

# 実環境における無線 LAN ハンドオーバー決定指標の調査

## 電波強度の問題点とフレーム再送回数の有効性

山口 剛史<sup>†</sup> 井島 亮一<sup>†</sup> 塚本 和也<sup>†</sup> 榎原 茂<sup>††</sup> 尾家 祐二<sup>†††</sup>

<sup>†††</sup>九州工業大学 情報工学部 電子情報工学科 〒 820-8502 福岡県飯塚市大字川津 680-4

<sup>††</sup>奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 〒 630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5

E-mail: <sup>†</sup>{yamaguchi,r-ijima,kazuya}@infonet.cse.kyutech.ac.jp, <sup>††</sup>shigeru@is.naist.jp,

<sup>†††</sup>oie@cse.kyutech.ac.jp

あらまし 近年の無線 LAN の急速な普及に伴い、今後は複数の通信事業者が提供する公衆無線 LAN サービスが混在し、互いにオーバーラップすることで、ユビキタス環境が形成されると予想される。このようなユビキタス環境では、(1) 端末の移動、及び (2) 干渉による通信品質の劣化が頻繁に発生すると考えられる。そのため、これらの品質劣化を適切に検知し、より良い通信品質を提供可能な無線 LAN へハンドオーバーすることが重要となる。先行研究ではハンドオーバー決定指標に着目し、既存のハンドオーバー決定指標の問題点に言及した上で、フレーム再送回数の有効性をシミュレーション実験により示した。しかし、電波の再現性などの問題から、電波強度との比較実験は行っていない。そこで、本論文では実環境において FTP 通信と VoIP 通信を用いて、(1)、(2) の検討項目に関して実験を行い、その結果からハンドオーバー決定指標としての電波強度の問題点とフレーム再送回数の有効性を明らかにする。

キーワード ハンドオーバー決定指標、フレーム再送回数、電波強度、無線 LAN

## Investigation of WLAN Handover Decision Criteria in Real Environments

### Problems of Signal Strength and Effectiveness of the Number of Frame Retransmissions

Takeshi YAMAGUCHI<sup>†</sup>, Ryouichi IJIMA<sup>†</sup>, Kazuya TSUKAMOTO<sup>†</sup>, Shigeru KASHIHARA<sup>††</sup>,  
and Yuji OIE<sup>†††</sup>

<sup>†††</sup> Department of Computer Science and Electronics, Kyushu Institute of Technology  
Kawazu 680-4, Iizuka, Fukuoka, 820-8502 Japan

<sup>††</sup> Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology  
Takayama 8916-5, Ikoma, Nara, 630-0192 Japan

E-mail: <sup>†</sup>{yamaguchi,r-ijima,kazuya}@infonet.cse.kyutech.ac.jp, <sup>††</sup>shigeru@is.naist.jp,

<sup>†††</sup>oie@cse.kyutech.ac.jp

**Abstract** In ubiquitous networks, Mobile Nodes (MNs) may often suffer from performance degradation due to the following two reasons: (1) MN's movement and (2) radio interference with other WLANs. Therefore, to avoid the degradation of communication quality around a handover, quick perception of the deterioration of wireless link condition is essential. So, in our previous work, we focused on the handover decision criterion, and mentioned the problems of existing decision criteria. Furthermore, we showed the effectiveness of the number of frame retransmissions through simulation experiments. However, comparison between signal strength and frame retransmissions could not be examined due to lack of its repeatability. Therefore, in this paper, employing FTP and VoIP applications, we actually compare these two criteria in terms of (1) and (2) through real experiments. Finally, we show the problems of signal strength and the effectiveness of frame retransmissions as a handover decision criterion.

