，`bridge_intr` 関数，`bridge_output` 関数を追加した．およびネットワーク割込みサービスルーチンの追加を行った．

```
struct ifnet {
... ... ...

/* for another interface of bridge */
struct  ifnet *if_bridge;

... ... ...
}
```

図 5.1: ifnet 構造体のメンバ追加

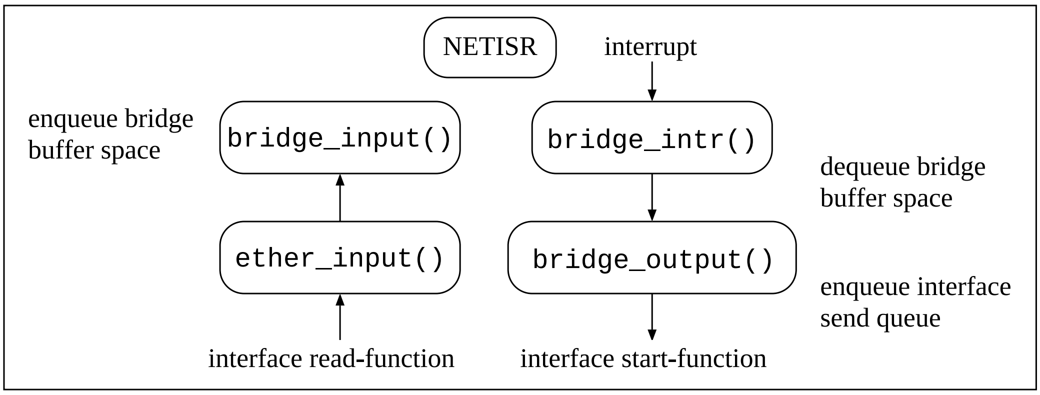


図 5.2: フレーム転送の流れ

5.1.2 情報格納ブロック

基地局は，各移動局に対して情報格納ブロックを保持している．それぞれのデータ転送量や，情報格納ブロックの期限などが示されていて，これらの情報は基地局が定期的に更新する．

5.1.3 フレームフィルタリング

本システムではLearning Bridgeの機能を持たせる．動的に転送するフレームのフィルタリングを更新し，帯域を消費するフレームはブリッジによって捨てられる．`bridge_filter`関数は，基地局が移動局の情報格納ブロックリストを調べ，フレームが転送されるべきかどうか決定する．また，リストの検索の効率化を計るためにキャッシュを使用する．

```
struct InfoBlock {
       LIST_ENTRY(InfoBlock)   info_link;

       u_int8_t                info_macaddr[ETHER_ADDR_LEN];

       u_int8_t                info_timeout;
       u_int32_t               info_thrput;
       u_int32_t               info_thrput_current;
       u_int8_t                info_flags;
       struct timeval          info_timestamp;
      struct wlp_softc        *info_softc;
}
```

表 5.1: 情報格納ブロック構造体

```
bridge_filter()
{
  /*
   * Cache Check
   */
  ... ... ...

  /*
   * Search List
   */
  for(i = sc->sc_MH_InfoList.lh_first; i;)
    {
      /* Found */
      Return i;
    }
  /* Not Found */
  return 0;
}
```

表 5.2: フィルタリング関数

5.1.4 移動局の情報格納ブロックの更新

定期的に基地局は自分の管理するセルにいる移動局のリストを更新する．移動局の通信状況を把握し，各移動局の情報格納ブロックの情報を更新する．

```
Infoblock_timer()
{
  ... ... ...

  sc->sc_cngstionLvl = 0;

  /* for each Mobile Node Info Block */

  for(i = sc->sc_MH_InfoList.lh_first; i;)
    {
      struct InfoBlock *in = i->info_link.le_next;
      if(i->info_timeout > KEEPALIVE_TIMEOUT_MAX)
        {
         ... ... ... /* Remove InfoBlock */
        }
      else
        {
          ... ... ... /* Measure Cell Congestion Level */
        }
      i = in;
    }
  timeout(infoblock_timer, (void*) sc, 1 * hz);
}
```

表 5.3: 情報格納ブロックタイマ

`info_timeout` は移動局が基地局にアクセスしているかどうかを調べるための情報である．この値は，基地局にアクセスするたびにゼロにリセットされる．そうでなければ，更新されるたびにインクリメントされていく．この値が `KEEPALIVE_TIMEOUT` 値より大きくなると，`SendKEReq` 関数によって，KeepAlive 要求を送信する．さらに応答がなければ，`info_timeout` インクリメントを続けて `KEEPALIVE_TIMEOUT_MAX` 値以上になると，その移動局の情報格納ブロックを破棄する．情報格納ブロックが破棄された移動局に対するデータのフローは，以後フィルタリングされ無線帯域を節約できる．

