

修 士 論 文

IEEE802.11 フレーム拡張機能を用いた ワイヤレスアクセスポイントの選択手法の提案

Selecting Wireless Access Points
Using IEEE802.11 Frame Extension

指導教員 江崎浩 教授



東京大学大学院 情報理工学系研究科
電子情報学専攻

氏 名 46414 澤村 正

提 出 日 2007年2月2日

概要

ノート PC のような無線インターフェースを持つような移動端末の普及はワイヤレスアクセスポイントの急速普及を促し、WiFi 技術を用いた無線 LAN システムは家庭から企業や大学、さらには公共施設におけるサービスへと急速に普及範囲を拡大しつつある。その結果、一つの物理空間に複数の無線アクセスポイントが設置され、その結果、複数の無線ネットワークセグメントが同時に存在するような環境が頻繁に観測されるようになった。それぞれの無線ネットワークセグメントは、通常特定のネットワーク運用者に属しており、それぞれ異なる運用ポリシーでサービスを提供している。ユーザは、複数のアクセスポイントからの電波を受信している時に、アクセスポイントを選択する基準となる情報をほとんど持たない場合が、一般的である。ユーザが複数の ESS に接続する権限を持つ可能性も高まったが、現在は複数 ESS 間から適切な ESS を選択するための明確な基準や情報提供が行われていない。通常は、電波強度、無線 LAN の動作モード、アクセスポイントの ESSID 情報をもとに、ユーザが手動でアクセスポイントを選択している状態である。また、従来は無線アクセスポイントの密集度が低く、電波強度のみの選択基準で十分に妥当であったので、ESS を 1 つ選択すると電波強度の最も高い AP が自動的に選択されていた。しかし、単位面積あたりの無線アクセスポイントの個数が多い場所においては、電波強度の最も高いものを選択した場合でも、必ずしも適切なアクセスポイントを選択していない場合が、しばしば観測されるようになってきた。

既存の研究は、単に、複数のアクセスポイントを用いた高速データ通信の手法や、複数のアクセスポイントを用いた並列データ転送における最適負荷分散手法の研究などがほとんどであり、実システムにおいて実際に有効な、無線アクセスポイントの選択手法に関する研究は、ほとんど行われていなかった。

本研究では、複数 ESS 間での ESS の選択基準と、単一 ESS 内の AP の選択基準に新たな項目を付け加えることにより、実ネットワーク環境において有効な無線アクセスポイントの選択手法の提案を行っている。無線アクセスポイントの選択は、電波の状況よりも、むしろ、無線アクセスポイントを介したデータ通信能力によって選択した方がきわめて有効である。我々は、複数の利用可能な無線アクセスポイントが存在しても、多くのアクセスポイントはそのユーザには利用権限のないものであったり、インターネットへの接続性を提供しないアクセスポイントである場合であったりすることを、頻繁に経験している。そこで、本研究では、各 BSS (AP) について、無線アクセスポイントの CPU の負荷率、アクセスポイントを利用しているクライアントノードの数、ゲートウェイルータへの到達性の有無、特定のプロトコルのサポート能力、あるいはグローバル IP アドレスの提供能力など、無線リンク以外の、ネットワーク接続に必要な情報の提供を、クライアントノードに提供することを提案している。

提案方法の具体的な実装には Linux システムを用いた． IEEE802.11 のフレーム拡張を利用し，任意のネットワーク情報を，ネットワーク側からクライアントノードに提供可能にすることに成功した．その結果，従来の無線アクセスポイントの選択手法よりも，実ネットワーク環境でより有効な選択を行うことができることを確認することができた．

キーワード: IEEE802.11, Access Point Selection

目 次

概要	1
第 1 章 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 本論文の構成	2
第 2 章 ワイヤレスアクセスポイント選択の課題	3
2.1 ワイヤレスアクセスポイントへの接続の現状	3
2.1.1 IEEE802.11 で使用される諸用語の整理	3
2.1.2 IEEE802.11 の Frame の種類と State による分類	5
2.1.3 ワイヤレスアクセスポイントに接続する手順	8
2.1.4 無線 LAN クライアントの実装紹介と比較	10
2.2 ワイヤレスアクセスポイントの選択における問題	14
2.3 本研究の目的	17
第 3 章 関連研究	18
3.1 ワイヤレスアクセスポイント選択問題に関する研究	18
3.2 Decentralized Access Point Selection for Wireless LANs[22]	19
3.2.1 AP 選択アルゴリズム概要	19
3.2.2 AP 選択アルゴリズム : Maximizing Local Throughput (MLT)	20
3.2.3 AP 選択アルゴリズム : Avoiding APs with Larger PER (AALP)	20
3.2.4 動的 AP 選択機構	21
3.2.5 まとめ	22
3.3 Decentralized Access Point Selection for Wireless LANs -Deployability and Robustness[5]	22
3.3.1 Deployability	22
3.3.2 Robustness	24
3.3.3 まとめ	26
3.4 A study on dynamic load balance for IEEE 802.11b wireless LAN[11]	26
3.4.1 Dynamic Load Balance Approach	26
3.4.2 The AP Channel Autoselection Level	27
3.4.3 The Station Join Decision Level	28

3.4.4	The Link Observation Level	29
3.4.5	まとめ	29
第 4 章	提案手法	31
4.1	ワイヤレスアクセスポイント選択問題解決の要求条件	31
4.2	システム設計	33
4.2.1	概要	33
4.2.2	手法の比較	34
4.3	IEEE802.11 フレーム拡張機能を用いた AP 選択	35
4.3.1	導入する基準	35
4.3.2	IEEE802.11 フレーム拡張	35
第 5 章	実装	37
5.1	実装環境	37
5.2	実装の詳細	37
5.2.1	Madwifi のソースコードの説明	37
5.2.2	Information element への拡張とその拡張内容	38
5.2.3	実装方法	41
5.3	実験	42
5.3.1	実験環境	42
5.3.2	実験	42
第 6 章	考察	45
6.1	評価	45
6.1.1	提案手法の評価	45
6.1.2	実装の評価	46
6.2	今後の課題と展望	46
第 7 章	まとめ	48
	謝辞	49

図 目 次

2.1	Extended Service Set (ESS)	4
2.2	Frame Format	6
2.3	Frame State	7
2.4	Passive Scanning	8
2.5	Active Scanning	9
2.6	Windows XP で標準で実装されている無線 LAN 接続クライアント	10
2.7	Windows XP で標準で実装されている無線 LAN 接続クライアントの詳細設定	11
2.8	Windows XP 上で動作する Lenovo 社の無線 LAN 接続クライアント	12
2.9	Windows XP 上で動作する Lenovo 社の無線 LAN 接続クライアントの詳細図	12
2.10	Mac OSX 上で動作する無線 LAN クライアント	13
2.11	問題：異なる ESS のうち、どの ESS を選択するか	16
2.12	問題：1 つの ESS に複数 BSS があるとき、どの BSS を選択するか	17
3.1	動的 AP 選択 [22]	22
3.2	Throughput Performance of RSS[5]	23
3.3	Throughput Performance of MLT[5]	24
3.4	Total Throughput Performance[5]	25
3.5	Throughput Before and After AP Breakdown[5]	25
3.6	Throughput 10 STAs Arriving at a same time[5]	26
3.7	Station assignment (a) Asynmmetry (b) Symmetry[11]	27
3.8	Initial channel autoselection, for a band of 14 channels[11]	28
3.9	Procedure at the join decision level[11]	28
4.1	IEEE802.11 フレーム拡張例	36
5.1	実装の詳細と動作	43
5.2	実装の環境	44

第1章 序論

1.1 研究の背景

インターネット技術や半導体技術の進展とともに，大学や企業のみならず一般家庭においてもパーソナルコンピュータの導入が普及した．この傾向は，ブロードバンドインターネット環境の整備と浸透とともに，急速に加速され，現在では，我が国は，世界でも最先端のインターネット環境を安価なコストですべての国民が享受できるようになった．一方，半導体技術や関連するハードウェア/ソフトウェア技術の発展により，情報通信機器は急速に可搬あるいは携帯可能なものにした．その結果，もはや，エンドユーザが利用する情報通信機器の主流は，持ち運び可能なノート型パーソナルコンピュータ，PDA やパーソナルコンピューティング機能を持つ携帯電話となった．また，無線通信技術の発展は，エンドユーザが所有する情報機器のネットワークへの接続形態に大きな変革をもたらした．高速で常時接続なブロードバンドインターネットが広く一般家庭までに普及し，軽量化や縮小化をたどるパーソナルコンピュータにも後押しされ，WiFi に代表される無線 LAN システムは大学や企業等の大きな組織にとどまらず，いまや家庭にも一般的に導入されるようになった．さらに，最近では駅構内やカフェ等の公共の場でも一般的な通信サービスとして提供されるようになりつつある．

無線 LAN と呼ばれる無線通信技術の国際標準規格は，The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.(IEEE) の 802 委員会により策定された，IEEE802.11[9] の普及により推進された．IEEE802.11 は，無線利用に関する免許取得が不要なアンライセンスト周波数帯を利用しており，誰もが自由に電波を送受信する機器を設置運用することを可能にした．しかも，全世界でほぼ，共通の周波数帯の利用が可能となったため，機器コストの削減と，機器のポータビリティを容易に実現するに成功した．

無線インターフェースを持つユーザ情報通信機器をインターネットやイントラネットに接続するために，無線アクセスポイントの設置が進行した．上述の通り，無線アクセスポイントの設置も，電波利用に関する免許を必要としないため，一般ユーザが自由にその設置を行った．その結果，一つの物理空間に複数の無線アクセスポイントが設置され，複数の無線ネットワークセグメントが同時に存在するような環境が頻繁に観測されるようになった．それぞれの無線ネットワークセグメントは，通常特定のネットワーク運用者に属しており，それぞれ，異なる運用ポリシーでサービスを提供している．ユーザは，複数のアクセスポイントからの電波を受信している時に，アクセスポイントを選択する基準となる情報を，ほとんど持たない場合が，一般的である．ユーザが複数の ESS に接続する権限を持つ可能性も高まったが，現在は複数 ESS 間から適切な ESS を選択するための明確な基準や情報提供が行われていない．通常は，電波強

度，無線 LAN の動作モード，アクセスポイントの ESSID 情報をもとに，ユーザが手動でアクセスポイントを選択している状態である．また，従来は無線アクセスポイントの密集度が低く，電波強度のみの選択基準で十分に妥当であったので，ESS を 1 つ選択すると電波強度の最も高い AP が自動的に選択されていた．しかし，単位面積あたりの無線アクセスポイントの個数が多い場所においては，電波強度の最も高いものを選択した場合でも，必ずしも適切なアクセスポイントを選択していない場合が，しばしば観測されるようになってきた．

既存の研究は，単に，複数のアクセスポイントを用いた高速データ通信の手法や，複数のアクセスポイントを用いた並列データ転送における最適負荷分散手法の研究などがほとんどであり，実システムにおいて実際に有効な，無線アクセスポイントの選択手法に関する研究は，ほとんど行われていなかった．

本研究では，複数 ESS 間での ESS の選択基準と，単一 ESS 内の AP の選択基準に新たな項目を付け加えることにより，実ネットワーク環境において有効な無線アクセスポイントの選択手法の提案を行っている．無線アクセスポイントの選択は，電波の状況よりも，むしろ，無線アクセスポイントを介したデータ通信能力によって選択した方が，きわめて有効である．我々は，複数の利用可能な無線アクセスポイントが存在しても，多くのアクセスポイントはそのユーザには利用権限のないものであったり，インターネットへの接続性を提供しないアクセスポイントである場合であったりすることを，頻繁に経験している．そこで，本研究では，各 BSS (AP) について，無線アクセスポイントの CPU の負荷率，アクセスポイントを利用しているクライアントノードの数，ゲートウェイルータへの到達性の有無，特定のプロトコルのサポート能力，あるいはグローバル IP アドレスの提供能力など，無線リンク以外の，ネットワーク接続に必要なとなる情報の提供を，クライアントノードに提供することを提案している．

提案方法の具体的な実装には Linux システムを用いた．IEEE802.11 のフレーム拡張を利用し，任意のネットワーク情報を，ネットワーク側からクライアントノードに提供可能にすることに成功した．その結果，従来の無線アクセスポイントの選択手法よりも，実ネットワーク環境でより有効な選択を行うことができることを確認することができた．

1.2 本論文の構成

以下に，本論文の構成を示す．第2章では 802.11 無線 LAN 技術の概要を解説し，無線アクセスポイントの選択に関する運用上ならびに技術上の問題点を整理する．第3章では無線アクセスポイントの選択手法に関する既存研究を概観する．第4章では本研究で提案する無線アクセスポイントの選択手法の提案を行う．第5章では提案手法の具体的な実装環境と実装内容の詳細を述べる．第6章にて実装システムの結果を示すとともに，今後の課題に関する考察を行う．最後に，第7章で本研究のまとめを行う．

第2章 ワイヤレスアクセスポイント選択の課題

2.1 ワイヤレスアクセスポイントへの接続の現状

本節ではワイヤレスアクセスポイント選択の問題を提起するが，その前に本稿で議論する際に必要になる用語の確認や，ワイヤレスアクセスポイントへ接続する手順をプロトコルと実装例の両方について述べる．ワイヤレスアクセスポイントへ接続する手順を現状を鑑みて分析し問題を提起する．

2.1.1 IEEE802.11 で使用される諸用語の整理

まず IEEE802.11[9] にて定義されている用語とワイヤレスアクセスポイントへの接続手順を説明するために必要な用語を確認する．

STA Station の略．Wireless network interface を持ち通信とするデバイスまたは PC．主にラップトップ PC のような電池を持ち駆動するものだが，かならずしも小さなデバイスを差すわけではない．

AP Access point の略．IEEE802.11 上の frame は他と通信するために他のフレーム，例えば Ethernet frame に返還されなければならない．Access point は wireless から wired へのブリッジングを行う．