**Key words** Handover Decision Criterion, Number of Frame Retransmissions, Signal Strength, Wireless LAN

## 1. はじめに

近年の IEEE 802.11 規格 [1] に基づく無線 LAN の急速な普及に伴い、従来の屋内での利用に加えて、空港や駅構内、飲食店などの公共スペースに公衆無線 LAN サービスが提供されている。一方で、国内外において都市などの広範囲を無線 LAN エリアとしてカバーするサービスの面展開が進んでいる [2]。

今後、異なる事業者が設置する複数の無線 LAN が互いにオーバーラップすることで、ユーザは無線 LAN を介して、いつでもインターネットに接続することが可能となる (ユビキタス環境)。しかし 1 つの無線 LAN サービスの提供範囲は半径 100 m 程度と小さいため、このようなユビキタス環境では端末 (Mobile Node: MN) が複数の無線 LAN エリアを移動する (ハンドオーバー) 機会が多くなる。

そこで効率的なハンドオーバーを実現するためには、ハンドオーバーをユーザに感じさせないことが必要である。そのためには通信の継続だけでなく、ハンドオーバー中の通信品質を劣化させないことが重要となる。また周囲の干渉電波の影響で MN の通信品質が劣化するような場合においても、MN は干渉の程度を検知し、干渉の影響がない無線 LAN へハンドオーバーする必要がある。従って、通信を行う MN 自身が移動や干渉などによる通信状況の変化を適切かつ迅速に検知した上でハンドオーバーを開始することが重要となる。以上のことから、ハンドオーバーの決定指標には (1) 移動による通信品質の劣化、(2) 干渉による通信品質の劣化の 2 種類の品質劣化を適切に検知することが求められる。

先行研究 [3] [4] ではシミュレーションによってフレーム再送回数が MN の移動時にハンドオーバー決定指標として有効であることを示した。また、上位層 (Layer 3 以上) から取得可能な既存のハンドオーバー決定指標の問題点について言及したが、下位層から取得可能な電波強度に関する詳細な調査は行っていない。これは電波の特性をシミュレーションで正確に模擬することが困難なためである。以上のことから電波強度との比較を行うには実環境での評価を行う必要がある。そこで本論文では実環境で FTP 通信と VoIP 通信を用いて実験を行い、ハンドオーバー決定指標としての電波強度とフレーム再送回数の特性を調査する。実験では先に挙げた、(1)、(2) の要求項目について検証する。

## 2. 既存のハンドオーバー決定指標

ユビキタス環境では、MN は異なるサブネットで構成された無線 LAN 間を頻繁にハンドオーバーするため、IP アドレスの変更により通信が切断される。この問題を解決するため、既存手法ではハンドオーバーを上位層で処理する手法が一般的で、Mobile IP (MIP) [5] や mobile Stream Control Transmission Protocol (mSCTP) [6] など様々な手法 [7] [8] [9] が提案されている。これらの手法では主に、上位層で取得可能なパケットロスや RTT (Round Trip Time) 等の情報をハンドオーバー決定指標として用いている。しかし [3] において、RTT やパケットロスが増加する時点では、既に通信品質が大きく劣化するため、

ハンドオーバー決定指標として適していないことが示されている。また、これらの指標は end-to-end の情報を示すので、インターネット内で発生する輻輳などによって時々刻々と変化する。そのため、ハンドオーバーを決定する閾値を適切に決定することは困難であり、また無線 LAN の通信品質の変化を適切に検知することができない。

そこで近年では、無線 LAN の通信品質の劣化を迅速に検知するために、下位層から取得できる情報を用いる手法が提案されており、特に Layer 1 から取得可能な電波強度を基にハンドオーバーを決定する手法が提案されている [10]。

一方、先行研究 [3] ではハンドオーバー決定指標として、Layer 2 のフレーム再送回数に着目し、シミュレーションによる評価を行った。しかし、Layer 1 から取得可能な電波強度は距離による変化だけでなく、回折波や遮蔽物などの複雑な要因により動的に変化する。以上のことから、シミュレーションによる検証は困難であるため、Layer 1 から取得可能な電波強度の評価は行っていない。そこで本論文では実証実験によって、ハンドオーバー決定指標としての電波強度とフレーム再送回数の有効性について検証を行う。

