

無線LANにおけるセル制御システム

古坂 大地[†] 岩本 健嗣[†] 永田 智大[†] 西尾 信彦[†] 徳田 英幸[†]

慶應義塾大学環境情報学部[†] 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科[†]

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、移動通信可能などの利点から、無線LAN (Local Area Network) の需要が高まってきている。しかし、無線LANは電波の特性から生じる様々な問題により高い通信品質を実現することが非常に困難である。無線LANの通信品質を改善するためには、セルと呼ばれるサービスエリアを制御する機構が必要である。本論文では、通信状況の変化に動的に適応させるためのセル管理制御システムの設計および実装について述べ、本システムを用いたセル間移動時の無線基地局の切り替えに関する性能評価を行う。

Cell Control System for Wireless Local Area Network

Daichi Furusaka[†] Takeshi Iwamoto[†] Tomohiro Nagata[†]

Nobuhiko Nishio[†] Hideyuki Tokuda[†]

Faculty of Environmental Information, Keio University[†]
Graduate School of Media and Governance, Keio University[†]

Due Development of information and communication technology, Wireless Local Area Networks (WLANs) are being desired for its mobility, easy layouts and construction. However, WLAN architecture has many problems. So it is very difficult to provide high quality communications over WLANs. To improve the communication quality over WLANs, We must control Cells which consists of the WLAN service area. This paper shows the design and implementation of Cell Control System. Then we evaluate the performance of Handoffs over several wireless control systems.

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み、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 [1] 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。

無線通信では、セルと呼ばれるエリアの集合によ

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、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。

このような通信の負荷分散は、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。

本研究では、無線LANにおける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。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。

2 既存のセル制御システムの問題点

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。

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。

2.1 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。

2.1.1 セル探索モードとローミング

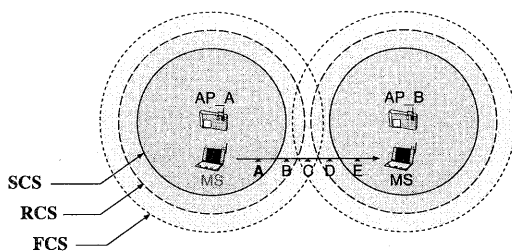


図 1: セル探索モードとローミング

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 1 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。移動局 MS は、地点 A~E において各基地局との通信状況を SNR によって判断し、基地局の切り替えを行っている。

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 の閾値のみで基地局の切り替えを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。

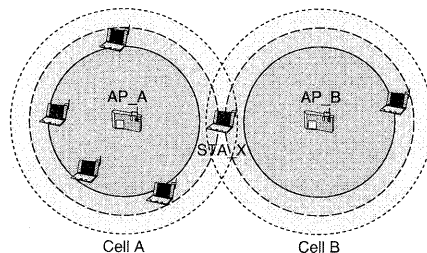


図 2: SNR 閾値のみのローミング

例えば、図 2 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 内の移動局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ふ。このような場合には、STA_X はセル B の方にローミングを行い、セル B 内で通信を継続することによってサービスドメイン内の通信効率は上がる。このような負荷の偏りはセル内の無線局の台数を STA_X が把握できないため、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ない。

3 本システムの概要

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。本システムでは、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 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。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衡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、その問題が解消し効率的な負荷分散を行うことができる。

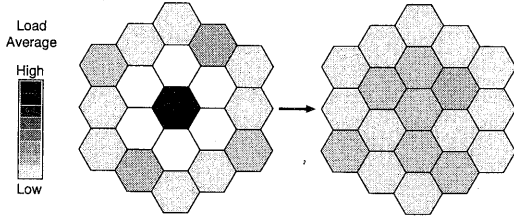


図 3: 負荷分散の改善

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。

4 本システムの設計と実装

本システムの構成を図 4 に示す。本システムは、以下の 3 つの要素から構成されている。

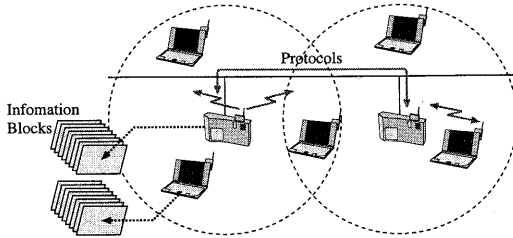


図 4: セル制御システムの構成

- 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

4.1 情報格納ブロックの設計

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。

4.2 管理制御プロトコルの設計

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。これらのプロトコルは、無線 LAN の上位プロトコルとして利用される。図 5 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。

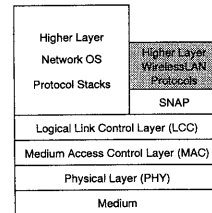


図 5: プロトコルスタック

4.2.1 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おり、移動局はビーコンを受信しセル情報を処理する。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。

ビーコンに載せる情報のリストを表 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 Msg_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。