BSS Basic Service Set の略．IEEE802.11 のネットワークの最小セットのこと．

Infrastructure BSS 一つの Access point と一つ以上の Station で構成されるネットワークのセット．AP から電波が届く範囲で通信が可能．AP が Infrastructure BSS の用途で使われる場合に，それを Infrastructure mode と言い Adhoc mode と区別して使われる．本研究では Adhoc mode は扱わない．

ESS Extended Service Set の略．Infrastructure BSS では一つの AP の電波の届く範囲に限界があるため，大きな範囲を複数の AP とする目的で作られた．複数の AP のバックボーンを共有させて，それぞれの AP の BSS をつなげた Service Set のこと．図 2.1 に BSS と ESS の関係を示す．

BSSID Basic Service Set Identifier の略．BSS 毎に固有な ID で，Infrastructure mode では AP の MAC アドレスが使われる．

ESSID Extended Service Set Identifier の略．ESS に属している全ての BSS に共通して振られるネットワークの名称．

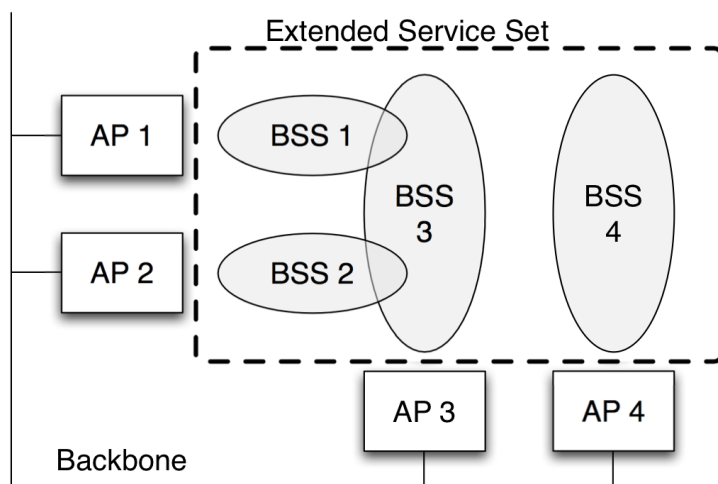


図 2.1: Extended Service Set (ESS)

次に一つの AP と一つの STA 間でどのような手続きを経て接続を確立するかを説明する．AP と STA の関係を記述するのに Network Service を説明する必要がある．ここでは9つある service のうち本論文で説明の必要がある5つを特に取り上げる．[6]

Distribution この service は infrastructure mode のネットワークでデータ送信に必要なサービスで，AP に frame が受信されると destination に frame を配送する目的で使われる．

Association STA は AP に登録することを言う．また，状態になることを Associate すると呼ぶ，ことによって STA に frame を配送することができるようになる．登録された情報を用いて STA はどの AP と Distribution service を用いて通信するか判断できる．Association されていない STA はさながらネットワーク上に存在されていないように扱われる．

Reassociation STA が一つの ESS 内において，ある BSS の service area から異なる BSS の service area へ移動するときに，STA は信号強度 (Signal strength) を測定してより強い AP(BSS) につなぎ直す方が適当な場合がある．Reassociation は STA が BSS 毎の信号強度を比較して，より信号強度の良い AP に Association するのが適当だと判断した場合行われる．これは STA が行う service で AP から行われるものではない．

Diassociation Association している STA がその通信を停止する際の正式な手続きを行う service . MAC layer は Diassociation を期待しないようにできているので, STA が必ず実行しなくてはならないというものではない .

Authentication IEEE802.11 は LAN と同じ程度のセキュリティを確保することを目標としているが, 物理的な手法でのアクセスを制限できる LAN とは異なり, IEEE802.11 では誰でもアクセスできる電波を使用しているので LAN とは異なるアクセス制限が必要である . IEEE802.11 では Authentication という service を Association する前に必要な手順としている .

Deauthentication 認証された STA と AP との関係を破棄するための service . Association するには Authentication が必要なので, 当然の帰結として Association が破棄される .

特に Reassociation の項に記述されているように,

- ある ESS 内に複数の BSS が存在する場合, ESS の中から信号強度の最も強い BSS に STA は接続する

という特徴がある . 信号強度は Throughput に大きく影響するパラメータのため IEEE802.11 ではこのような基準が設けられている .

2.1.2 IEEE802.11 の Frame の種類と State による分類

IEEE802.11 の Frame に Data Frame と Control Frame と Management Frame の 3 種類がある . それぞれ異なる役割を持ち, STA および AP の Association と Authentication の state により使用されるものも違う .

図 2.2 に IEEE802.11[9] の Data Frame と Management Frame のフォーマットを示す .

Data Frame この frame は図 2.2 の Frame body に L3 レイヤ以上のプロトコルのデータを保持し, 主に Frame body 内のデータを送受信する目的で使用される . 但し, Data Frame の Address field 中の値は用途により変わるが, ここでは触れない .

Control Frame Control Frame は Data Frame の配送を補助する役割を果たし, RTS (Request to Send) や CTS (Clear to Send) のように送受信を管理する . また, MAC レイヤの信頼性を保証する ACK (Acknowledgment) frame も扱う .

Management Frame 2.1.1 で説明したように, 無線は通信の範囲内ならば誰でもアクセスできる可能性があるため, それを有線並みの安全度に補完するためにこの Frame は存在している . 無線を発見する機能, 無線への接続を認証する機能 (Authentication) と無線への接続を確立する機能 (Association) を Management frame が管理する .

本研究では Management Frame を特に扱うので, Management Frame の種類を取り上げ, 説明する .

Beacon Infrastructure mode では AP が定期的に Beacon を送信し，BSS の存在を広告する．

Beacon は Beacon interval という AP が設定可能で通常 100 ms に設定される．STA は Beacon を受信出来ないと，BSS を発見出来ないのので，BSS の範囲とは Beacon が届く範囲と定義できる．Beacon には広告するのに最低限必要なパラメータの他にいろいろな情報を受け渡せる．IEEE802.11i のような拡張された規格で 사용되는ことがある．

Probe Request STA が AP を scan する際に用いる frame．SSID と STA がサポートしている周波数を入れる必要があり，この frame を受け取った AP は Probe Response を返す．ドライバによっては SSID に Broadcast Address (FF:FF:FF:FF:FF:FF) を入れることもできる．

Probe Response Probe Request を受け取った AP はその field の値が通信可能な適正値だと判断すると，Probe Response を Probe Request を送信した先に返す．

Authentication STA が BSS を発見した後，STA は AP に認証されないと接続出来ない．その管理のために交換する frame で共有鍵が用いられるが，拡張されたよりセキュリティの強固な方法を代わりに使うことも可能である．

(Re) association Request AP に Authentication された AP が次に AP との通信を確立するために送る frame．Reassociation Request は，STA が同じ ESS 間の異なる BSS に接続する際に送られる．

(Re) association Response STA より (Re) association Request を受けた AP は STA に (Re) association Response を送ることで，STA との接続を確立する．それぞれの STA に固有の Association ID が振られるが，それは実装依存である．

Deauthentication and Diassociation Deauthentication frame は STA もしくは AP との Authentication を解消するため，Diassociation は STA もしくは AP との Association を解消するために送られ，それぞれ解消の理由を Reason code に示す．

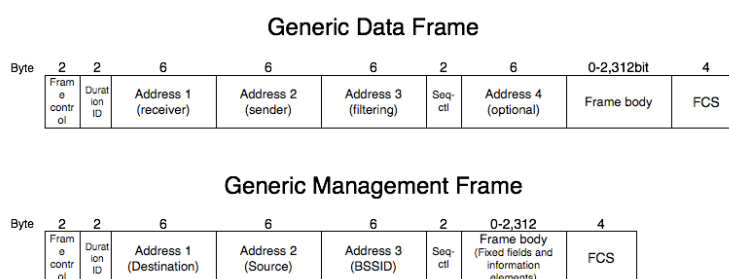


図 2.2: Frame Format

Management frame を Class1，2 と 3 に分けるとすると，

Class 1 frames Beacon, Probe Request / Response, Authentication / Deauthentication

Class 2 frames Association Request / Response, Reassociation Request / Response, Disassociation

Class 3 frames Deauthentication

となる。

図 2.3 にそれぞれの State に対して、どの Class の frame が使用されるかを示す。State1 (Unauthenticated and unassociated) の場合は、Class1 の frame が交わされ、authentication が成功すると State2 (Authenticated and unassociated) に移行する。State2 で (Re) association が成功すると State3 (Authenticated and associated) に移行する。State2 で Deauthentication すると State1 に移行する。State3 に到達すると Data frame を介して上位レイヤのプロトコルを使用することが可能になる。また State3 からは Disassociation によって State2 に、Deauthentication によって State1 に移行する。

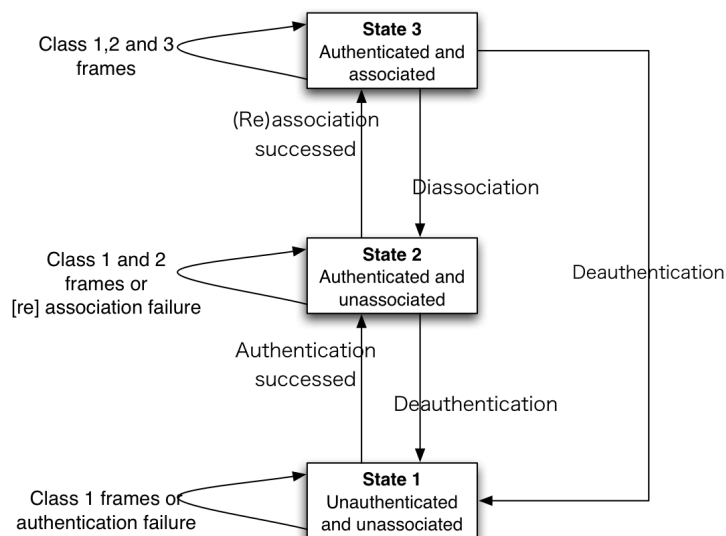


図 2.3: Frame State

2.1.3 ワイヤレスアクセスポイントに接続する手順

ここではワイヤレスアクセスポイントに接続する手順のうち，Frame レベルでの Scanning の処理の流れとユーザがワイヤレスアクセスポイントを選択する一般的な手順の説明をする．Scanning とは，STA が通信可能な AP を探すための処理で Active Scanning と Passive Scanning の2種類がある．

802.1 では LAN に参加するには，例えば LAN ケーブルをコネクタに物理的に接続するだけである．しかし，無線ではまず参加出来るネットワークがあるかを探さなくてはならない．

図 2.4 に Passive Scanning の例を示す．

Passive Scanning とは STA が自ら frame を出すこと無く消極的に存在するネットワークを探すことを言う．STA は Channel を変えて一定時間待ち，そこで Beacon を収集して情報を記録する．記録された情報を保持したまま次の Channel に移る．Passive であることの利点は自ら frame を出さないで消費電力を押さえられることにある．

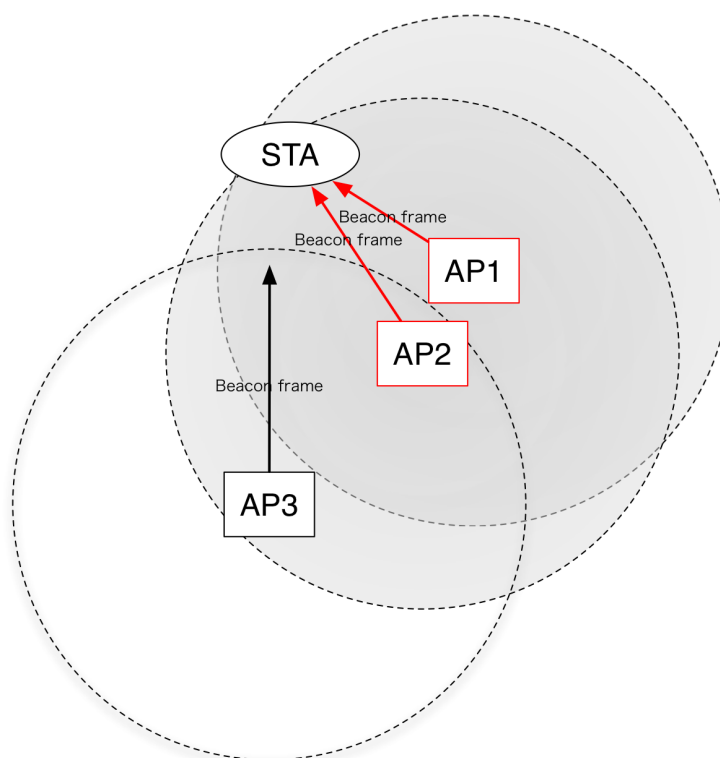


図 2.4: Passive Scanning

次に Active Scanning の動作を説明する．

まず, STA は現在いる Channel で ProbeDelay という決まった時間待機する. そこで Frame が受信されなければ次の Channel に飛ぶ. Frame が受信された場合は Probe Request を送り, MinChannelTime という定数時間 Probe Response を待ち, 受信出来ても時間内に出来なくても次の Channel に移行する.