5.1.5 セルの混雑度の判定および通知

セルの混雑度を示す変数を基地局は保持している．この値は，`Infoblock_timer` 関数によって定期的に更新される．混雑度が `CNGSTN_LVL_HIGH` 値を越えると，`sc_cell_message` 変数にフラグがたてられ，ビーコンを送信する時に `CELL_CONGESTION` フラグが立つ．

```
float                 sc_cngstionLvl;   /* Congestion Level */
u_int8_t              sc_cell_message;  /* Cell Message Flag */
#define CNGSTN_LVL_HIGH 20              /* Congestion Threshold */
```

表 5.4: セルの混雑度を制御する変数

```
Infoblock_timer()
{
   ... ... ...

      /* for each Mobile Node Information Block */

          i->info_thrput = i->info_thrput_current;
          sc->sc_cngstionLvl += (i->info_thrput >
                                 (BANDWIDTH / sc->sc_MH_nums))
           ? 1 :
           ((float)i->info_thrput / (float)(BANDWIDTH / sc->sc_MH_nums));
          i->info_thrput_current = 0;
          if(++i->info_timeout > KEEPALIVE_TIMEOUT) SendKPReq(i);

  ... ... ...
}
```

表 5.5: 混雑度の計算

5.2 移動局の実装

本システムでは，移動局の実装では，ローミング判断基準の拡張が中心である．ローミングの判断に用いるセル情報の取り扱い方，またローミングの判断基準とそのアルゴリズムの実装について述べていく．

本システムで提案された移動局の重要な機能は，以下の通りである．

- 仮想移動検知 (Self Moving Detection)

- ビーコンメッセージフラグの処理
- セル探索モードの動的適応

これらの機能は，定期的に通信品質状態を監視するタイマによって処理される．監視タイマはビーコンの受信状況およびビーコンメッセージフラグを利用して，動的にセル探索モードを選択する．

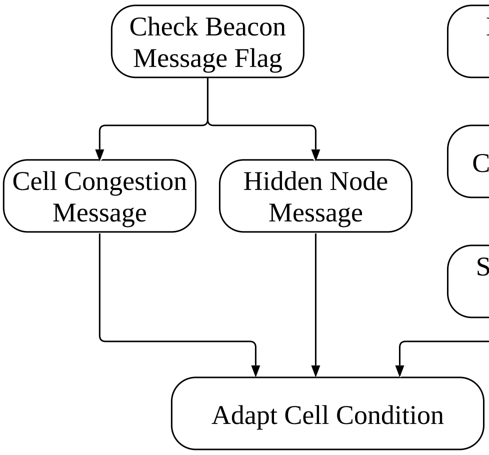


図 5.3: 監視タイマ

5.2.1 仮想移動検知

移動局は，受信したビーコンの信号を絶えず監視する．そして，一定時間信号強度が減少すると，移動局が基地局から離れる方向に移動したと判断する．

実装では，受信したビーコンの信号強度の推移を調べるために過去の `SIG_CACHE_LEN` 個分のビーコンの信号強度を保持する．本システムでは，200ms 毎にビーコンは送信され，15 個のビーコンの信号強度を保持し，その推移を判断する．

```
u_int8_t      sig_cache[SIG_CACHE_LEN]
#define       MOVING_DETECT   3
#define       SIG_CACHE_LEN   15
```

表 5.6: 仮想移動検知を制御する変数

配列 `sig_cache` には過去のビーコンの信号強度の値が入っていて，その値の変化を調べることによって信号の増減を得る．

```
bcopy(sc->sc_ap->sig_cache, sig_cache, SIG_CACHE_LEN);
if(sig_cache[slot] - sig_cache[(slot+SIG_CACHE_LEN-1)%SIG_CACHE_LEN]
     > MOVING_DETECT)
  {
       /* Adapt Cell Search Mode Threshold */
  }
```