メッセージフラグ

表 1 の最後の項目 Msg_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。このフラグは基地局からのセルの状態に関するメッセージを示

NAME	説明
Sequence	シーケンス番号
DomainD	サービスドメインの識別番号
NetworkID	セルの識別番号
RF_Noise	基地局周辺の周波数ノイズ
Cell_Thresh	セル探索モードの切り替える閾値
Interval	ビーコンの送信間隔
TimeOut	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
Cngstion_Lvl	帯域の使用レベル
Msg_Flag	基地局からのメッセージフラグ

表 1: ビーコンに載せるセル情報

し、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。表 2に、現在設定されているフラグとその意味を示す。

NAME	説明
CELL_CONGESTION	セルが混雑している
HIDDEN_NODE	隠れ端末の可能性はある

表 2: ビーコンに載せるセル情報

4.2.2 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。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。その他に、セル内に移動局が存在するかどうかを確認するプロトコルがある。

4.2.3 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が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。

4.3 状態判断アルゴリズム

各情報格納ブロックと管理制御プロトコルを利用して、セルの管理制御を行う。状態判断アルゴリズムは、動的に変化する通信状況に応じ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ように動作する。本研究では、ローミング判断アルゴリズムを組み込む。

ローミング判断アルゴリズム

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。

4.4 基地局の実装

本システムでは、IBM 社の ThinkPad 600 を使用し FreeBSD 2.2.6 上に基地局を実装した。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。

ブリッジ機能

図 6に、基地局のブリッジインタフェースを示す。これらの処理はリンク層において行う。

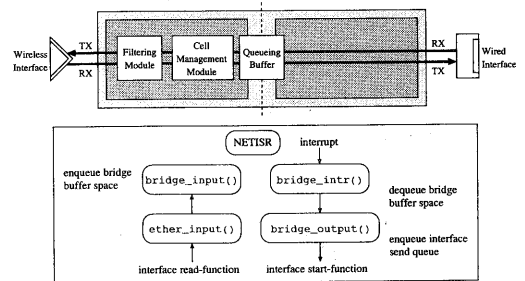


図 6: ブリッジインタフェース

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、更新、解放
- セルの混雑度の判定 (転送量, 誤り率)

4.5 移動局の実装

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 7に、監視タイマの処理の流れを示す。

ビーコン情報および仮想移動検知を利用して、セル探索モードの閾値を動的に適応する。表 3にセル探索モードの閾値に関する処理を、図 8に仮想移動検知に関する処理を示す。

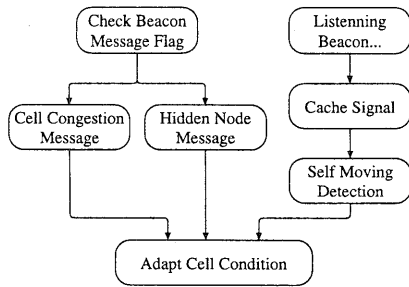


図 7: 監視タイマ

```

sc->sc_ap->scs_gain = /* SCS gain */;
sc->sc_ap->rscs_gain = /* RCS gain */;
sc->sc_ap->fcs_gain = /* FCS gain */;

```

表 3: セル探索モードの閾値の処理

5 実験環境

本論文では、複数のローミング判断アルゴリズムに関する測定および評価を行う。

5.1 アルゴリズムパターン

ローミングの判断は、表 4 に示すパラメータに基づいて行う。

PARAMETER	説明
SNR	信号品質を表す値
CST	セル探索モードを切り替える閾値
d-SNR	SNR の変化率
C-Lvl	通信混雑を示す値

表 4: ローミングに関するパラメータ

以下の 3 パターンのパラメータの組み合わせによるローミング判断アルゴリズムの性能を比較する。

Algorithm A SNR + CST

Algorithm B SNR + CST + d-SNR

Algorithm C SNR + CST + d-SNR + C-Lvl

5.2 ネットワーク構成

40m 離れた 2 地点 - 地点 A および地点 B - に基地局 (IBM ThinkPad 600) を配置し 2 つのセルを構成する。基地局を介して通信する無線移動端末 (SONY VAIO 505EX) を地点 A に配置する。図 9 に機器配置およびネットワーク構成を示す。また、無線移動端末は、地点 A から地点 B まで人の歩く速さで移動する。