## 3. 無線 LAN

本節では、無線 LAN 上で発生するフレーム再送と干渉について簡単に述べる。

### 3.1 フレーム再送の仕組み

無線 LAN 内の送信側は送信したデータフレームに対する ACK フレームを受信することによって、無線区間での伝送が成功したことを確認する。もし無線区間の品質劣化によりデータフレームもしくは ACK フレームがロスした場合、送信側は予め決められた再送回数に達するまで同じデータフレームを再送する。このとき 1 つのデータフレームが正しく送信されるまでに再送された回数をフレーム再送回数と呼ぶ。特に RTS/CTS (Request To Send/Clear To Send) を用いた場合は、送信側は同じデータフレームを初回送信を含めて 4 回送信 (初回送信 + 再送 3 回) することができる。

しかし、送信側は規定の再送回数内で ACK フレームを受信できなかった場合、そのデータフレームをパケットロスとして廃棄する。つまりフレームの再送はパケットロスが発生する前に必ず発生するため、データフレームの再送回数は無線区間の通信品質の劣化を事前に検知できると考えられる。

### 3.2 干渉問題

今後、無線 LAN の普及に伴い、複数の事業者によって無線 LAN サービスが提供されると予想され、近隣チャンネルが使用されることで干渉が発生すると考えられる。現在最も普及している 802.11b 規格 [11] では 2400~2483.5MHz に 5MHz 間隔で 13 チャンネル提供されているが、拡散変調方式により、各チャンネルの占有周波数帯幅が約 20MHz に広がる。そのためチャンネルを 5 チャンネル以上離さない占有周波数帯が互いにオーバーラップしてしまい、干渉が発生する恐れがある。また、日本ではこれに 2471~2497MHz を加えた合計 14 チャンネルが利用可能となっており、この日本独自の 14 チャンネルは 3 チャンネル離れた

11 チャンネルと物理的に独立であるため、日本では干渉しないチャンネルが最大 4 つとなる。

無線 LAN では、アクセス制御機能として CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) が用いられている。この CSMA/CA とは、各無線局がフレームを送信する際に、無線チャンネルの使用状況を確認した上で送信を決定するという機能である。もし無線チャンネルが Idle (無線チャンネルが他の無線局によって使用されていない) 状態であればフレームを送信し、逆に無線チャンネルが Busy (無線チャンネルが他の無線局によって使用されている) 状態であれば無線チャンネルが Idle 状態になるまで待機する。しかしこの無線チャンネルの使用状況の確認が失敗した場合、送信したフレームと他の無線局が送信したフレームとが衝突する確率が増加する。その結果、干渉時には通信品質が大きく低下することになる [12]。そのため、ハンドオーバー決定指標は干渉の影響による通信品質の劣化を検知することが重要となる。

#### 4. 実験評価

無線 LAN は今後、都市部のような屋外環境から普及していくと考えられる。そのような環境では遮蔽物や障害物が存在するため、マルチパス波や雑音などの影響がオープンスペースよりも大きくなり、シミュレーションで模擬することが困難となる。そこで本論文では実環境での影響を考慮し、無線通信の影響が大きい屋内環境に着目して実験を行った。

また本論文では FTP 通信と VoIP 通信を用いて、フレーム再送回数及び電波強度がハンドオーバー決定指標の要求項目である (1) 移動による通信品質の劣化、(2) 干渉による通信品質の劣化を適切に検知できるかについて検証した。