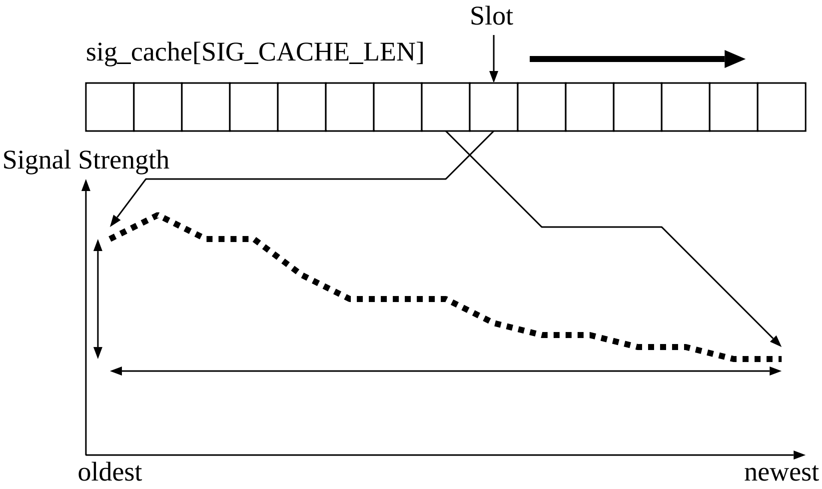


表 5.7: 仮想移動検知

5.2.2 ビーコンメッセージフラグの処理

ビーコンから移動局が得られる情報に基地局からのメッセージを表わすメッセージフラグがある．この情報は，監視タイマが常に調べて，その内容に応じて処理をする．

種類	定義	
混雑メッセージ	BCN_MSG_CONGESTION	0x01
隠れ端末メッセージ	BCN_MSG_HIDDEN_NODE	0x02
隠れ端末検知メッセージ	BCN_MSG_HIDDEN_NODE_PROBE	0x04

表 5.8: ビーコンフラグメッセージの定義

5.2.3 セル検索モードの動的適応

ビーコン情報および移動局の移動を利用して，セル検索モードの閾値を動的に適応する．セル検索モードには閾値を利用するが，移動局はこの値を動的に適応することによって，迅速に現在の接続している基地局からより通信品質の高い基地局を探索するようになる．

```
{
    ... ... ...

    sc->sc_ap.ap_beacon->scs_gain = /* determined by cell condition */
    sc->sc_ap.ap_beacon->rcs_gain = /*     or Self Moving Detection */
    sc->sc_ap.ap_beacon->fcs_gain = /*                              */

    ... ... ...
}
```

表 5.9: セル探索モードの閾値の増分

第 6 章

測定と評価

この章では，本論文が提案するシステムと既存のシステムの性能比較を行い，測定，評価を通して本システムの優位性を示す．本研究で行う実験は，帯域使用に関する項目とローミングに関する項目について調べる目的で行われる．

6.1　実験測定

実験に用いた機材を表??示す．全ての実験においてスループット測定は `ttcp` を利用して行った．

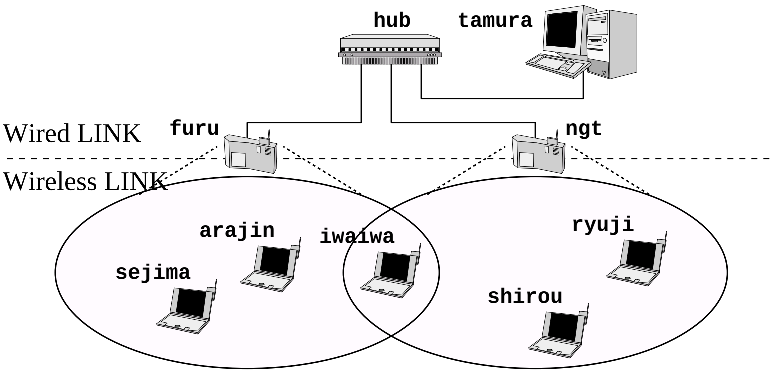


図 6.1: ネットワーク構成

6.1.1　実験 A:CSMA/CA がローミングに及ぼす影響測定

実験目的

移動局は CSMA/CA によって基地局にアクセスするので，ローミングによってセルを移動したとしても，移動局が他の搬送波を検知してしまう限り顕著なスループットの改善はされないはずである．他の移動局の通信がどれだけ移動局の通信に影響を与えるかを測定する．