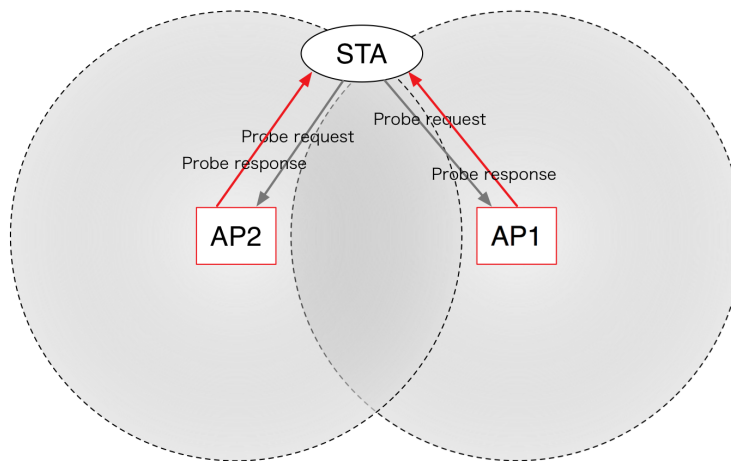


図 2.5: Active Scanning

2.1.4 無線 LAN クライアントの実装紹介と比較

実装されている無線 LAN クライアントは 802.11[9] の標準に準拠しているのは前提だが、無線 LAN クライアントを提供している各種 OS や市販のインターフェースは、それに多少機能が追加されている。ここでは、Windows XP, Mac OSX と Linux に実装されている無線 LAN 接続クライアントの紹介をし、それぞれのクライアントが提供している付加的な機能の分析を行う。

図 2.6 で Windows XP に標準で搭載される無線 LAN クライアントを紹介する。この実装では、電波が受信可能な範囲内にある ESS の ESSID 毎に、WEP もしくは WPA での暗号化が設定されているかの有無を”鍵”マークで示し、電波強度を五本の棒にて表現している。

図 2.7 には Windows XP の無線 LAN クライアントの詳細設定の画面である。ここでは”優先ネットワーク”という項目に ESSID と WEP の共有鍵等をペアにして保存し、そのペアに順位を付ける。具体的には優先ネットワークの項目の上にあるほど優先度が高くなる。

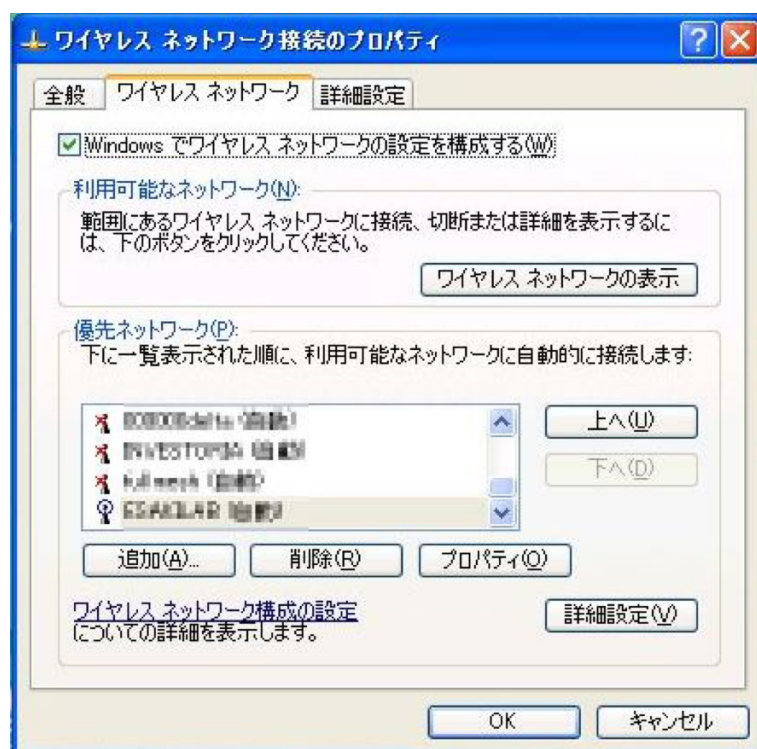
Association が可能な ESS が複数ある時に、ユーザの設定した優先度の高さによって、どの ESS に接続するか自動的に決める機構がある。



図 2.6: Windows XP で標準で実装されている無線 LAN 接続クライアント

図 2.8 は Lenovo 社 [3] から提供されている ThinkPad 用の無線 LAN クライアントである。x 軸を信号強度にして、Scanning の結果発見された AP を信号強度の大きい順に上から並べている。この実装では視覚的に複数の ESSID が信号強度別にソートされているのが Windows XP で標準に提供されているクライアントとの大きな違いである。

図 2.9 には図 2.8 の左下の”詳細表示”のチェックボックスを押した際に表示される表である。



ネットワーク名は ESSID に対応し、2 つ目の行の信号強度の順で表示された表で、さらに暗号化の有無、ワイヤレスのモード (IEEE802.11a, IEEE802.11b, IEEE802.11g)、Channel と MAC アドレス (BSSID) が表示されている。

また、Windows XP に標準で提供されているクライアントと同じように優先度を決めて自動的に優先度リストの上位にある ESSID と接続する機構も実装されている。

Windows XP に標準で提供されているクライアントとの大きな違いは、ESSID が同じでも異なる AP (BSS) がある場合にはそれも表示されるという点にある。

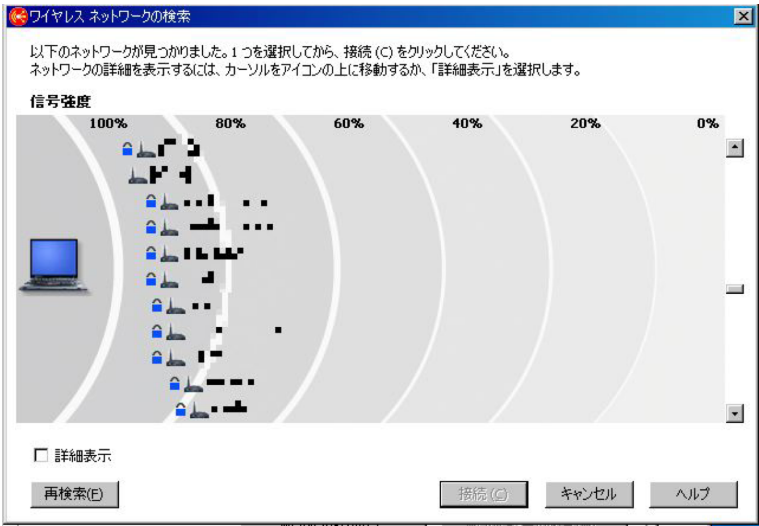


図 2.8: Windows XP 上で動作する Lenovo 社の無線 LAN 接続クライアント



図 2.9: Windows XP 上で動作する Lenovo 社の無線 LAN 接続クライアントの詳細図

Mac OSX(10.4)[7] に実装されている無線 LAN クライアントは Windows XP に実装されているものとほぼ同様で、図 2.10 のようになっている。

優先度リストを入力する機能が実装されていて、ESSID を選択することが可能である。

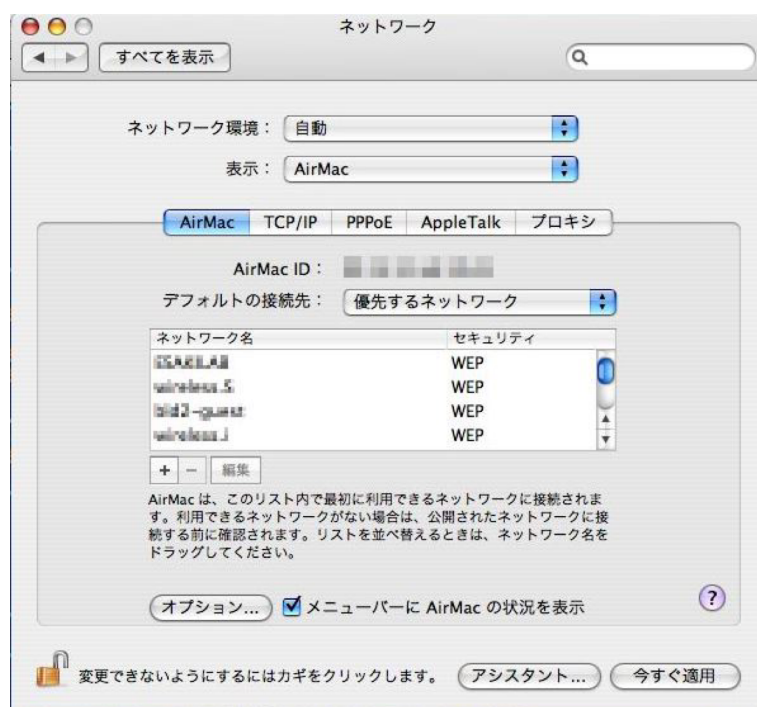


図 2.10: Mac OSX 上で動作する無線 LAN クライアント

最後に Linux での実装で Wireless Tools for Linux[19] の iwconfig というクライアントを紹介する。

iwconfig では下記のように interface 名を指定した後、引数に各種値をセットすることで STA がどのような AP を選ぶか選択出来る。

```
#iwconfig interface [essid X] [nwid N] [mode M] [freq F]
                    [channel C] [sens S ] [ap A ] [nick NN ]
                    [rate R] [rts RT] [frag FT] [txpower T]
                    [enc E] [key K] [power P] [retry R]
                    [commit]
```

ここでは特に関係のある引数について説明する。

essid ESSID を設定出来る。Any と設定するとどれか Association 可能なものを自動的に選ぶ。

mode IEEE802.11a, IEEE802.11b, IEEE802.11g などの mode の設定 .

channel Channel を明示的に指定出来る .

ap AP の BSSID を MAC アドレス の形式で指定出来る . Any と設定するとどれでも

rate どの bit rate で送受信するか設定可能 .

power STA の電波送信強度を設定出来る .

key WEP key .

CUI ではあるが , 他の実装との明確な違いは BSS を直接指定可能なところや電波送信強度や bit rate を指定出来るという点にある . 他の実装に比べ指定出来る値が多い分 , 間違えると接続ができない点が不便である .

しかし , 基本的には ESSID と key の組み合わせが合っていれば問題なく Association が可能である .

本研究では Linux にて Atheros のドライバ [14] を使って実装を行ったが , Atheros のドライバには wlanconfig という tool がついている . この説明は 5 章に譲る .

いずれの実装でもユーザは ESSID を選び , 当該 ESSID のうちで電波強度の一番強い AP を選択するように出来ている .

2.2 ワイヤレスアクセスポイントの選択における問題

現在 , ワイヤレスアクセスポイントは企業や大学等の組織だけでなく一般家庭へも広く普及し , さらに駅や繁華街などに公共のサービスとして提供され , 喫茶店やファーストフードショップでも利用できるようになった .

このような環境の変化がもたらしたのは , 例えば , ある場所にてユーザ A は ESSID: wireless.a と ESSID: wireless.b という 2 つの ESS に接続することができる状況や , 特定の場所ではある ESSID: wireless.a を広告するワイヤレスアクセスポイント (BSS) の数が 2 つ以上ある状況である .

この状況を整理すると ,

- ユーザが複数の ESS に接続する権限を持ちはじめた
- 特定の場所では AP の単位面積あたり個数が増えた

ということである .

IEEE802.11[9] や前節 2.1.4 であげた実装が , 複雑化をたどる無線をとりまく環境に対応しきれていないと考えられる . そこで , 具体的な問題例をあげた後 , それらを分析する .

- 複数ある ESS のうちの ESS を選択するか

図 2.11 のように AP1, AP2 と AP3 とそれぞれ 3 つのアクセスポイントがあり, AP1 と AP2 は ESSID が wireless.a で, AP3 は ESSID が wireless.b だとする. STA はどちらの ESS の範囲内にもいるうえに, wireless.a と wireless.b のどちらにも接続する権限 (つまり key を) 持っているとする.

一般的には以下のような順に BSS に Associate する.

1. STA の無線インタフェース up
2. STA が Passive scanning により Beacon frame から各 BSS 毎の情報を得る
3. STA (ユーザ) が ESSID を選択
4. STA は ESS のうち信号強度の最も強い BSS と Authentication をし, Association を行う

STA (ユーザ) は ESSID を選択しているが, 果たしてユーザはどのような判断基準をもって ESSID を選択するのだろうか.

現在は wireless.a と wireless.b を区別する明確な基準は無く, 前節 2.1.4 で挙げた実装でも優先度リスト以外に正確な基準はない. さらに優先度リストは固定された設定かつユーザが設定したもので, 状況に応じて動的に ESS を選択出来ない. 強いて選択基準を挙げるならば, ESS 間の電波強度の違い, IEEE802.11a/b/g などの mode や現在 AP が使用またはサポートしている Bit rate などである.

- 1 つの ESS に複数 BSS があるとき, どの BSS を選択するか

STA が 1 つの ESSID を選択した場合, 1 つの ESS にしか発見出来ない場合や複数の ESS が発見されても 1 つの ESS にしか接続する権限が無い場合を仮定する.

図 2.12 のように 2F と 1F にそれぞれ AP1 と AP2 が設置されている. AP1 と AP2 は ESS: wireless.a に属しているものとする. STA からは AP2 の電波強度が AP1 の電波強度より強く測定されているものとする.

IEEE802.11[9] では ESS を指定すると電波強度のより強い方に自動的に接続される. また, 前節 2.1.4 で取り上げた各種の実装紹介に置いても, Wireless Tools for Linux[19] や ThinkVantage[3] 以外の実装では, 電波強度のより弱い BSS を明示的に指定することは出来ない. さらに Wireless Tools for Linux[19] や ThinkVantage[3] に関しても, ESSID が同じならば mode や Bit rate は同じため電波強度しか選択基準が無く, 電波強度が一番高いものを選択するのが妥当である.