##### 4.1 移動時の特性

###### 4.1.1 実験環境

本節ではフレーム再送回数及び電波強度が (1) 移動による通信品質の劣化を検知できるかを検証するために、図 1 に示す屋内環境で実験を行った。実験では、MN が AP (802.11b) を介して相手端末 (Correspondent Node: CN) と通信した際の通信特性を調査した。無線 LAN のアクセスポイント (Access Point: AP) には Proxim [13] 社の “ORiNOCO AP-4000” を、無線 LAN カードには “ORiNOCO 802.11a/b/g Combo Card Gold” を用いた。ここで無線 LAN の送信レートは 11 Mbit/s に固定し (フォールバックなし)、RTS/CTS を用いた。また、無線区間の通信フレームをキャプチャするため、図 1 のアナライザノード (Analyzer Node: AN) で Ethereal 0.10.13 [14] を動作させた。実験では MN が AP から遠ざかる場合の FTP (TCP) 通信、VoIP (UDP) 通信において電波強度、フレーム再送回数の特性を調査した。

また通信品質の指標として FTP 通信はグッドプット、VoIP 通信はパケットロス率を用い、フレーム再送回数は MN の全送信フレームに対する再送フレームの発生割合を、電波強度は無線 LAN カードから取得可能なフレームごとの RSSI (Received Signal Strength Indicator) を用いた。ここで RSSI とは 0~255 の範囲の整数値で受信電波強度を示す指標で、無線 LAN カード

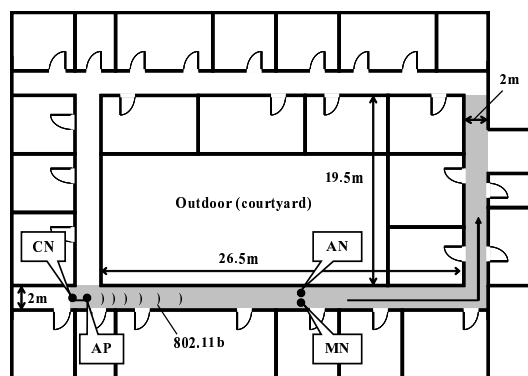


図 1 移動実験の実験環境

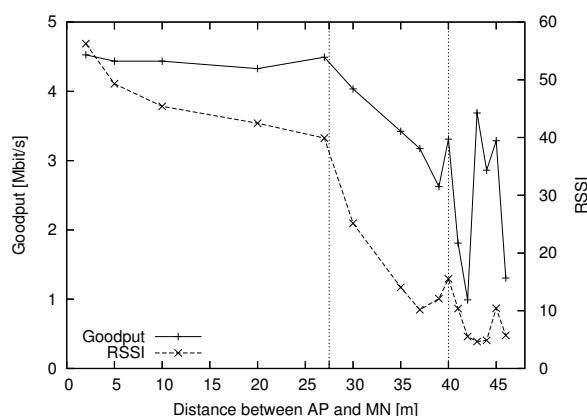


図 2 FTP 通信におけるグッドプットと電波強度の変化

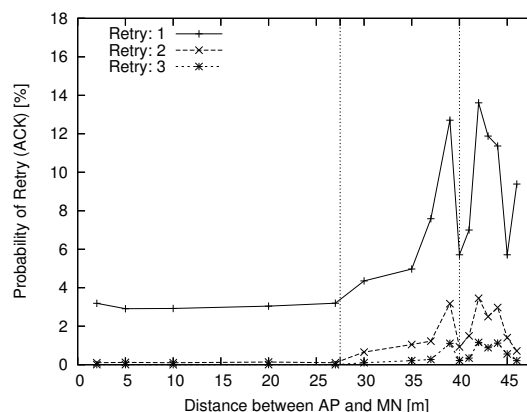


図 3 FTP 通信におけるフレーム再送回数の発生割合の変化

のベンダによってその最大値が異なる。本論文で用いた Atheros 製チップ搭載の無線 LAN カードの場合、RSSI は 0~60 の値をとる [15]。

###### 4.1.2 各地点における特性評価

AP-MN 間の距離を変化させ、それぞれの地点での通信特性の調査を行う。まず、FTP 通信について実験を行った。このとき、図 1 の CN で FTP サーバを起動させ、MN が CN から 10 MByte のファイルをダウンロードする際の通信特性について調査を行った。