測定方法

実験 A では，2 つの移動局の配置によってセルを移動する前後のスループットの変化を測定する．

1. 2 台の移動局を互いの搬送波を検知できる距離に配置する．
2. 2 台の移動局を互いの搬送波を検知できない距離に配置する．

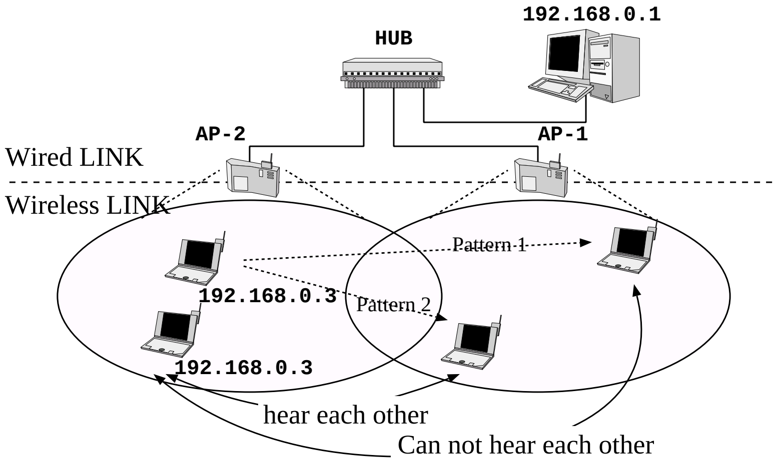


図 6.2: 実験 A:測定環境

6.1.2 実験 B:通信方向がローミングに及ぼす影響測定

実験目的

通信にはデータを送信するアップリンクとデータを受信するダウンリンクという 2 種類の通信の方向がある．無線 LAN においてはアップリンクとダウンリンクではセル内で通信波が与える影響は異なる特性を持つ．実験 B ではこの特性の違いがどれだけローミングに影響を及ぼすかを測定する．

測定方法

実験 B では，図 6.3のように 2 台の移動局を配置し，セルを移動する前後のスループットの変化を測定する．以下の 2 種類の条件を用いて測定を行う．

1. 移動局 A の通信をアップリンクで，移動局 B の通信をダウンリンクで行う．
2. 移動局 A の通信をダウンリンクで，移動局 B の通信をダウンリンクで行う．

また，2 種類の測定は，通信方向の特性の相違を明確に表すために移動前後の環境は以下のように設定しで行う．

- 2 台の移動局はセルを移動する前は互いに十分に電波を検知できる．
- 2 台の移動局はセルを移動した後は互いの電波は検知できない．

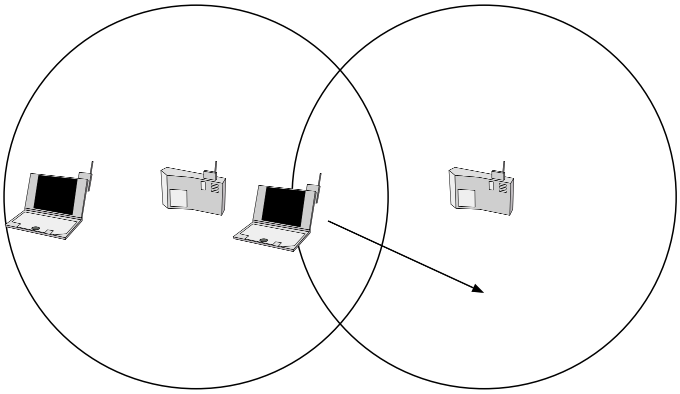


図 6.3: 実験 B:測定環境

6.1.3 実験 C:ローミング判断アルゴリズムに関する実験

実験目的

本論文では，ローミングにおけるセル情報の必要性について述べてきた．実験 C では，本研究において新たに提案した判断アルゴリズムの優位性について検証する．

測定環境

実験 C では，以下の 3 つの判断基準を用いたローミングの比較を行う．

判断基準 A SNR値 + 閾値

判断基準 B SNR値 + 閾値 + SNR値の変化

判断基準 C SNR値 + 閾値 + SNR値の変化 + セル混雑度

3 つの判断基準を比較するために，移動局の配置構成を準備する．それぞれの判断基準において，移動局がセルを切替える地点とおよび SNR 値の推移を測定する．セル探索モードの閾値の変動を調べる．