ところが, ある特殊な状況に関しては電波強度の最も高いものを選択するのが不適切と言

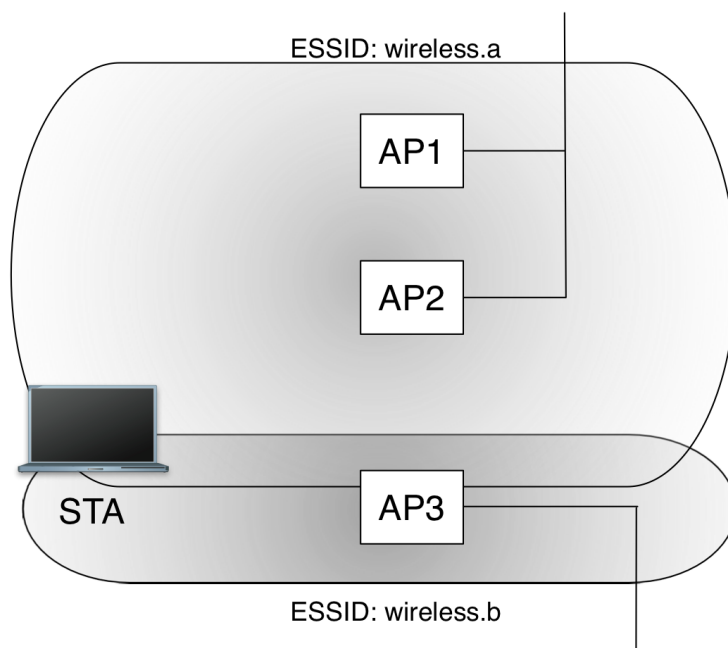


図 2.11: 問題：異なる ESS のうち、どの ESS を選択するか

える．例えば，図 2.12 で，1F の AP2 から 1F の Floor switch への Layer2 のリンクがダウンしている場合については，gateway への到達性が失われているのにも関わらず STA は依然として AP2 を選択する．L2 のリンクがダウンしているので当然の帰結として，AP2 に Associate しても STA は gateway を介した通信を行うことができない．

上記の 2 例の問題を抽象化すると，

- 異なる ESS の中からどの ESS を選択するかという基準が無線のリンクの性質のみである
- 同じ ESS の中からどの BSS を選択するかという基準が電波強度以外に無い

ということになる．

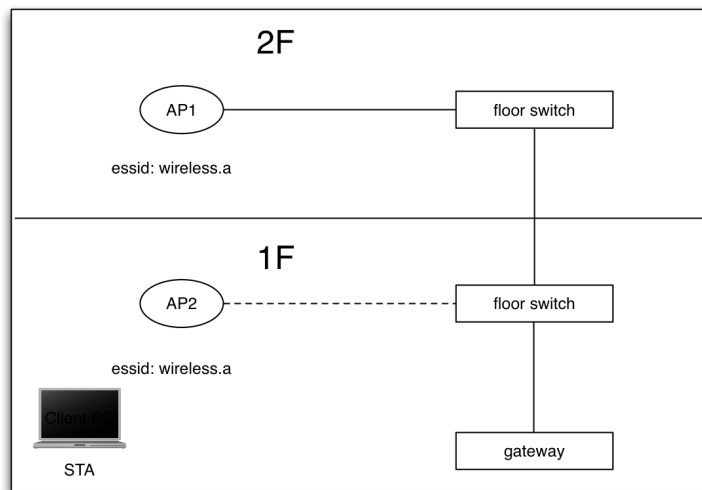


図 2.12: 問題：1 つの ESS に複数 BSS があるとき，どの BSS を選択するか

2.3 本研究の目的

本研究では 2.2 で提起した 2 点の問題，異なる ESS の中からどの ESS を選択するかという問題と，同じ ESS の中からどの BSS を選択するかという問題に対して，STA に新たな選択基準を提供することで解決を図ることを目的とする。

3 章ではワイヤレスアクセスポイントの選択問題を取り扱っている関連研究を紹介し，4 章にてワイヤレスアクセスポイントの選択問題への解を提案する。

第3章 関連研究

3.1 ワイヤレスアクセスポイント選択問題に関する研究

既存の無線 LAN では STA は受信電波強度のみを指標として接続先の AP を決定している。しかしこの AP 選択の方法では特定の AP に STA が集中し、STA が良好な電波状況より高い Throughput を期待してその AP に接続しても、STA 1 台あたりの Throughput は低下してしまう。その結果、無線 LAN 資源の利用の非効率と不公平を生む。[1][17][18][8][2]

そのような現状に対して様々な AP 選択戦略が提示されている。特に STA 自身が無線 LAN 網から得られる情報をもとに、STA 自らの Throughput を向上させる戦略に関する研究があり、そこで提示された MLT というアルゴリズムの評価がなされた。[22][5][21] これらの研究はシミュレータを用いて提案手法を評価している。これらの研究は戦略を持って AP を選択することが Throughput の向上をもたらしたことを示した。

また、MLT を実装した研究もあり、そこでは IEEE802.11 の Beacon frame と Probe Response に拡張がなされた。[20]

Throughput の向上と無線 LAN 資源の公平な分配を目的として HRFA (High-Rate First Association) が提案されている。[15] QoS を目的とした IEEE802.11e[10] への適用も可能である。この手法は QBSS load element を使用しているので IEEE802.11 および IEEE802.11e への変更は必要ない手法である。

STA のみならず AP への変更も行うことで、さらに AP の起動時の Channel の自動選択も実現した研究も存在する。[11]

また、IEEE802.11 への変更を行うことなく Throughput の向上を実現した研究もある。[13] この手法は RSSI を観測し、現在の無線リンクの状態に応じて Transmission rate を調節することで Throughput の向上を実現した。

これらの関連研究は主に Local な Throughput の向上を図る AP 選択戦略であり、実測することの難しさからほとんどがシミュレータを用いて評価されている。つまり、

- STA の AP 選択戦略を変更することにより、Throughput の向上を目的とする
- STA の AP 選択戦略を変更することにより、無線 LAN 資源の公平な分配を目的とする

の2点に注目している。

これらは同一 ESS 内の BSS 選択方法であり、本研究で定義した AP 選択問題は ESS 自体を選択することをサービス点で異なる。また、Throughput のみが重要な指標でないことも、次章で示す。

これらの研究のうち、特に A study on dynamic load balance for IEEE 802.11b wireless LAN については3.4について詳細を説明する。また、Decentralized Access Point Selection for Wireless LANs については3.2に、その関連研究である Decentralized Access Point Selection for Wireless LANs -Deployability and Robustness については3.3にて説明する。

3.2 Decentralized Access Point Selection for Wireless LANs[22]

この研究では、最も RSSI の高い AP に接続する現状に対して Decentralized Access Point Selection を提案することで、複数の AP により提供される効率的かつ公平な無線 LAN 資源の共有を目指している。まず、この研究で提案される AP 選択アルゴリズムの概要、詳細を説明する。その後、この論文で示されているシミュレーションの結果を紹介する。

3.2.1 AP 選択アルゴリズム概要

この研究は AP 選択スキームが2種類紹介されている。1つ目は one-time selection 機構で、AP を選択するアルゴリズムを実行するのが一度であり、2つ目は動的 AP 選択機構で、無線のリンクの状態により接続する AP を変化させるものである。

AP を選択するアルゴリズムには目的に応じていろいろなものが考えられる。この研究では2つのアルゴリズムを提案している。

通常の AP 選択は RSSI が最大のものを選択するアルゴリズムが採用されているが、それはより高速な転送効率を得ることを考えて提供された。しかし、AP は地理的に近距離に配置されることが大きく、それにより特定の AP に負荷が集中することが考えられる。その負荷の集中は全体の Throughput の低下を招く。

この研究では2つのアルゴリズムが提案されている。1つ目は AP の RSSI に加え、AP に Associate されている STA の数を考慮に入れて選択する方法である。期待出来る Throughput を最大にするのが目的である。2つ目は単一の STA での Throughput の最適化でなくて、全体の Throughput の向上を目的としたものである。

以下に2つのアルゴリズムの詳細を示す。

3.2.2 AP 選択アルゴリズム : Maximizing Local Throughput (MLT)

それぞれの STA は最初に各 AP について期待出来る Throughput を予想する．そして，予想される Throughput の中で最大の AP を選択する．これは当該 STA での Throughput の最大化を目指すものであり，MLT と呼ぶ．

t_T は Data [bits] を送信するのにかかる時間を意味し，式 3.1 のように与えられる．

$$t_T = RTS + CTS + \frac{Data(bits)}{Rate(b/s)} + ACK + DIFS + 3SIFS \quad (3.1)$$

無線リンクの状態を反映させる値を P : パケット損失率 (PER) とする． T_w をパケットを損失無く送受信する際にかかる平均時間とし，それは式 3.2 のように与えられる．

$$T_w = t_T + \sum_{i=1}^{\infty} P^i \cdot (1 - P) \cdot i \cdot t_T = \frac{t_T}{1 - P} \quad (3.2)$$

N 個の STA が存在し，それらでの frame の衝突が発生しない理想的な状況を想定すると，AP は無線の資源を平等に共有出来る．その場合には，Throughput θ は式 3.3 で与えられる．

$$\theta = \frac{Data}{T_w} = \frac{Data \cdot (1 - P)}{t_T \cdot N} \quad (3.3)$$

全ての AP について Packet size が同じならば， W_{MLT} は式 3.4 のように表すことができる．

$$W_{MLT} = \frac{1 - P}{N} \quad (3.4)$$

式 3.4 の P で表される PER は，受信電波強度から求めることができる． N はその AP と接続して通信を行っている STA の数を示している．この N を各 STA へ通知するため，AP は Probe Response および Beacon frame に接続 STA 数情報を追加する必要がある．STA は式 3.4 を重み関数とし，この重み関数が最大となる AP を選択する．このようにして各 STA は自信のスループットを最大にするように AP を選択する．

3.2.3 AP 選択アルゴリズム : Avoiding APs with Larger PER (AALP)

AP 選択アルゴリズム : MLT ではそれぞれの STA は自らの Throughput を最大化することを目的としていた．しかし，無線 LAN の資源を平等に分配するという観点からは適したアルゴリズムではない．そこで，他の STA ，特に最小の Throughput の STA を考慮し，自らの Throughput にさほど影響を与えないアルゴリズムを提案する．このアルゴリズムは AALP と呼び，以下のような重み関数をもって選択する．

$$(if 0.5 \leq P_{max}) \quad W_{AALP} = (1/2\sqrt{2(1 - P_{max})} + 0.5) \cdot W_{MLT} \quad (3.5)$$

$$(if P_{max} \leq 0.5) \quad W_{AALP} = W_{MLT} \quad (3.6)$$

P_{max} はある 1 つの AP と通信をしている STA のうち最大の PER の値を指す．その AP は各 STA の RSSI から PER を得る． W_{MLT} は式 3.3 から計算される重み関数である．式 3.5 と式 3.6 は共に発見的手法により得られた．多くの異なる関数を候補に挙げ試したが， P_{max} の比較的小さい STA を含む AP を回避すると大きな Throughput の低下がみられた．それゆえ， P_{max} が小さい，例えば 0.5 より小さい場合には MLT を用いることにした．0.5 より大きな場合についても，式 3.5 にあるように， P_{max} の影響がすぎないように緩和することで得られる Throughput の著しい低下を防いでいる．つまり，得られる最高の Throughput と無線 LAN 資源の公平な分配のトレードオフとなるアルゴリズムである．

3.5 と 3.6 は未だ候補であり改善の余地がある．また， N と P_{max} を STA に提供するには，Probe Response と Beacon frame に実装する必要がある．

3.2.4 動的 AP 選択機構

各 STA は無線 LAN 網に参加する際，前述のアルゴリズムに従って AP を選択する．しかし，新たな STA の参加や無線環境の変化により，最初に選択した AP が最適な接続先ではなくなる可能性がある．提案されている AP 選択方式ではこの状況の変化に対応するために，動的 AP 選択機構により AP 選択アルゴリズムを定期的に行い，状況の変化に応じて最適な AP を再選択し，ローミングを行う．ここではその概要を図 3.1 を通して説明する．図 3.1 に示すように，提案した動的 AP 選択機構では，search，re-search，idle の 3 つの状態を遷移する．STA が新たな AP へとローミングするまでの状態の遷移を図中の数字と対応させて以下に示す．

1. STA は Search Interval 間隔で全 AP に対する重み関数を計算する．
2. 現在接続中の AP ではない，新たな AP_{new} の重み関数が一番大きくなった場合，STA は re-search 状態に遷移し，Backoff Time 後に再び全 AP に対して重み関数を計算する．この Backoff Time は $[0, 1]$ の間でランダムに選択される．
3. 再計算の結果，再び AP_{new} が最適な AP として選択された場合，STA は AP_{new} へとローミングを実行し，idle 状態へ遷移する．
4. 再計算の結果，現在接続中の AP が選択された場合，STA は search 状態に戻る．
5. 再計算の結果，別の新たな AP が最適な AP として選択された場合，STA は re-search 状態にとどまる．新たな AP を AP_{new} とし，STA は Backoff Time 後に再び全 AP に対して重み関数を計算する．Backoff Time は $[0, 1]$ の間でランダムに選択される．
6. 新たな AP_{new} へとローミングした STA は，ピンポン効果を防ぐため待った後に状態に戻る．

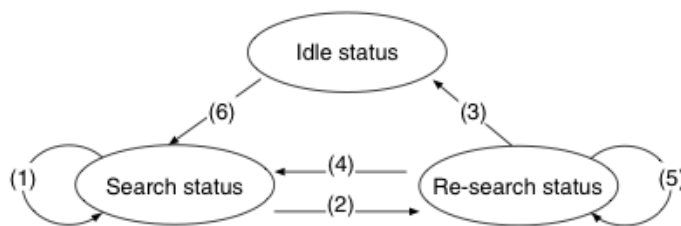


図 3.1: 動的 AP 選択 [22]

3.2.5 まとめ

シミュレーションの結果，one-time selection scheme では Throughput と無線 LAN 資源の両方にて顕著な向上が見られた．特に AP に接続されている STA の偏りが大きい場合については，6% ほどの Throughput の向上を示した．また，RSSI を唯一のメトリックとした場合についての，不公平性が非常に高いことが示され，それに対して MLT と AALP は Throughput の分散を顕著に小さくした．

動的 AP 選択機構では，関係する管理上の追加コストに注目した．そこで過渡状態と安定状態の2つの状態に分け，ローミングの回数において MLT は AALP よりも優れていることが分かった．また，このシミュレーションでは MLT の AP の探索インターバルが 3 sec であることが分かった．安定状態では最小と最大 Throughput の向上に大きく寄与することが分かった．また，MLT と AALP について Throughput の差はさほどないことが判明した．