図 2 に距離を変化させた際のグッドプットと電波強度の変化、図 3 に MN が送信する ACK パケットに対するフレーム再送回数の発生割合の変化をそれぞれ示す。図 2 より AP-MN 間の

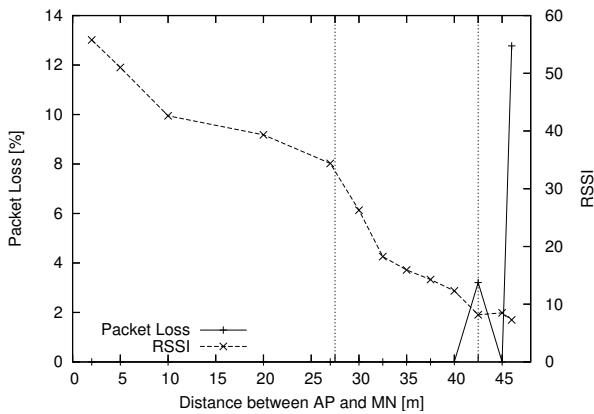


図 4 VoIP 通信におけるパケットロス率と電波強度の変化

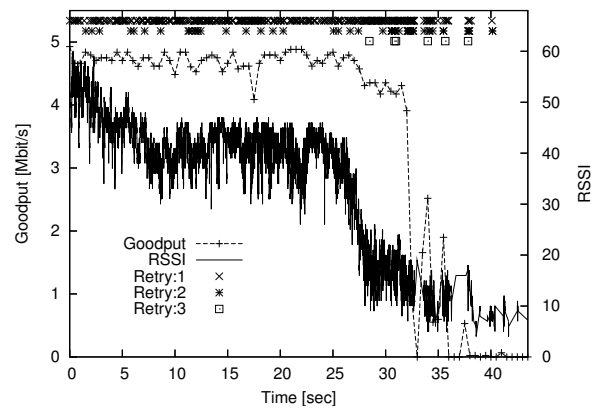


図 6 移動時における FTP 通信の特性

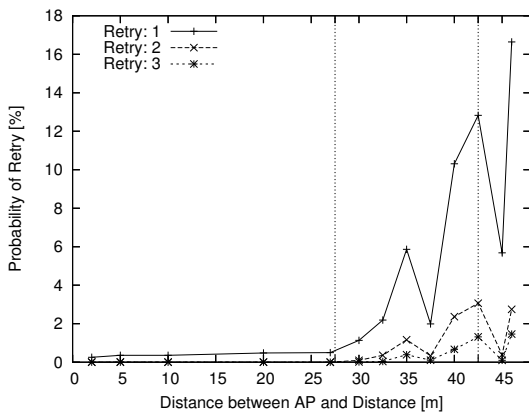


図 5 VoIP 通信におけるフレーム再送回数の発生割合の変化

距離が 27.5 m (MN が AP を直接見通せる地点) までは、グッドプットは約 4.5 Mbit/s とほぼ一定で安定しているが、それ以降で減少し始め、40 m 以降では大きく変化している。一方、電波強度は距離に応じて、グッドプットが安定している地点でも徐々に減少し、27.5 m 以降で急激に減少し始める。しかし、40 m 以降ではグッドプットが変化しているにも関わらず、電波強度は常に低い状態を保ち、グッドプットと対応して変化していないことが分かる。

これに対し、図 3 のフレーム再送回数の発生割合は 27.5 m まではほぼ一定となっており、27.5 m 以降で徐々に増加し、40 m 以降では大きく変化している。また、図 2 のグッドプットと比較すると、グッドプットが減少し始める 27.5 m 地点でフレーム再送回数 1~3 回の発生割合が増加していることが分かる。特にフレーム再送回数 2, 3 回の発生割合は 27.5 m まではほぼ 0 % で、それ以降に増加し始めていることが分かる。また 40 m 以降のグッドプットの変化と対応して、フレーム再送回数が変化していることも分かる。