移動局を移動前のセルに 3 台配置し，移動後のセルには配置しない．3 台同時に転送をし，うち 1 台にセルを移動させる．

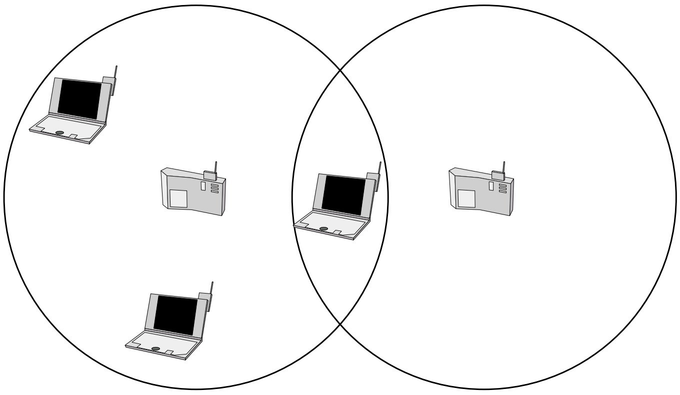


図 6.4: 実験 C:測定環境

6.2 測定結果と評価

6.2.1 測定結果 A:CSMA/CA によるローミングに及ぼす影響

実験 A では，移動局がセルを移動する前後においてのスループットの改善を測定した．まず，移動前の 2 台の移動局のスループットを図?? に示す．移動前は，2 台の移動局は，帯域を共有しなければならないので，スループットが平均 0.64Mbps となっている．

セルを切り替えた後の移動局の配置には 2 パターン設定した．図??に移動局のうち 1 台がセルを移動した後のスループットを示す．

移動前は 2 台の移動局によってセルの帯域を共有するためにスループットは，0.64Mbps となっている．

6.2.2 測定結果 B:通信方向がローミングに及ぼす影響

実験 B では，ダウンリンクとアップリンクにおける帯域使用に関する実験を行った．移動前，移動後における基地局からの電波が与える影響を調べる．しかし，

6.2.3 測定結果 C:ローミングの判断基準

実験 C では，本システムで提案した方式の優位性を検証する．33.80m 離れた 2 地点に基地局を設置し，基地局から基地局まで移動局を移動させていく中で，基地局の切り替わる地点の測定を行った．

6.3 考察

実験 A および実験 B の結果からローミングをしてセルを切り替えたとしても，他の搬送波が移動局まで到達してしまえば，移動先のセルの帯域を十分利用できるとは限らない．

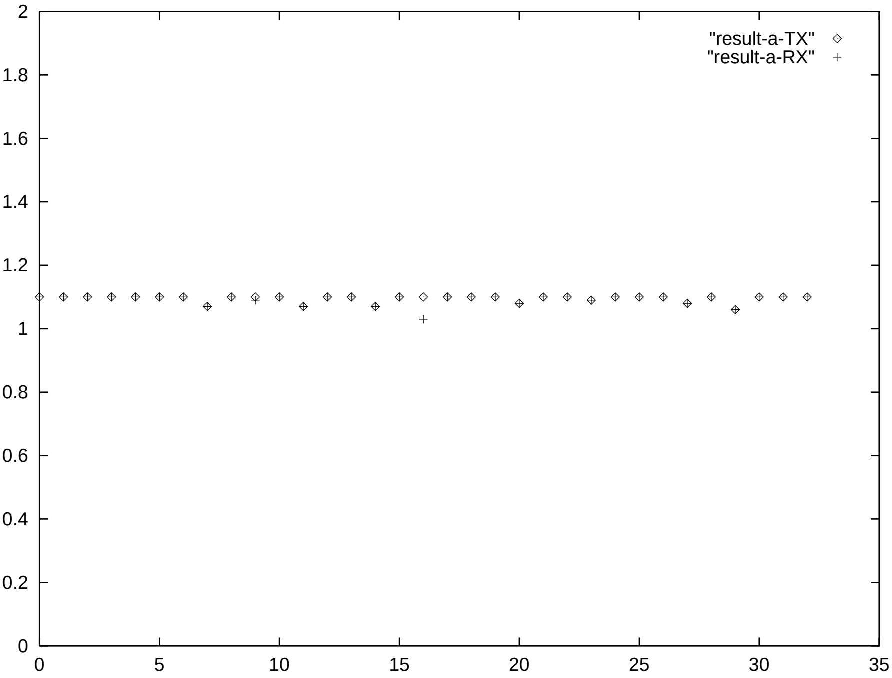


図 6.5: 測定結果A:移動前のスループット

これは，CSMA/CAによってキャリアセンスを行うときに，移動前のセルと移動後のセルの周波数チャネルが同一であるためである．

日本のISMバンド2.4GHz帯は2471MHzから2497MHzと非常に狭い．この周波数帯ではチャネルがひとつしか利用できないので，この問題を解決することはできない．

しかし，アメリカやヨーロッパでは利用できる周波数帯が広く，複数のチャネルを利用できる．マルチチャネルによるローミングができるようになれば，今後の無線LANの通信品質の改善に大きく役立つだろう．