実験を行う前に地点 A から地点 B までの各基地局との受信状態を測定した。地点 A を基準に 1m 間

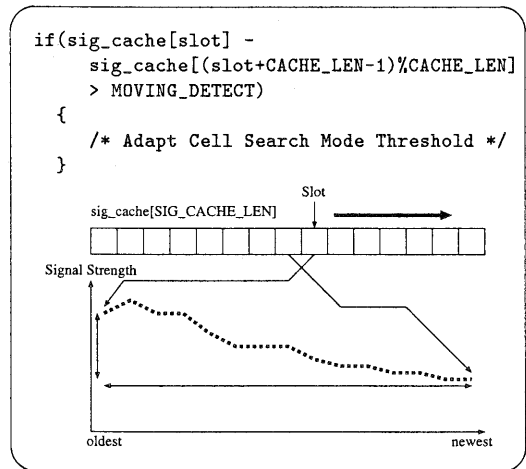


図 8: 仮想移動検知

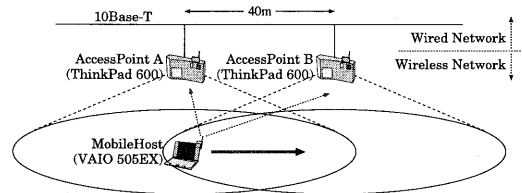


図 9: ネットワーク構成

隔の各基地局の SNR を測定した。図 10 にそのグラフを示す。

6 測定・評価

実験では、各基地局への通信負荷の有無を実験条件に追加し、第 5 章で述べた 3 パターンのアルゴリズムの性能評価を行う。表 5 に各実験の通信負荷条件を示す。

	基地局 A	基地局 B
実験 1	負荷なし	負荷なし
実験 2	負荷あり	負荷なし
実験 3	負荷なし	負荷あり

表 5: 通信負荷条件

地点 A から地点 B まで移動端末を移動させ基地局を切り替える地点までの距離を地点 A を基準に測定した。表 6 に測定結果を示す。

実験 1 では、アルゴリズム A は、アルゴリズム B, C と比較すると基地局の切り替えが遅い。これは、パラメータ d-SNR によって端末の移動を検知しているからである。実験 2 では、アルゴリズム C が

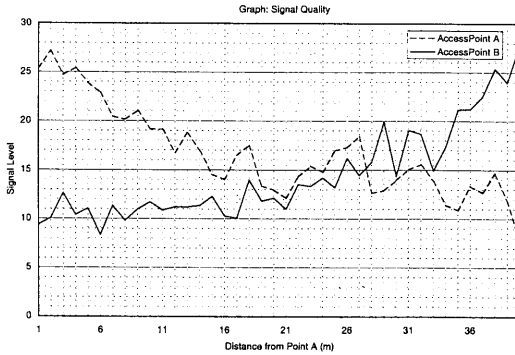


図 10: 受信信号強度

	Algorithm A	Algorithm B	Algorithm C
実験 1	27.8	14.5	14.7
実験 2	28.3	14.7	11.7
実験 3	29.8	13.9	35.9

表 6: 測定結果 (単位: m)

最も早く基地局を切り替えている。実験 2 では、通信負荷という要素が加わり、パラメータ C-Lvl が有効的に働いていることを示している。実験 3 では、アルゴリズム C が最も遅い基地局の切り替えを行っている。これは、パラメータ C-Lvl によってできるだけ負荷のない基地局と通信を継続しようと判断しているからである。

これらの実験から、アルゴリズム C が通信状況に応じて最も有効的にローミングを行っていると言いうことができる。

7 関連研究

無線トラフィック制御に関する関連研究には以下のようなものがある。

Mobiware[3] 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 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。

Lucent Technology 社の R. Caceres とカリフォルニア大学バークレの V. N. Padmanabhan らは、無線 LAN における迅速かつ拡張性のあるハンドオフ技術 [4] についての論文を書いている。彼らは将来、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

をしている。まず、移動性を管理するアーキテクチャについて、「移動性には階層的構造があり、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」という階層を与えている。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と考えている。

8 まとめと今後の課題

現在の無線制御システムでは、移動局および基地局が保持している情報が十分に利用されていない。そのために、移動局や基地局は通信状況の変化に動的に適応できていない。

本研究では、基地局がセルを管理制御することによって、無線通信の負荷分散を図ることを目的とする。そのために必要な通信情報について検討し、その情報を取り扱う機構およびアルゴリズムを提案した。基地局はセルの状態を管理制御する機構を持ち、移動局に対してセルの状態変化を知らせる。移動局は、基地局から送信される情報からセルの状態を把握し、動的にセルの状態変化に適応できるようになる。

本論文では、3 種類のローミング判断アルゴリズムを組み込んだセル制御システムを用いて、その性能評価を行った。その結果、通信状況に動的に適応するためのセル情報利用の重要性を示すことができた。

今後の課題として、基地局によるブリッジのキューイング方式の改善、セル制御情報の MIB (Management Information Base) 化および複数の周波数チャネルを利用する無線 LAN へのセル制御機構の対応を行っていく。

謝辞

本研究を進めるにあたり、慶應義塾大学 徳田研究会 MCng のグループの皆様にも多大な御助言、御協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

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] R. Caceres, V. N. Padmanabhan, "Fast and Scalable Handoffs fore Wireless Internetworks", *MobiCom '96*
- [5] 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