次に VoIP 通信について実験を行った。ここでは図 1 の MN と CN との間で一分間、双方向の VoIP 通信を行い、その通信を解析した。VoIP 通信には音声コーデックが G.711 である Gphone 2.0 [16] を用いた。

図 4 に MN から CN へのパケットロス率と電波強度の変化、図 5 に MN が送信する VoIP パケットに対するフレーム再送回数の発生割合の変化をそれぞれ示す。図 4 よりパケットロスは

40 m までは全く発生しておらず、42.5 m と 46 m で、VoIP 通信で音声品質を確保できるパケットロス率 (3 % 以下 [4]) を上回るロスが発生し、この地点で通信が劣化していることが分かる。このとき電波強度は AP-MN 間の距離が離れるに連れて徐々に減少し始め、27.5 m 以降で急激に減少し、42.5 m 以降では低い値で安定した。この結果から、FTP 通信の結果と同様、電波強度の 40 m 以降の変化とパケットロス率の急激な変化とが対応していないことが分かる。一方、図 5 においてフレーム再送回数 1 回の発生割合は 27.5 m までほぼ一定で、27.5 m 以降から増加し始めている。また、30 m 付近からフレーム再送回数 2, 3 回の発生割合が増加し始め、通信品質の変化に応じて変化していることが分かる。

ここで FTP 通信と VoIP 通信のアプリケーションの違いが通信特性に与える影響について検証する。まず、図 2 と図 4 との比較より、FTP 通信のグッドプットが劣化し始める地点の RSSI (約 40) と VoIP 通信のパケットロスが発生する地点の RSSI (約 10) が大きく異なる。以上より、電波強度はアプリケーションによる通信品質の違いを考慮できず、ハンドオーバー決定の閾値の決定が困難であることが分かる。これに対し、フレーム再送回数は FTP 通信と VoIP 通信のアプリケーションの違いに関わらず、通信品質が劣化する直前で再送回数が増加していることが分かる。以上の結果より、フレーム再送回数はハンドオーバー決定指標の要求項目である、(1) 移動による通信品質の劣化をアプリケーションの違いによる通信特性を考慮した上で、適切に検知できるといえる。

#### 4.1.3 移動中における特性評価

4.1.2 では MN-AP 間の距離を変化させた各地点における通信特性について調査を行った。次に本節では、実際に MN が AP から遠ざかる方向に歩いて移動した場合について調査を行う。図 6 にその際の FTP 通信のグッドプット、及び電波強度の変化を示し、1~3 回のフレーム再送が発生した時刻をそれぞれ異なる点で示す。同様に、図 7 に VoIP 通信のパケットロス率、電波強度、1~3 回のフレーム再送の発生時刻をそれぞれ示す。

図 6, 7 より、FTP 通信の通信品質 (グッドプット) が劣化する直前の RSSI が約 20 であるのに対し、VoIP 通信の通信品質 (パケットロス) が劣化する直前の RSSI は約 10 と、アプリケー