また，実験Cで行ったローミングの切り替わるポイントの測定によって，以下のような定性的比較をすることができる．

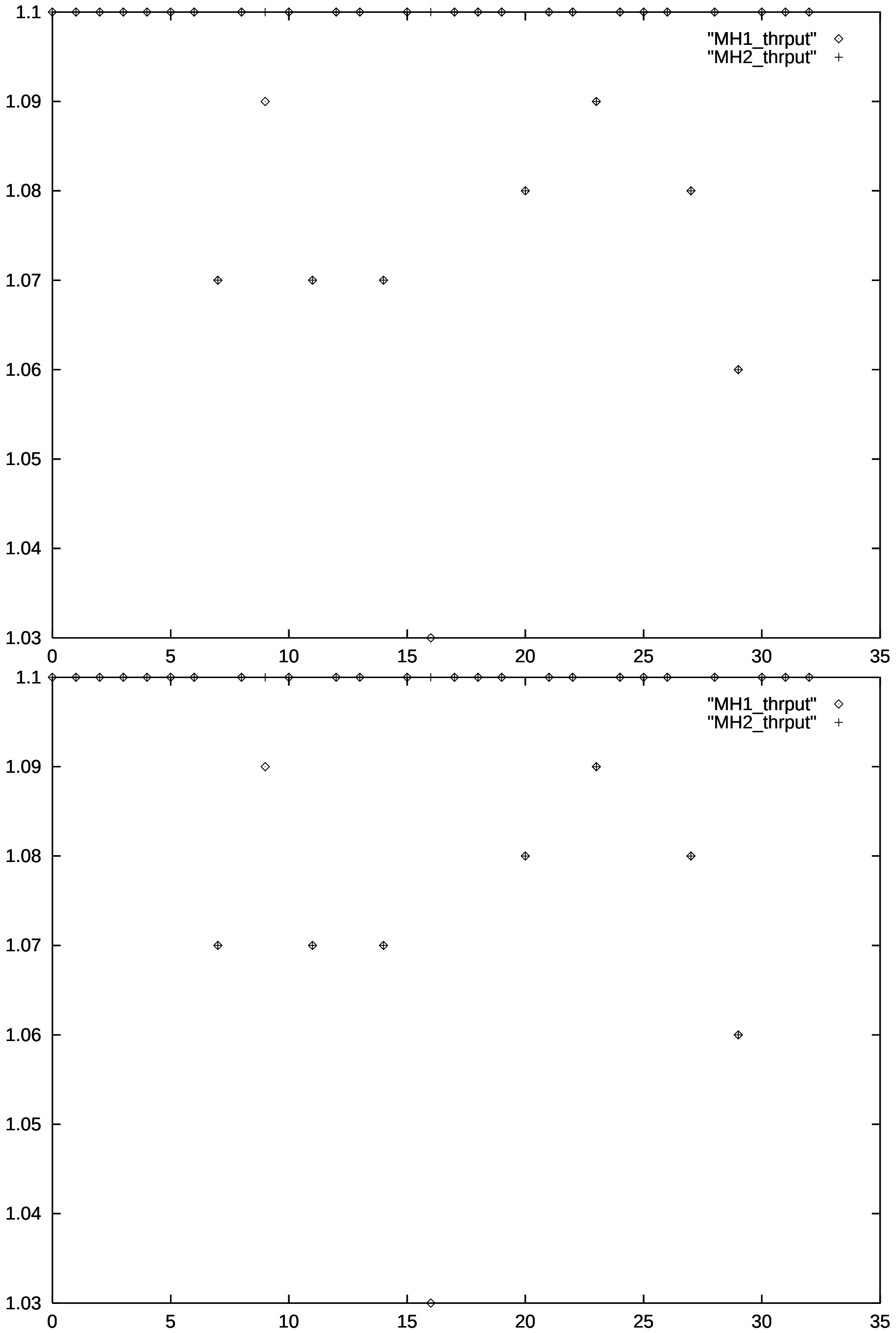


図 6.6: 測定結果 A:移動後のスループット)