そのため，実装の平易さから MLT の方が AALP よりも推奨出来ると結論づけている．

3.3 Decentralized Access Point Selection for Wireless LANs -Deployability and Robustness[5]

この論文は Decentralized Access Point Selection for Wireless LANs に続く論文で，特に MLT の Deployability と Robustness についての評価を行っている．

3.3.1 Deployability

前節にて紹介した MLT が実装された STA と実装されていない STA ，つまり RSSI のみを指標とする AP 選択機構を持つ STA が混在した環境において，どのような Performance を見せるのかを扱っている．

前節にて紹介したように，この研究でもシミュレータを用いて実験している．

図 3.2 は RSS を AP 選択の基準とする STA の Throughput の結果である．x 軸に MLT が実装されている STA の数の割合を示し，右に行く程その割合が高くなる．y 軸は Throughput (Kb/s) を示している．

図 3.2 からは，MLT が実装されている STA が増えるにつれて，最大 Throughput の低下が見られる．これは通信の非効率化を意味するのではなく，一部の STA の無線 LAN 資源の独占が減ったことを意味する．また，平均 Throughput の向上が見られる．

図 3.3 は MLT が実装されている STA の Throughput の結果である．x 軸に MLT が実装されている STA の数の割合を示し，右に行く程その割合が高くなる．y 軸は Throughput (Kb/s) を示している．

図 3.3 からは，図 3.2 と同様に最大 Throughput の低下が見られる．しかし，図 3.2 と比較すると，MLT が実装されている STA の最大 Throughput は低い．さらに MLT が実装された STA が少ない場合の平均 Throughput が高いことから，MLT が効率的に Throughput の向上を達成していることが分かる．

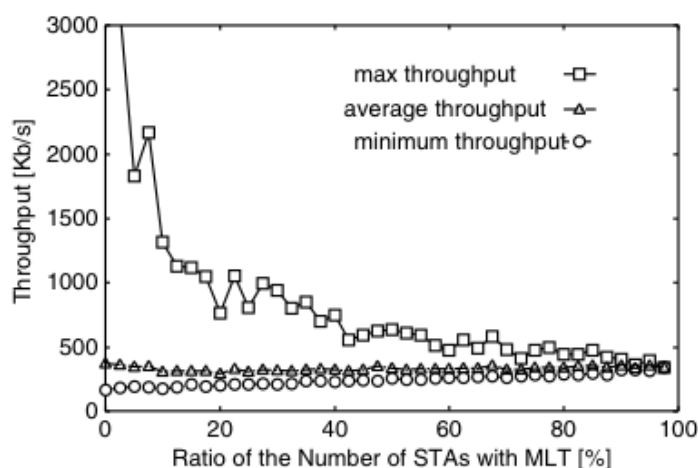


図 3.2: Throughput Performance of RSS[5]

図 3.4 は RSS のみを選択基準とする従来の STA と MLT を実装した STA の Throughput の和を示したものである．x 軸に MLT が実装されている STA の数の割合を示し，右に行く程その割合が高くなる．y 軸は Throughput (Kb/s) を示している．

図 3.4 において，MLT を実装した STA の増加に従い，最小 Throughput および平均 Throughput の増加が見られる．また，最大 Throughput が顕著に低下し，無線 LAN 資源の公平な分配が達成されている．

結局，MLT を実装した STA の既存 STA との混在は，全体の平均 Throughput のみならず，

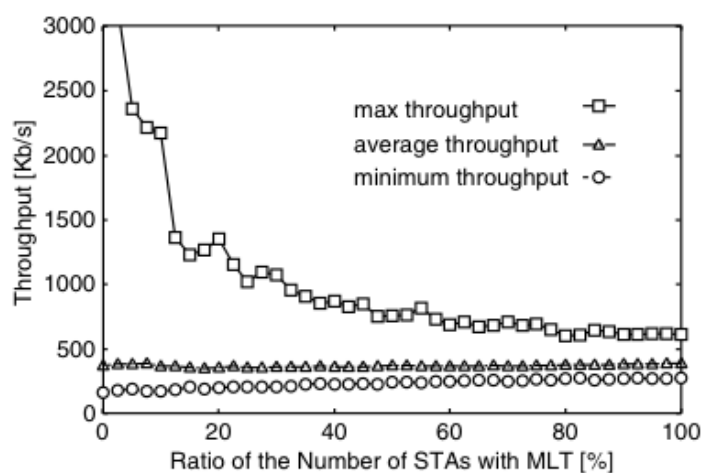


図 3.3: Throughput Performance of MLT[5]

既存 STA の平均 Throughput の向上を示す．また，最大 Throughput の顕著な低下，および最小 Throughput の増加から，無線 LAN 資源の公平な分配を達成している．MLT の導入による欠点は，一部の無線 LAN 資源を独占している STA の Throughput の低下にとどまる．

3.3.2 Robustness

Robustness は，ある AP がランダムに接続不可能になった場合と，10 個の STA が無線ネットワークにランダムに参入した場合について，実験がなされている．

表 3.5 は，RSS のみを AP 選択の基準とする従来 STA と MLT が実装された STA の，突然の AP の通信不可状態における Throughput を示している．ある AP での通信不可状態が発生すると，全体の AP 数が減るためにトラフィックの許容量の総和が減るため，最大，平均および最小 Throughput のいずれにおいても値の低下が見られる．

平均 Throughput に関しては特に従来 STA と MLT が実装された STA に差が見られない．最大 Throughput については，Before と After に関しても MLT が実装された STA の方がより高い値を維持し，特に最小 Throughput に注目すると，After に関しては MLT が実装された STA の方が，およそ 2 倍の Throughput を記録した．

この結果より，MLT を用いると，ある AP が通信不能な状態に陥った場合により，Throughput を期待出来る AP に Association したことが分かる．

次に，10 個の STA が同時にネットワークに参入した場合についての実験結果を紹介する．表 3.6 は，同時に 10 個の STA がネットワークに参加する前と後の，RSS を用いた AP 選択

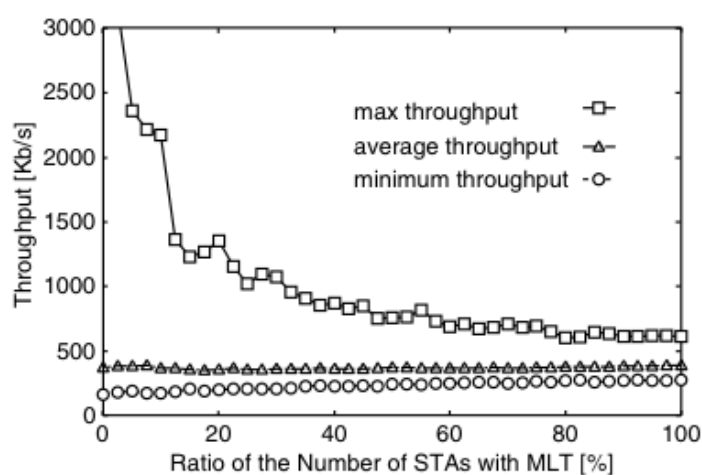


図 3.4: Total Throughput Performance[5]

Algorithm		Throughput		
		Max [Kb/s]	Avg. [Kb/s]	Min. [Kb/s]
RSS	Before	3591.01	369.954	161.740
	After	2409.95	239.921	68.753
MLT	Before	581.247	377.958	278.047
	After	391.053	234.932	135.853

図 3.5: Throughput Before and After AP Breakdown[5]

基準を搭載した STA と MLT を実装した STA のそれぞれの Throughput を示している。AP の数は変化せず、STA が増加しているので、STA がネットワークに参加した後は最大、平均および最小 Throughput のいずれにおいても低下した。

RSS のみの従来 STA と MLT を実装した STA については平均 Throughput の違いはほとんどない。最大 Throughput については RSS と MLT の両方について特に変化がなく、これは既に無線 LAN 資源を独占している STA については変化が無かったことを意味する。注目すべきは最小 Throughput で、STA の参加後の Throughput は MLT が RSS の約 2 倍となっている。これは、MLT が STA の参加後に AP を再選択し、Throughput を確保できたことを意味する。

Algorithm		Throughput		
		Max [Kb/s]	Avg. [Kb/s]	Min [Kb/s]
RSS	Before	3493.32	379.273	151.153
	After	3491.63	303.073	107.647
MLT	Before	614.833	379.133	273.12
	After	536.78	297.229	199.827

図 3.6: Throughput 10 STAs Arriving at a same time[5]

3.3.3 まとめ

MLT を実装した STA が RSS のみを選択基準とする従来の STA がいる環境に共存した時について、上記の2種類の観点から考察を行った。その結果、従来の STA の Throughput の低下を招くことなく共存できることが示された。さらに後者の Robustness に関しては、実際に起こりうる STA の参加される状況での MLT の振る舞いが、従来 STA と比較して優れていることを示した。新しく STA がネットワークに参加した時に、再探索することの利点は非常に大きいと考えられる。

3.4 A study on dynamic load balance for IEEE 802.11b wireless LAN[11]

3.4.1 Dynamic Load Balance Approach

多数のアクセスポイントからなる広大な無線 LAN のネットワークにおいて、従来の RSSI を最優先に BSS を選択する方法では特定のアクセスポイントへの部分的な負荷の不均衡が発生する。それは全体的なネットワークパフォーマンスの低下を招く。

負荷の不均衡については、図 3.7 にその様子を示す。図 3.7 の円は AP1, 2 と 3 の通信可能な領域を示している。図 3.7 (a) では、AP にはそれぞれ 7, 2 と 3 個の STA が接続されているが、これはそれぞれの AP に接続される数に不均衡がある。図 3.7 (b) ではそれぞれの AP に 4 個の STA が接続されており、よって不均衡は生じていない。

従来の RSSI を最優先に Association する BSS を選択する方法でなく、提案手法は Dynamic Load Balance Approach と呼び、部分的な負荷の不均衡を解決する。Dynamic Load Balance Approach では AP に Associate された STA の数と平均 RSSI という値を用いて AP を選択する。この提案手法では全体的なネットワークのパフォーマンスを向上させることを目的とする。このアルゴリズムは 3 つの Level に分けられる。

1. AP Channel Autoselection Level は AP に接続可能な Channel のうち最も配送効率の良いものを選択する。

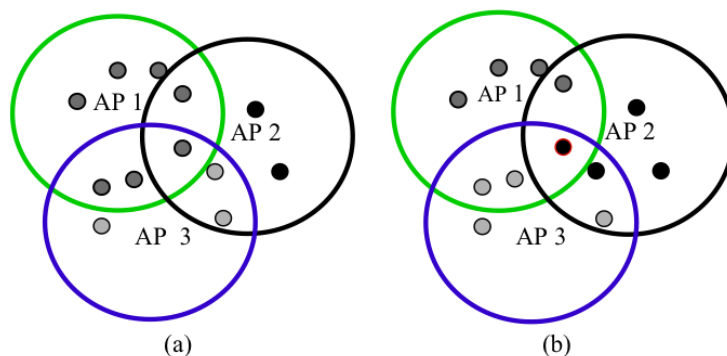


図 3.7: Station assignment (a) Asymmetry (b) Symmetry[11]

2. Station Join Decision Level は STA が AP をどのように選択するかを決定する。
3. Link Observation Level はいつ STA が AP からの接続をやめるか決定し，ローミングの機能も持つ。

[16][12][4] でも負荷分散の手法は提案されているが，それらと比較して実装も容易な方法をここでは提案する。

次にそれぞれの level での詳細を説明する。

3.4.2 The AP Channel Autoselection Level

この処理は AP の起動時に実行される。起動される AP は IEEE で規定された Inter Access Point Protocol (IAPP) を用いて，他の AP にその存在を通知する。IAPP は同じ LAN 上の AP に必要な情報を全て提供する。それと同時に AP は各 Channel にまたがり neighbor の AP を active scan する，neighbor AP を scan した結果を用いて，最も障害となる AP の少ない Channel を選ぶ。これにより STA との最も効率の良い distribution を選ぶことが出来る。このような実装は難しいため現在実装は存在しない。しかしほとんどの管理者がこの Channel の管理を行わないため，特に必要だと思われる。

図 3.8 は USA で使用される 1 - 14 の Channel のうち最も干渉の避けられる Channel 1, 6 と 11 である。初期の Channel に関してはこれらの中から選ばれる。

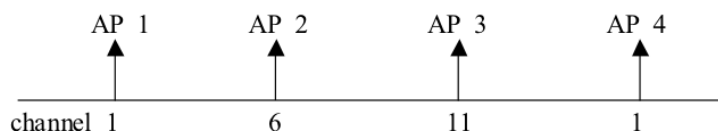


図 3.8: Initial channel autoselection, for a band of 14 channels[11]

3.4.3 The Station Join Decision Level

第2段階目では，STA が Probe Request を全ての Channel について行う．AP は Probe Response を返し，それには IEEE802.11 に規定された情報と追加されるいくつかの情報が載っている．いくつかの情報とは，その AP に Association されている AP の数と IEEE802.11 に規定された RSSI と，AP と STA の間のリンクについての平均 RSSI である．平均 RSSI はそれぞれの AP について返され，それらは統計的な目的のために保存される．

図 3.9 は Station join decision level での処理の流れを示している．まず STA (station) は AP に Probe Request を送り，AP は N_i と S_i と M_i を含んだ Probe Response を返す．STA は N_i と S_i と M_i を保存する．Scanning を行った後，Associate するのに最も適した AP を計算する．