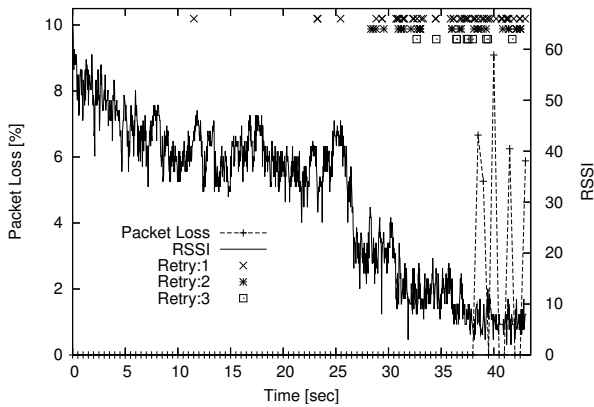


図 7 移動時における VoIP 通信の特性

シヨンの違いによって RSSI の値が異なっていることが分かる。つまり電波強度をハンドオーバー決定指標に用いた場合、アプリケーションごとに閾値の設定を変更する必要があることが分かる。これに対しフレーム再送回数の発生時刻及び発生頻度に着目すると、アプリケーションの違いに関わらず、通信が劣化する直前ではフレーム再送回数 2, 3 回の発生頻度が高いことが分かる。特にフレーム再送回数 3 回に着目すると、通信品質が劣化する直前に発生し始めている。以上より、フレーム再送回数は通信品質の変化を適切に捉えていることが分かる。従って実際に MN が移動する場合においても、フレーム再送回数は要求項目である、(1) 移動による通信品質の劣化を通信特性の違いを考慮した上で適切に検知可能な指標といえる。

#### 4.2 干渉時の特性

##### 4.2.1 実験環境

次に本節では、フレーム再送回数及び電波強度が、(2) 干渉による通信品質の劣化を検知できるかを検証するため、図 8 に示す屋内環境で実験を行った。AP 間の距離を 25 m とし、AP1-MN1 間と AP2-MN2 間の距離を、図 2 の結果から通信品質と電波強度とが良好である 5 m で固定した。実験では、干渉によるフレームの衝突が送信パケット数が多い程発生しやすいという理由から、FTP 通信のみに着目した。実験では MN1 が AP1 (802.11b) を介して CN1 と通信した際の特性を調査した。同様に MN2 は AP2 (802.11b) を介して CN2 と通信を行い、干渉電波を発生させた。

各無線区間の送信レートは 11 Mbit/s に固定し、RTS/CTS を用いた。また調査対象の AP1-MN1 間は 14 チャンネルで固定し、AP2-MN2 (干渉先) が使用するチャンネルを 11 チャンネルから 14 チャンネルまで変化させて調査を行った。以上の条件の上で、MN1 が CN1 から 10 MByte のファイルをダウンロードした際の通信品質、電波強度、フレーム再送回数について (a) 干渉データ通信がない (AP2 が Beacon 情報の配信のみ行う) 場合、(b) 干渉データ通信がある (MN2 と CN2 とが FTP 通信を行う) 場合において、干渉先のデータ通信が AP1-MN1 の通信特性に与える影響を調査した。