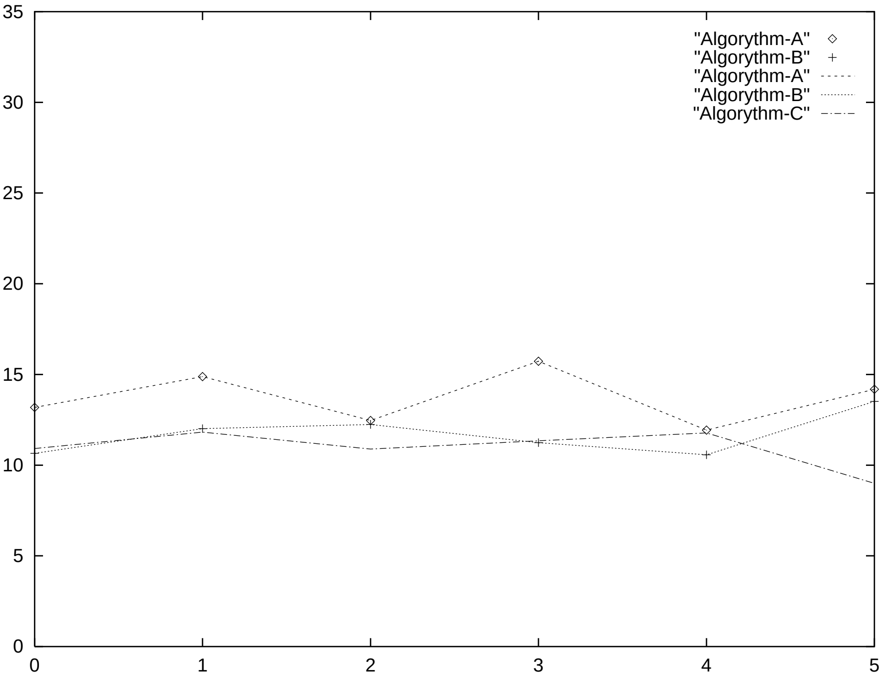


図 6.7: 測定結果 C:ハンドオフが起きる点

第 7 章

結論

7.1 まとめ

現在，コンピュータネットワークにおいて携帯性や移動性の高い無線ネットワークの技術が注目されている．特に，ローミング機能によってネットワークへのアクセスを継続することができ移動性が高い．しかし，無線 LAN では限られた帯域資源を効率的に利用するためのシステムが必要である．

本研究では，セルを管理制御することによって，無線サービスエリア全体の

セル探索モードを

7.2 今後の課題

本論文では，基地局によるブリッジのキューイング方式に FIFO を用いて実装をした．しかし，TCP と UDP のように異なる性質を持ったデータフローを FIFO 方式によって行うと，ある特定のフローが帯域を占有してしまう可能性もある．また，本論文において設計した情報格納ブロックは，デバイスドライバ上に実装を行ったが，ネットワーク全体を管理するために必要な情報は SNMP (Simple Network Management Protocol) の MIB (Management Information Base) に定義する必要がある．

今後の課題としては，ブリッジにおけるキューイング方式を提案し，セルの状態に動的に適応するキューイングを設計する．また，SNMP における無線ネットワークにおける情報を保持する MIB の見直し，比較検討を行う．

謝辞

本研究を進めるにあたり御指導頂きました慶應義塾大学環境情報学部徳田英幸教授に感謝致します．本論文作成にあたり御指導を頂きました同大学助手西尾信彦氏に感謝致します．本研究を進めていく上で，様々な議論をし助言してくださった慶應義塾大学徳田・村井・中村・楠本研究室のメンバー諸氏に感謝の念を表します．

以上をもって謝辞と致します．

参考文献

[1] IEEE 802.11 Working Group for Wireless Local Area Networks, “IEEE Std 802.11-1997”

[2] AT&T Corporation, “Data Manual WaveLAN Air Interface”

[3] COMET Group, Columbia University, “Open Programmable Mobile Networks”, *8th intl Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV), 1998*
`http://www.comet.columbia.edu/wireless`

[4] S. K. Das, S. K. Sen, “A New Location Update Strategy for Cellular Networks and its Implementation using a Generic Algorithm”, *MobiCom ’97*

[5] R. Caceres, V. N. Padmanabhan, “Fast and Scalable Handoffs fore Wireless Internetworks”, *MobiCom ’96*

[6] C. Toh, “The Design & Implementation of a Hybrid Handover Protocol for Multi-Media Wireless LANs”, *MobiCon ’95*

[7] Gary R. Wright, W. Richard Stevens “TCP/IP Illustrated, Volume 2”, Addison Wesley, 1995

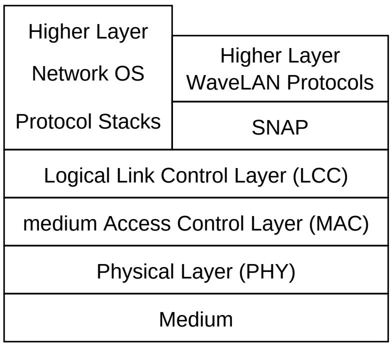
[8] 松下 温, 『分散協調メディアシリーズ 7 ワイヤレス LAN アーキテクチャ』, 共立出版, 1996