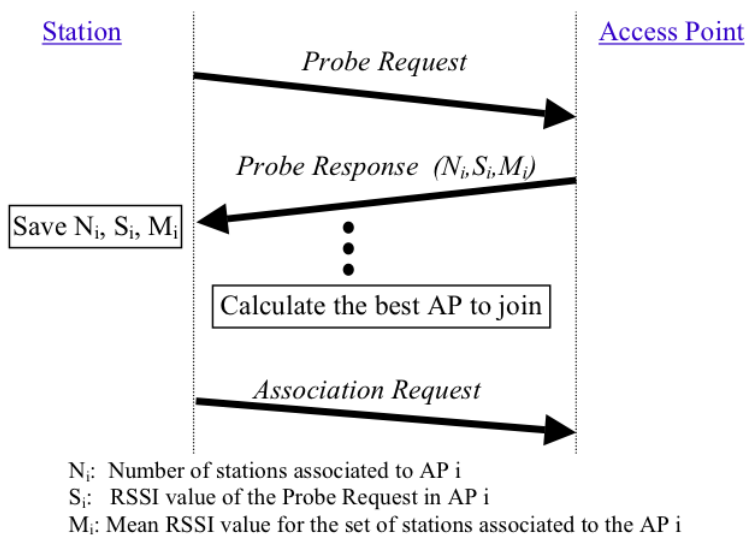


図 3.9: Procedure at the join decision level[11]

式 3.7 は Associate するのに最も適した AP を計算する際に用いられる． D_i は AP i から受け取った RSSI である S_i と平均 RSSI である M_i との差を示す．式 3.8 に D_i の計算方法を示

す．

$$W_i = D_i \cdot P_{wi} \cdot P_i \quad (3.7)$$

$$D_i = M_i - S_i \quad (3.8)$$

P_{wi} は平均値の差だけを考慮しないために導入された係数で，平均値の絶対値の情報を含めるために導入される． P_{wi} の計算式を式 3.3 と式 3.4 に示す．

$$P_{wi} = \begin{cases} 1 + \frac{M_i}{S_i} & \text{if } D_i \geq 0 \\ 1 - \frac{M_i}{S_i} & \text{if } D_i \leq 0 \end{cases} \quad (3.9)$$

$$(3.10)$$

P_i は AP i に既に Associate された STA 数に関する係数で式 3.11 で与えられる．

$$P_i = \frac{N_i}{\sum_{j=0}^n N_j} \quad (3.11)$$

最後に選択された AP に Association Request を送り，Association が完了する．

3.4.4 The Link Observation Level

第3段階目では，AP が平均 RSSI を更新し， M_i と N_i を Beacon と Probe Request frame に更新する．STA は AP を定期的に probe して AP i についての S_i ， M_i ， N_i を更新するか，Beacon frame を monitor することで M_i と N_i を更新する．

STA では前回計算された値よりも低い値が現在 Association されている AP より得られた場合について，Handover Counter をインクリメントし，その counter があらかじめ設定された閾値に達した時，STA は新しい AP を探索する．閾値は STA と AP の両方の製品依存の特徴による．この値は正確に計算されねばならない．なぜならば，STA が頻繁に新しい AP を探索するため結局全体のネットワークのパフォーマンスは落ちるからである．

3.4.5 まとめ

この研究についての評価は，STA の AP に対する不均衡を解決し，かつネットワーク全体のパフォーマンスの向上を達成したと記述されている．特に隠れ端末が存在した場合についてのネットワーク全体のパフォーマンスが向上したとされるが具体的な数値の評価がなされていない．

隠れ端末が非常に多い場合についてと STA がそれぞれ異なるトラフィックを生成している場合についての結果は不満足であると記載されているが、それは設計上、当然のことと考えられる。これらの問題を調査するにはシミュレータを使用することで、より詳細に分析できるとしている。

第4章 提案手法

本章ではワイヤレスアクセスポイント選択問題を解決する手法の要求条件を説明し、要求条件を満たす手法を複数提示し、それらを比較する。複数提示した手法を比較した結果を鑑みて一つ手法を選択し、その手法についての詳細設計を示す。

4.1 ワイヤレスアクセスポイント選択問題解決の要求条件

2.2 で提起したワイヤレスアクセスポイント選択の問題について、3 で挙げた研究が存在するがいずれも、STA が同 ESS 中の BSS のどれを選択するかという問題に注目している。本研究とは、異なる ESS のうちどれを選択するかという問題も含めて解決することを目指した点で異なる。

ワイヤレスアクセスポイント選択問題を解決するための要求条件としては、

- 異なる ESS の中からどの ESS を選択するか、受信電波強度、mode、Bit rate と Channel 以外の基準をユーザに提供する
- 同一 ESS 内に複数の BSS が存在する場合にどの BSS を選択すべきかの基準を受信電波強度以外にユーザに提供する

上記の2項目とも基準を提供することを掲げているため、ここで重要なのはどのような基準を設ければ選択基準になるのかということである。そこでユーザがワイヤレスアクセスポイントを選択する際に考慮する基準について説明する。

そのような基準を抽象的に分けると、AP が所属するネットワークについての情報と、AP 自体および AP と STA の間の無線リンクの状態に関する情報が考えられる。

ネットワークについてさらに細かく分類すると、ネットワークの快適性、ネットワークの到達性とネットワーク固有の属性となる。

ネットワークの快適性とは、ユーザがある目的を持って通信をする際に Throughput や Latency のようにネットワークを使用する上での特性である。特に複数の ESS が異なるネットワークに所属する場合に、抽象的には Multihome 環境での Source Address Selection の問題になる。ネットワークの到達性とは、ユーザの目的に応じて、通信したい対象への到達性を意味する。具体的には、ユーザが接続する対象への IP の到達性と、ある IP を持つホストの Port が解放されているか否かである。ユーザの接続先への到達性をさらに分解すると、直近の Gateway への

到達性，Internet への到達性と接続先の Port の解放の有無となる．

ネットワーク固有の属性とは，快適性と到達性のような動的な指標と異なり，AP が所属するネットワークの静的な属性を指す．例えば，IPv6 を使用出来るか出来ないか，Global IP Address を取得出来るか Private IP Address を取得出来るか，MTU の値はいくつか，セキュリティに関する制限事項等である．

次に AP 自体および AP と STA の間の無線リンクの状態についてだが，後者は現在採用され使用されているもので受信電波強度，Bit rate や Channel などがこれにあたる．前者は AP が持つ動的な指標で，AP の CPU load，Load average や Association している STA の数である．どちらも AP にとって非常に重要な指標であり，AP の負荷については3で挙げたように多くの関連研究がある．しかし，ほとんどが 802.11 への拡張は実装しておらず，受信電波強度と定義された新しい指標を用いて，Local な Throughput の向上を目的としている．

以上をまとめネットワークに関する基準か AP に関する基準かを，それらが動的な値か静的な値かを元に表 4.1 のように分類した．ネットワークの快適性はネットワークを使用するにあたり常に変化する指標なので，当然動的な値に分類される．また，ネットワークの到達性も同様である．

ネットワークの快適性と到達性はユーザの通信先と用途により必要な基準も，その基準値の評価の仕方も変わる．たとえば，あるホストへの ssh 通信は高い Throughput を要求するようなものでないことが多く，インタラクティブな操作なので Latency の方が重要である．ところが，あるホストへの ftp 通信を行う場合には Latency より Throughput が重要になる．その際にどちらのリンクを選択するかは Multihome で扱われる Source Address Selection の問題に帰結する．

ネットワークの到達性は，1 ホップ先の Gateway への到達性と Internet への到達性と特定ホストへの到達性を考慮するが，特定ホストへの接続性はユーザの接続先により変化するもので，本研究では Internet への接続性が確保出来れば十分とする．Internet への到達性はどこへの到達性をもって，それを満たされているかを判断するのは難しいので，複数の国内および海外のホストへの到達性を採用した．IPv6 が利用可能なネットワークについては IPv4 だけでなく IPv6 の到達性も確認しなくては行けない．インターネット上の特定ホストの Port の解放状況についてはセキュリティ上の問題もあるので，ここでは本研究では要求条件から除くが，Local network に存在する特定のホストについての情報は有用であると考えられる．たとえば，Local network のみから閲覧可能な web site のようなフィルタが設定されている場合などは頻繁にあるが，これは今後の展望 6.2 とする．

ネットワーク固有の属性は，特に AP の属している Local network に関する属性を指す．

表 4.1 にて挙げたネットワークの快適性は，ユーザの希望接続先に応じて変化する値である．この問題は Source Address Selection という良く知られた問題に帰結する．さらに具体的な解法が示されていないことから，本研究では対象外とする．

	動的	静的
ネットワーク	快適性 (Throughput, Latency, etc.) 到達性 (To Gateway, Internet, etc.)	固有の属性 (IPv6 support, Global IP, etc.)
AP	AP の状態 (CPU load, Association 数, etc.)	AP の 802.11 の固定設定 (802.11a/b/g, Channel, etc.)

表 4.1: AP 選択基準の分類 (静的, 動的)

また, ネットワークの到達性についても同様で, 特定のホストへの到達性は考慮しない. Internet への到達性が確保されている状況では, Global Reachability を持つホストへの到達性が約束される. Global Reachability があるにも関わらず到達出来ないホストは, NAT や IP Filter などが考えられるが, ここではそれらのホストは対象外とする.

よって, 要求条件から除くものを具体的に挙げると,

- 本研究ではネットワークの快適性の指標は要求条件から除く.
- 特定ホストへの接続性はユーザの接続先により変化するので, 本研究では Internet への接続性が確保出来れば十分とする.

4.2 システム設計

4.2.1 概要

本節にてシステム設計の候補とその比較を行う.

前節で導入する基準について議論したが, ここではその基準をどのようにして STA に伝達するかの手法について議論する.

伝達手段をまず Layer 別に分ける. 本提案手法は無線 LAN における新基準の提案なので, 当然 Layer2 で情報を渡す方法が考えられる. さらに上の Layer については有力な候補となるのは Application Layer である.

前者は Layer2 にて情報を渡すということだが, 無線 LAN なので, より詳細には IEEE802.11 上へで伝達することになる. 2 章で IEEE802.11 の frame に関する詳細な説明を行ったように, frame には Data frame, Management frame, Control frame の 3 つのタイプがある. Management frame は特に Scanning において利用される. つまり, STA が AP を探索する際に使用される frame であり, その Beacon frame と Probe Response は AP 側から送信されるものである. 基準を AP から STA に渡すという目的を達成出来ると考えた.

後者は Application Layer なので, システムの設計に大きな幅を持たせられる. そこで, 本研究では Transparent proxy と Web server を用いて情報を受け渡す手法を考えた.

情報を渡す方法として、独自のプロトコルを設計しユーザに提供することも可能であったが、ここでは実装の平易性と実運用の観点からこのようなシステムを設計した。Web server は HTTP を用いてブラウザに情報を渡すことができる。ブラウザはほとんどのクライアントが標準で持っていることから、この方法が適切だと判断した。しかし、問題はユーザが IP を取得した後も、どの Web server に接続すると情報を得られるか分からないことにある。そこで Transparent proxy を導入した。これはユーザのトラフィックが通過するホストにて Proxy Server を立てることで、ブラウザを開いてどこかにアクセスしようとする、特定にサーバに誘導出来る仕組みである。

Transparent proxy と Web server を用いた実験環境も組み立て吟味した結果をもって、前者の IEEE802.11 への拡張との比較をする。

4.2.2 手法の比較

前述した Layer2 での情報の受け渡しと、Application Layer での情報の受け渡しについて比較する。表 4.2 に Layer 別の基準伝達手法の比較を示す。

	Layer 2	Application Layer
基準伝達のタイミング	Scanning 時	IP 取得後
値の更新にかかる時間	Channel hopping で全 Channel を探索する時間を Channel 数で割った値	設定可能、HTTP で情報を取得するのにかかる時間 DHCP でのアドレス割り振りにかかる時間
伝達する基準の許容サイズ	約 2300Byte	可変
基準の定義の変更の容易さ	実装依存だが比較的難しい	容易
実装の難易度	難しい	比較的易しい

表 4.2: Layer 別の基準伝達手法の比較

本研究では、以上の比較をもとに Layer 2 での基準の受け渡しを選択した。その理由は、基準伝達のタイミングにある。Application Layer にて基準の伝達を行う際には IP の取得が必要不可欠である。Layer 2 への変更がないとするならば、AP の選択は RSSI の最も高いものに限られてしまうので、その AP を介して IP の取得が不可能な場合には、基準を受信することすらできず、本手法がなんら意味の無いものになる。IP が取得出来ない場合というのは、Association した AP が DHCP server への到達性が無い場合等が考えられ、実ネットワークでは発生しうる現象である。

4.3 IEEE802.11 フレーム拡張機能を用いた AP 選択

4.3.1 導入する基準

導入する基準は，4.1 での議論を元に採用するものを決定する．議論にあったように，全ての基準を定義することはできず，運用の観点から提供可能な情報や，有効性の高い情報を導入すべきである．

AP 選択問題を解決するには，ESS を選択出来るか，BSS を選択出来るかの 2 点を満たさなければならない．よって，表 4.3 のように選択基準を再分類した．要求条件にあるように Local でないネットワークの快適性を提供するにはさらなる議論を要し，技術的にも難しいのでここでは対象外とする．

	ESS 選択に用いられる	BSS 選択に用いられる
ネットワークの快適性	Throughput, Latency, etc.	Throughput, Latency, etc.
ネットワークの到達性	Internet または特定の local-site への到達性	Gateway への到達性
ネットワークに固有な属性	IPv6 support, Global IP support, etc.	特になし
AP の状態	特になし	CPU load, Association 数, etc.
AP の 802.11 固定設定	特になし	802.11a/b/g, Supported Channel, etc.

表 4.3: 導入する AP 選択基準

4.3.2 IEEE802.11 フレーム拡張

図 4.1 に IEEE802.11 フレームの拡張例を示す．

このようにフレームは Type を定義できる．また，Length を定義することにより，Value に入る値の長さを決定出来る．このような柔軟な拡張構造を持つ Information element を用いて新たに定義した基準を STA に渡すことが出来る．

図 4.1 は Gateway Reachability を例に定義の例を示している．Type は IEEE802.11 で使用されていない識別子を用いる．次に Value の定義を 0 については，フィールド自体が定義されていない，1 は Gateway Reachability が失われている，2 は Gateway Reachability があるとしている．これを元に Length を決定すれば良い．Value には CPU load のような 0 から 100 まで取りうる値を入れることや，さらには文字列の挿入も可能である．

提案手法を元に実装を行った．その詳細を 5 章にて詳細に説明する．

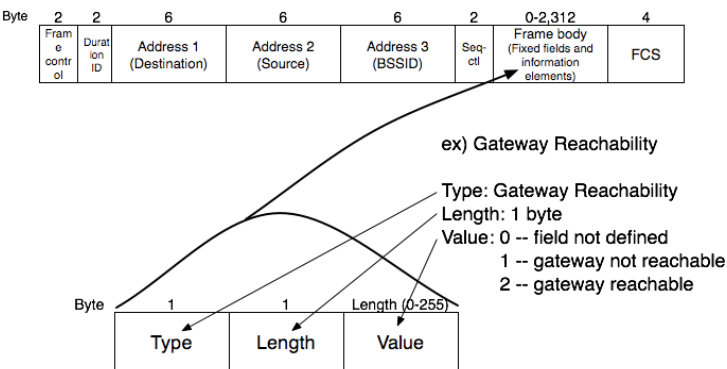


図 4.1: IEEE802.11 フレーム拡張例

第5章 実装

5.1 実装環境

Linux を OS とするホストに STA と AP をセットアップした．4 章の実装設計に基づき，Madwifi.org が提供する Atheros 社のチップセットの Linux 上で動作するドライバ：Madwifi[14] に実装を行った．実装に用いた Linux の Distribution は Ubuntu 6.10 で，kernel のバージョンは 2.6.15-27 である．実験には i386 系の CPU を積んだデスクトップ PC と ThinkPad X30 を用いた．デスクトップ PC には corega 社製の PCI 無線 LAN カード：CG-WLPCI54AG2 を使用し，ThinkPad X30 には Proxim 社製の PCMCIA 無線 LAN カード：ORiNOCO 8460-J1 を使用した．なお，どちらの無線 LAN カードも Atheros 社製のチップセットを搭載している．

5.2 実装の詳細

5.2.1 Madwifi のソースコードの説明

実装の詳細の説明に先立ち，Madwifi のソースコードについて簡単に説明する．Madwifi[14] のソースコードの構成を示す．

```

Madwifi-----BuildCaps.inc
|           + Makefile
|           + etc. (omitted)
|
+----net80211 (directory)    *
|       +----ieee80211.h      *
|       +----ieee80211_beacon.c *
|       +----ieee80211_input.c  *
|       +----ieee80211_ioctl.h  *
|       +----ieee80211_output.c *
|       +----ieee80211_proto.h  *
|       +----ieee80211_scan.c   *
|       +----ieee80211_scan.h   *
|       +----ieee80211_scan_sta.c *
|       +----ieee80211_var.h    *
|       +----ieee80211_wireless.c *
|       +---- etc. (omitted)
+----tools (directory)
|       +----wlanconfig.c      *
|       +---- etc. (omitted)

```

実装の対象になったのは net80211 (directory) と tools (directory) の各種ファイルで、明確にするために”*” の記号を付した。

net80211 directory の実装箇所は、新規に導入した基準を Information field を定義するヘッダ、追加したフィールドを Beacon frame に挿入する Beacon frame の処理、受信した Beacon frame の処理、受信した Beacon frame を保持する構造体である。

また、Beacon frame に追加するフィールドの値を Userland から動的に更新するための I/O Control にも実装を行った。

最後に tools directory にある wlanconfig.c への実装を行い、Kernel のメモリに保存してある受信したフィールドを Userland に受け渡せるようになった。

5.2.2 Information element への拡張とその拡張内容

本実装では IEEE802.11 の Information element への拡張を行い、新規に定義した基準をフィールドとして登録した。表 5.1 に本実装にて導入した新基準、基準の説明と値とその意味するところを記述した。

IPv6 support は AP を介して接続出来るネットワークが IPv6 をサポートしているかを意味

し、そのフィールドでの値が 0 の場合は、フィールド自体が定義されていないことを意味する。フィールドの値が 1 の場合は、IPv6 がサポートされていないネットワークであることを意味し、2 の場合は IPv6 がサポートされていることを意味する。これはネットワークの属性に関するフィールドである。

Global address (IPv4) というフィールドは、Global IP address を所得で切るネットワークかどうかである。フィールドの値の定義については表 5.1 を参照して頂きたい。

次に IPv4 と IPv6 についてのファーストホップの Gateway への到達性の有無を示すフィールドを定義した。さらに IPv4 と IPv6 の Internet への到達性の有無を示すフィールドを定義した。それぞれの値の定義についてはおなじく表 5.1 を参照して頂きたい。これはネットワークの到達性についてのフィールドである。

そして最後に AP の状態に関するフィールドとして、AP の CPU load と、AP に Association されている STA の数を AP の Association の許容数で割った値を実装した。値は % で扱われる。

Type	説明	値
IPv6 support	If the AP 's local network supports IPv6, in other words IPv6 address obtainable or not	0: Not defined 1: IPv6 NOT supported 2: IPv6 supported
Global address (IPv4)	If IPv4 global address is obtainable or not	0: Not defined 1: Global IP NOT obtainable 2: Global IP obtainable
Gateway reachability IPv4	If the AP can currently reach its first hop gateway or not	0: Not defined 1: Gateway NOT reachable 2: Gateway reachable
Gateway reachability IPv6	If the AP can currently reach its first hop gateway or not on IPv6	0: Not defined 1: Gateway NOT reachable on IPv6 2: Gateway reachable on IPv6
Internet reachability IPv4	If the AP can currently reach internet or not	0: Not defined 1: Internet NOT reachable 2: Internet reachable
Internet reachability IPv6	If the AP can currently reach internet or not	0: Not defined 1: Internet NOT reachable on IPv6 2: Internet reachable on IPv6
AP's CPU load	AP 's current CPU load	0: Not defined 0-100[%]: CPU load
Association index	Percentage of the number of associated STAs divided by its maximum capacity	0: Not defined 0-100[%]: Currently associated STA/max STA

表 5.1: Information field に実装したフィールドとその説明と定義

5.2.3 実装方法

次に AP 用の実装と，STA 用の実装を説明する．

AP 側 では 3 種類の処理が行われている．802.11 の Beacon frame への拡張と，拡張したフィールドに載せるための値を取得するスクリプト，スクリプトで得られた値を Beacon frame にセットするため iwpriv から値を設定出来るよう，I/O control を実装をした．iwpriv とは Wireless Tools for Linux[19] によって提供されているツールで，デバイス毎に特有もしくは固有な値をセットするためのものである．Madwifi のソースコードにも iwpriv からデバイスに固有な値を取得または設定できるようになっており，iwpriv が Madwifi の Beacon frame に値を代入出来るように追加した．AP 用の 802.11 拡張の実装は ieee80211_output.c と ieee80211_beacon.c を中心に行った．

図 5.1 に実装の詳細と動作の順序を示す．

AP 側での実装と動作は以下のようにになっている．

1. AP に Associate した後に取得出来る IP が Global IP Address であるか，IPv6 のアドレスを取得出来るかどうかを初期設定する．
2. AP 側で shellscrip を cron を用いて定期的に実行し，Gateway と Internet への到達性をそれぞれ IPv4 および IPv6 について，ping / ping6 を用いて確認する．同時に CPU load と Association されている STA の数も取得する．
3. 初期設定と定期的に shellscrip で設定された値を iwpriv を用いて Beacon frame のそれぞれの Information element に設定する．

STA 側での実装は，Beacon frame への拡張された Information element を処理する，処理された値を保持する，保持された値を wlanconfig から読めるようにするの 3 点である．なお，AP 側での実装により 802.11 の Information element に拡張が行われるが，このような拡張が行われても普通の STA はこれを理解することが出来ないで，悪影響はない．実装は，ieee80211_input.c，ieee80211_wireless.c，ieee80211_scan.c，ieee80211_scan_sta.c と wlanconfig.c に行った．wlanconfig は Madwifi に実装されているツールで，scanning で取得した値の表示や AP mode で Association されている STA の数と，それらの STA に関する情報等を表示できる．

本研究での拡張が行われていない実装での，wlanconfig で scanning で取得した値の出力例を示す．

```
#wlanconfig ath0 list scan
```

SSID	BSSID	CHAN	RATE	S:N	INT	CAPS
oniku	aa:bb:cc:dd:ee:01	2	11M	24:0	100	EPS WME
ESAKILAB	aa:bb:cc:dd:ee:02	1	54M	10:0	100	EPS
wireless.a	aa:bb:cc:dd:ee:03	1	54M	2:0	100	EPS
guest	aa:bb:cc:dd:ee:04	1	54M	8:0	100	EPS

STA 側での動作の順序を以下に示す．

1. STA が Scanning し，受信された Beacon frame のフィールドを処理する．同時に拡張されたフィールドも読み込む．
2. 処理されたフィールドの値を保持して，Userland (wlanconfig) に渡せるようにする．
3. wlanconfig の標準出力を通して拡張フレームの値を取得する．
4. 取得された値を元に AP を選択する．

5.3 実験

5.3.1 実験環境

図 5.2 に実装環境の詳細を示す．図 5.2 の”Implemented AP” は 802.11 の拡張を実装する AP である．”HONGO.WIDE” は Global IP address を持ったサブネットで，Gateway を介してインターネットと接続されている．Gateway のサブネット側には 203.178.135.1 というアドレスをもっており，実装に使用する AP は 203.178.135.99 というアドレスを持っている．”Implemented AP” は NAT をしており，AP に Association されたあと得られる IP は 192.168.0.0/24 のプライベートアドレスである．また AP には DHCP server の役割も果たしている．

”Normal AP” は 802.11 拡張の実装がされない AP で，実装がなされる AP との比較に利用する．

5.3.2 実験

上記の実験環境に基づき，実ネットワークにて IPv4 と IPv6 の Gateway Reachability と Internet Reachability が失われた時に値が変化するか，また，CPU load，Association index が動的に変化されているかの確認のために実験を行った．

Gateway Reachability が失われているか否かは，LAN ケーブルを抜くことで確認した．Internet Reachability については，Default Gateway を Routing table から抜くことで確認した．

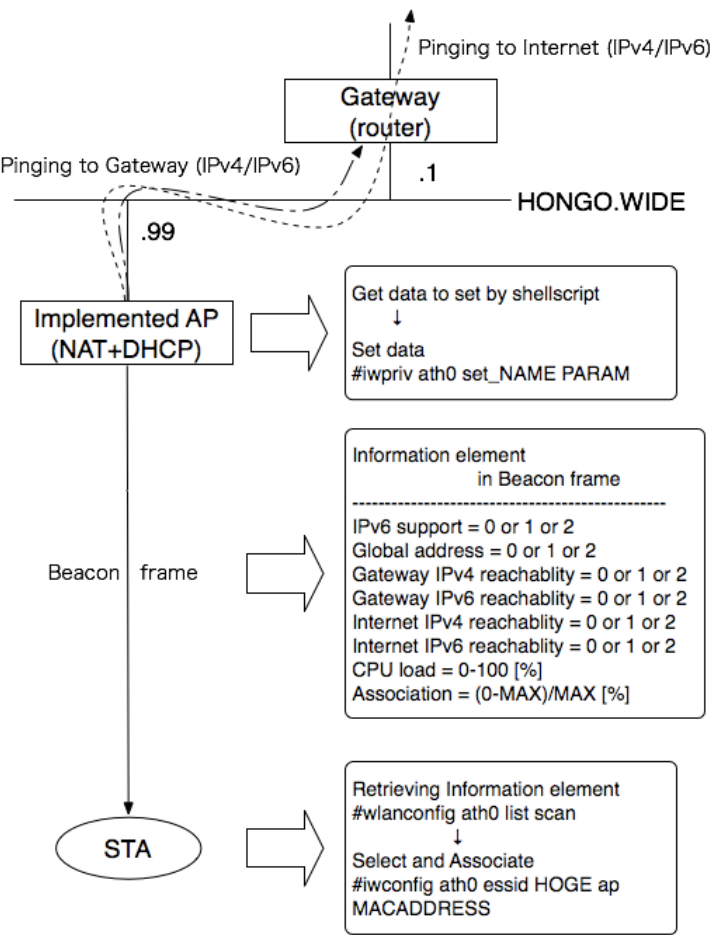


図 5.1: 実装の詳細と動作

次章で実装したシステムの評価および今後の展望と課題を述べる。

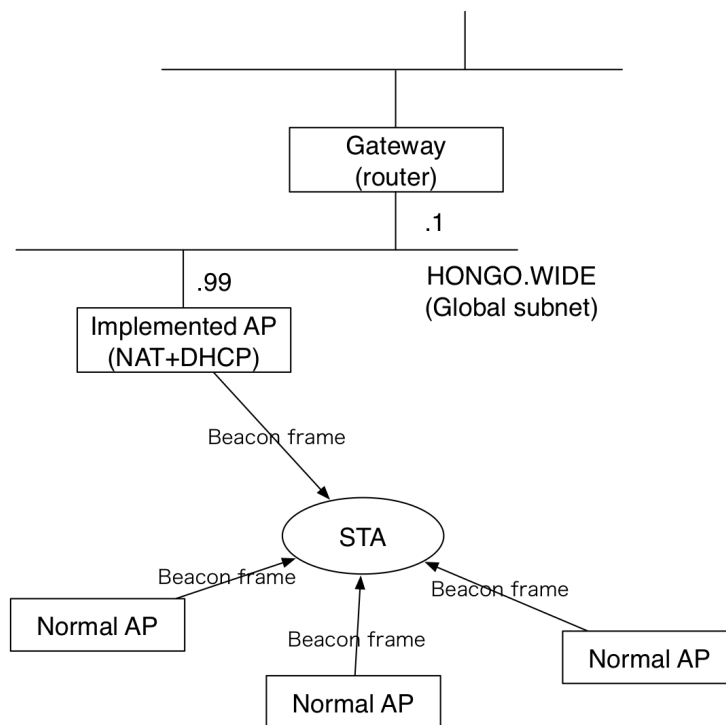


図 5.2: 実装の環境

第6章 考察

本章では提案手法および実装の評価を行い、今後の課題と展望を述べる。

6.1 評価

6.1.1 提案手法の評価

提案手法は AP 選択の新基準を導入することと、それらの基準をどのように AP から STA に渡すかの 2 段階に分けられる。まず、提案手法が AP 選択問題の ESS および BSS を選択できるようにしたかの 2 点について考察する。