付録 A

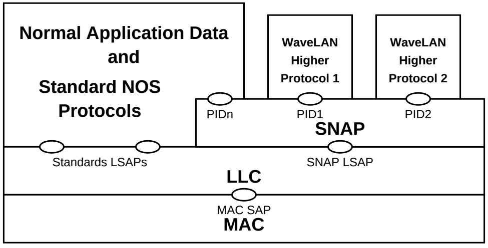
プロトコル

A.1　プロトコルスタック

Protocol Stack Overview



WaveLAN Higher Protocols Overview



A.2　WaveLAN フレームフォーマット

WaveLAN PHY Block Format

WaveLAN PHY Block Format

Training Pattern (118)	SD (4)	Carrier Training (8)	NWID (16)	WaveLAN MAC Frame	ED (4)

← Preamble →　Postamble

WaveLAN MAC Frame Format

WaveLAN 802.3 Frame Format

MAC Preamble (1)	SFC (1)	Dest MAC Adrs (6)	Src MAC Adrs (6)	Length (2)	MAC-User Data [+pad] (46-1500)	FCS (4)

WaveLAN DIX Ethernet Frame Format

Eth. Preamble (1)	SFC (1)	Dest Eth. Adrs (6)	Src Eth. Adrs (6)	Type (2)	Eth-User Data [+pad] (46-1500)	FCS (4)

SNAP Header

WaveLAN MAC Frame

MAC Preamble (1)	SFC (1)	Dest MAC Adrs (6)	Src MAC Adrs (6)	Length (2)	MAC-User Data [+pad] (46-1500)	FCS (4)

DSAP (1)	SSAP (1)	Ctrl (1)	WaveLAN Higher Protocol Identifier (PID)					WaveLAN Higher Protocol Message [+pad] (38-1492)
			OUI (3)			Spec-Id (2)		
0xAA	0xAA	0x03	0x08	0x00	0x0E	coded	coded	

← SNAP Header →

A.3　プロトコルフォーマット

Cell Management Control Protocols

Beacon

WaveLAN Specific ID (2)		PDU Type (1)	Seq (1)	DomainId (2)	ShieldedNWID (2)	RF N-oise(1)	CellThresholds (4)	Interval (2)	Time-out (2)	AP-Name (32)	Nodes (1)	Traf Lvl (1)	Cell Msg(1)
0x20	0x03	0x00	coded	coded	coded	coded	coded	coded	coded	coded	coded	coded	coded

Sign-On Request

WaveLAN Specific ID (2)		PDU Type (1)	Seq (1)	Number APs (1)	Roam State (1)	Reser-ved (1)	OldAP InfoBlock (n)	Padding (34-n)
0x20	0x03	0x01	coded	coded	coded	0x00	coded	don't care

Sign-On Response

WaveLAN Specific ID (2)		PDU Type (1)	Seq (1)	Status (1)	Reser-ved (1)	Reser-ved (1)	NewAP InfoBlock (n)	Padding (34-n)
0x20	0x03	0x02	coded	coded	0x00	0x00	coded	don't care

Recover Request

WaveLAN Specific ID (2)		PDU Type (1)	Padding (37)
0x20	0x03	0x06	don't care

AP InfoBlock

InfoLength (1)	InfoData (m)
coded(m)	coded

NewAP InfoBlock

InfoLength (1)	NetType (1)	AP MAC Address (6)
0x07	0x00	coded

Handover Message

WaveLAN Specific ID (2)		PDU Type (1)	Seq (1)	Status (1)	Reser-ved (1)	EPM Info(1)	NewAP InfoBlock (n)	Padding (34-n)
0x20	0x03	0x05	coded	coded	0x00	coded	coded	don't care

Keep-Alive Request

WaveLAN Specific ID (2)		PDU Type (1)
0x20	0x03	0x07

Keep-Alive Response

WaveLAN Specific ID (2)		PDU Type (1)
0x20	0x03	0x08

A.4　アドレス割当

NWID Assignments

NWID	Assigned to
0x0000	Initial value at production. Not allowed for operational use.
0x0001	Start-up Diagnostics
0x0002-0x000F	Reserved
0x0010	Japanese Call Code Identification
0x0011-0x00FF	Reserved
0x0100-0xFFFF	For allocation by end-users of WaveLAN products, to generate separate cells.

Multicast Address Assignments

Multicast Address	Assigned to
0x09000E200300	Beacon-REQ
0x0180C2000010 (All LANs Bridge Management Group Address)	Recover-REQ
0xFFFFFFFFFFFF (broadcast)	PtPExplore-REQ Call-Code-REQ