ESS を選択するには、現在 ESSID という識別子をもって選択するという方法しかない。ユーザはその ESSID と、そのネットワークに関する情報を記憶することで選択することが可能になる。現在それをユーザの希望に応じて自動的に選択出来る機構は提供されていない。提案手法で導入した複数の基準を用いることでユーザは接続する前にある ESS がどのようなネットワークであるか知ることが可能になる。よって、ESS の選択方法についてあきらかに改善した。特にこの機能が提案手法の新規性である。

BSS の選択に関しては、何度も触れているように現在は RSSI のみが基準であり、関連研究は特に Throughput や無線 LAN 資源の公平な共有を目的としている。提案手法は BSS を選択する際の基準が Throughput 以外にも多数存在することを示唆した。また具体的に例を挙げたいくつかの基準を用いると、BSS の選択に幅を持たせることができることを示した。しかし、提案された基準にはユーザの接続先によって変化する値もあり、その測定と選択に関しては解を提供出来なかった。

次に導入された基準を STA に渡すの利用した、IEEE802.11 への拡張という手法について評価する。

IEEE802.11 への拡張は関連研究でも提案されていることで、特に新規性を伴うものではない。しかし、従来の研究ではある特定の目的を達成するために利用するものである。しかし、提案手法ではユーザや管理者の目的に応じて定義することを主張した。これは IEEE802.11 Information element の新しい利用方法である。また、この拡張により他の STA や AP が悪影響を受けることはない。

最後に提案手法の利点と欠点を整理する。提案手法の利点は上記に挙げた、ESS と BSS の選

択問題を定義した解を与えたことにある．また新基準を定義し，実用的な基準を定義したことも同様に利点である．導入すべき基準はネットワークの運用者とユーザの要求に応じて変化し，それを簡単に導入出来るようなフレームワークを考案したことで今後のシステム拡張が可能なことも利点と考えられる．提案手法は新基準の導入により AP 選択を可能にした．しかし，多くの基準を導入することはユーザに混乱を来す可能性がある．つまり，この提案手法によって提供された多くの基準をまとめて，ユーザがポリシーを選択することで基準を選択出来る機構が必要になる．

また，動的に選択する AP を更新する機能を考慮していないため，実ネットワークにて発生する AP の通信機能停止や，新たに参加する STA がおおよそ影響に対応出来ない．

提案手法は AP と STA への実装が必要になり，現在の実装への変更が大きい．これは IEEE802.11 への拡張を行う際につきまとう欠点である．

IEEE802.11 への拡張を行ったが，この拡張は IEEE802.11 へ準拠していないために，定義されたフィールドがどのような意味を持つか，ユーザは知り得ない．従って事前にフレームの定義ファイルを交換する必要がある．

6.1.2 実装の評価

ESS の選択に関して現実装と比較すると，特に情報の収集にかかる時間において本実装は優れている．例えば，ESS を選択して Internet Reachability が無いことに気付くには，IP を取得して Internet への通信を始めるまでの時間がかかる．しかし，この実装では Internet Reachability のフィールドを実装したことで，ほとんどその事実に気付くまでの時間がかからない．

また BSS の選択に関しても同様で，ある AP に Associate した場合に IP の取得が出来ない場合があったとする．通常は DHCP の Timeout 分の時間待たなければ，その事実に気付かない．また，それがどのような原因で，果たして他の AP に Associate することで，この問題が回避されるかも分からない．しかし，本実装では Gateway Reachability の無い AP は Scanning した時点で把握出来，これは DHCP の Timeout を待つよりも遥かに短い時間で済む．実運用上は Gateway が DHCP server を兼ねていることが多く，本実装でも Gateway が DHCP server の役割を兼ねている．

IP の取得にかかる時間と，DHCP timeout を待つ時間に関しては両者ともに問題の起きている AP が多ければその数に比例する時間を無駄にする．特に基幹のスイッチ等の故障は実運用上よくあることであり，1 フロアの AP が全て Gateway Reachability を失った場合については特に大きな時間のロスを生む．

6.2 今後の課題と展望

本節にて今後の課題と展望を示す．

まず，基準に関してはまだ多くの候補を挙げることが可能ではないかと考えた．例えば，ある

site への経路が挙げられるが、この基準に関しては運用上の理由から提供が難しく、ネットワークの管理形態に依存する。例えば Campus Network 等では、利用が可能かもしれない。

Traceroute の結果についての提供はむしろ簡単であると考えられるが、接続先の変化に対応出来ていない。これについては後で詳しく述べる。

導入する基準が多いことも問題であり、それは提案手法の欠点に挙げた。基準が多くなり、さらに独立した項目が増えると、複数の基準を組み合わせることが可能になる。しかし、基準が増えるとユーザはそれらを管理することができなくなる。そこで、基準をまとめて抽象化するインターフェースが必要になると考えられる。

IEEE802.11 への拡張という性質上、どのように定義するかは自由であり、そこでフィールドの定義を AP と STA が必要になることは既に述べた。フィールドの定義を IEEE802.11 のフレームに挿入することは、的確な解とは言えない。というのは、Layer 2 以上で定義ファイルを渡せば実用上十分と考えられるからである。ESS 毎に異なる定義ファイルを持ち、一度でもその ESS を介して IP を取得すると自動的に定義ファイルを取得または更新出来るようにすれば良い。提案手法が広く使用されるようになるには、この定義ファイルの共有システムが必要である。

また、本実装ではフィールドの定義を Userland から簡単に変更出来るような機能は無いので、これについても今後の課題とする。

最後に Source Address Selection の問題に言及する。Source Address Selection は複数の Source IP Address を取得出来る状況や、同時に複数の Source IP Address を持った場合に、そのどちらを選ぶかという問題である。

特に接続先が任意な場合にも、Source IP Address を選択出来るようにしなければならないが、それは非常に難しい。これは無線のみの問題でないため、本研究では取り扱わなかった。しかし、この問題を解決しなければ接続先に応じて ESS を変更することが可能にならない。

今後、端末が複数の無線チップを搭載するようになると、複数の AP に接続することが可能になる。Source Address Selection 研究が進み、実装が提供されるようになると、アプリケーション毎にどちらの Source IP Address を選択して通信を行うことが可能になる。その環境の元では STA がそれぞれ、例えば Throughput を計算しなくてはならないが、提案手法を用いると AP が Source Address Selection に必要な情報を提供できる。つまり、AP がある特定の site への Throughput や Latency を計算して広告することで、STA 側の負荷を減らすことができるかもしれない。

今後、無線デバイスの進化や、無線 LAN 環境の整備が進むと本研究で提起した AP 選択問題を解決する重要性は高まると考えられる。フレームワークの整備や AP や STA への実装が必要となる。

第7章 まとめ

現在、複数の ESS を利用できる環境が整い、さらには特定のロケーションではワイヤレスアクセスポイントの密集度が高いことが判明している。無線 LAN をとりまく環境の変化により、ユーザは複数の ESS にアクセスする権限を持ち、ESS を選択できる状況が身近になった。このような状況に関わらず、現在ユーザには ESSID という識別子しか提供されておらず、ユーザは識別子をもとに接続先のネットワークがどのような特徴を持ったネットワークであるかを、記憶していなければならない。

また、ESS の中から BSS を選択する方法は現在 RSSI のみであり、この AP 選択手法では AP に接続される STA の数に不均衡が生まれ、Throughput の低下や無線 LAN 資源の独占が生じることは既知の問題とされている。後者の問題を解決するために多くの研究がなされてきたが、前者の問題にアプローチした研究は無い。また、後者の問題に関しても、主に Throughput や無線 LAN 資源の公平な分配を目的として研究がされている。

本研究では、ESS の選択基準と BSS の選択基準を新たに提案し、それが AP 選択問題を解決する糸口になることを示した。提案された新基準についても、どのように STA に情報を伝達するかの手法について議論し、IEEE802.11 への拡張が適切な伝達手法であるとの結論に至った。提案した新基準の中でも特に実現可能性が高く、かつ有効な基準について Linux の無線 LAN ドライバである Madwifi 上に実装した。実装されたシステムは実世界でも適用可能なシステムであり、それらが実ネットワークで存在する種々の問題を解決出来ることを確認した。

今後の課題としては、多くの基準が提供された場合にユーザが容易に選択出来るインターフェースを作成することや、基準の定義が IEEE802.11 準拠でない以上、AP と STA 間で使用されているフィールドがどのような情報を示しているかの定義を共有する方法の実装が挙げられる。実装については基準の定義を簡単に変更、追加出来るよう改善すべきである。また Probe Request / Response を利用した AP とのコミュニケーションの可能性も示唆した。

ユーザの接続先に応じた Throughput, Latency 等の指標の実現に関しては、Source Address Selection の問題と等価になるので、まだ課題が多く残されている。

謝辞

本論文を書くにあたり，修士課程を通し終始的確なご指導，助言をして頂いた東京大学情報理工学系研究科教授，江崎浩博士には深く感謝しております．また，研究のみならずネットワークに関する諸々のアドバイスをして頂いた東京大学情報理工学系研究科助手，山本成一博士に深く感謝しております．

豊富な経験に基づくアドバイスをして頂いた岡部宣夫氏に大変感謝しております．研究室の先輩であり，随所においてアドバイスをして頂いた吉田薫氏には大変感謝しております．江崎研究室に配属してより同期として3年間，公私にわたり親身なアドバイスをして頂いた藤田祥に深く感謝しております．

また，江崎研究室で共に研究をしてきた Guillaume Valadon ，石田真一，中島亮，賈洪光，後輩の田中陽介，安本直史，山口龍太郎，王智勇，落合秀也，大口諒，阪本裕介，杉山哲弘，Sergio Carrilho，姜 鵬に感謝致します．江崎研究室での諸事務でお世話になった高橋富美秘書，田坂佳苗秘書に感謝致します．3年間の修士課程を通し，お世話になった家族や諸友人，その他多くの方々に感謝致します．

2007 年 2 月 2 日
澤村 正

参考文献

- [1] G. Voelker A. Balachandran and P. Bahl. Hot-spot congestion relief in public-area wireless networks. In *IEEE WMCSA 2002*, June 2002.
- [2] P. Bahl A. Balachandran, G.M. Voelker and V. Rangan. Characterizing user behavior and network performance in a public wireless lan. In *ACM SIGMETRICS'02*, June 2002.
- [3] Lenovo Corporation. Lenovo thinkvantage access connections(windows 2000/xp) - japan. <http://www-06.ibm.com/jp/domino05/pc/download/download.nsf/jtechinfo/TPAD-ACSCON>, 2006.
- [4] Imed Bed Dhaou. A novel load-sharing algorithm for energy efficient mac protocol compliant t with 802.11 wlan. In *IEEE Vehicular Technology Conference VTC'99*, September 1999.
- [5] Y. Fukuda and Y. OIE. Decentralized access point for wireless lans -deployability and robustness-. In *IEEE VTC2004-fall*, September 2004.
- [6] Matthew S. Gast. *802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide 2nd Edition*. O'Reilly Media, Inc., 2005.
- [7] Apple Inc. Apple - mac osx - overview. <http://www.apple.com/macosx/overview/>, 2006.
- [8] D. Kotz and K. Essein. Analysis of a campus-wide wireless network. In *Eighth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, September 2002.
- [9] The Institute of Electrical and Inc. Electronics Engineers. Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications. Technical report, IEEE Std 802.11, 1999 (Reaff 2003).
- [10] The Institute of Electrical and Inc. Electronics Engineers. Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications: Medium access control (mac) quality of service (qos) enhancements. Technical report, IEEE Std 802.11e/D8.0, February 2004.

- [11] I. Papanikos and M. Logothetis. A study on dynamic load balance for ieee 802.11b wireless lan. In *IEEE COMCON 2001*, 2001.
- [12] V. Park and M. Corson. A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks. In *IEEE INFOCOM'97*, 1997.
- [13] J.D.P. Pavon and S. Choi. Link adaptation strategy for ieee802.11 wlan via received signal strength measurement. In *IEEE ICC2003*, June 2003.
- [14] Madwifi Project. Madwifi.org. <http://madwifi.org>, 2006.
- [15] K. Sezaki S. Takeuchi and Y. Yasuda. Access point selection strategy in ieee802.11e wlan networks. In *IEEE WCNC 2006*, April 2006.
- [16] S. Sheu and C. Wu. Dyanamic load balance alogorithm (dlba) for ieee 802.11 wireless lan. In *Tamkan Journal of Science and Engineering*, 1999.
- [17] D. Tang and M. Baker. Analysis of a metropolitan-area wireless network. In *ACM Mobicom 1999*, August 1999.
- [18] D. Tang and M. Baker. Analysis of a local-area wireless network. In *ACM Mobicom 2000*, August 2000.
- [19] Jean Tourrilhes. Wireless tool for linux. http://www.hpl.hp.com/personal/Jean_Tourrilhes/Linux/Tools.html, 2006.
- [20] M. Honjo Y. Fukuda and Y. Oie. Development of access point selection architecture with avoiding interference for wlans. In *IEEE International Symposium 2006*, September 2006.
- [21] M. Tsuru Y. Fukuda, A. Fujiwara and Y. Oie. Analysis of access point selection strategy in wireless lan. In *IEEE VTC-2005-Fall*, September 2005.
- [22] T. Abe Y. Fukuda and Y. Oie. Decentralized access point selection architecture for wireles lans. In *IEEE TS 2004, SA3*, May 2004.