##### 4.2.2 干渉時における特性

図 9~11 にグッドプット、電波強度、フレーム再送回数 1 回

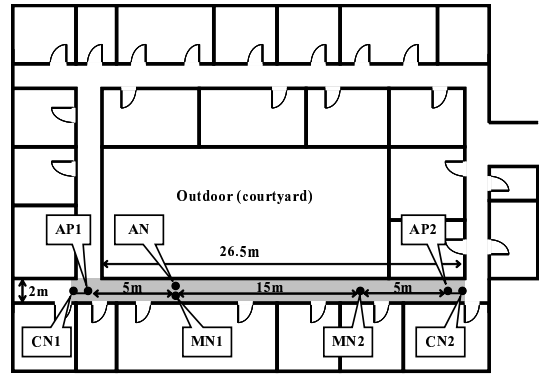


図 8 干渉実験の実験環境

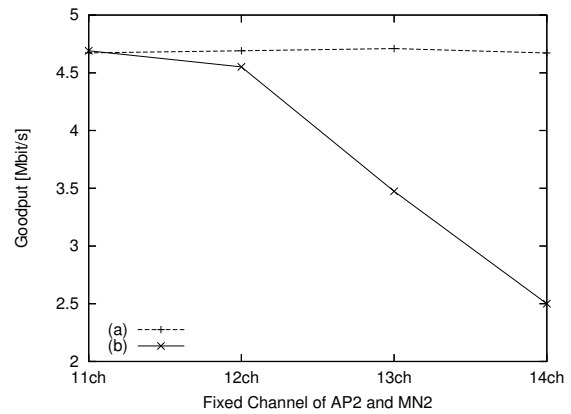


図 9 干渉時におけるグッドプットの変化

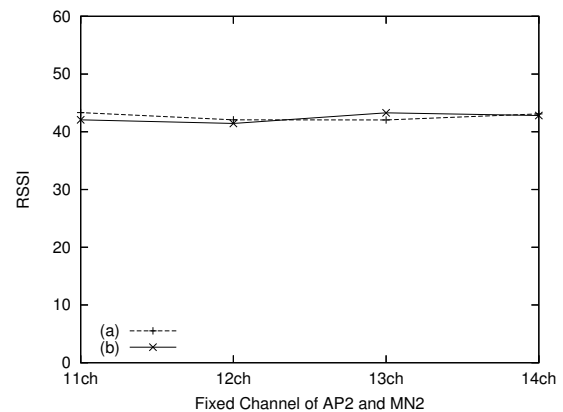


図 10 干渉時における電波強度の変化

の発生割合をそれぞれ示す。図 9~11 より、(a) の場合はグッドプット、電波強度、再送回数の発生割合のそれぞれの変化が少ないことが分かる。これは干渉先でデータ通信が行われないため、干渉によるフレーム衝突がほとんど発生していないためである。

また図 9 より、干渉先でデータ通信を行う (b) では干渉先の通信が 11 チャンネルを使用する場合、AP1-MN1 のチャンネル (14 チャンネル) と干渉が発生しないため、グッドプットがほとんど減少していないことが分かる。これに対し、干渉先のチャンネルが AP1-MN1 のチャンネルに近づくにつれて、干渉の影響によりグッドプットが大幅に減少していることが分かる。このとき図 10 より、干渉の影響が大きくなり、通信品質が大幅に

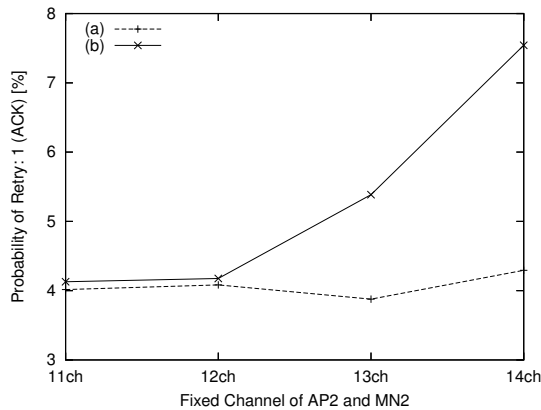


図 11 干渉時におけるフレーム再送回数 1 回の発生割合の変化

劣化した場合でも、電波強度にはほとんど変化がなく、グッドプットの変化を全く捉えることができないことが分かる。一方、図 11 よりフレーム再送回数の発生割合は干渉先のチャンネルが AP1-MN1 のチャンネルに近付き、干渉の影響が大きくなるほど、増加しているのが分かる。特に干渉先の使用チャンネルが AP1-MN1 と同一チャンネル (14 チャンネル) の場合は CSMA/CA の失敗により電波が干渉し、フレーム再送回数の発生割合が増加している。

以上の結果より、電波強度は干渉による通信品質の劣化を検知することができないことが分かった。これに対し、フレーム再送回数は干渉の影響の大きさに応じてフレーム再送回数の発生割合が増加することから、干渉による通信品質の劣化を検知できることが分かった。従って接続している AP との無線区間で、他の AP などの電波による干渉が発生した場合、フレーム再送回数によって干渉を検知し、干渉の発生しない新たな AP にハンドオーバーすることが可能となる。以上より、フレーム再送回数は、ハンドオーバー決定指標の要求項目である (2) 干渉による通信品質の劣化を適切に検知可能な指標であるといえる。

## 5. まとめ

本論文では、ハンドオーバー決定指標としての電波強度の問題点と、先行研究において提案したフレーム再送回数の有効性を検証するために実環境で調査を行った。ハンドオーバー決定指標は、(1) 移動による通信品質の劣化、(2) 干渉による通信品質の劣化の検知が重要であるため、上記の 2 つの項目について実験を行った。また、使用するアプリケーションの違いによる影響も調査するため、FTP 通信と VoIP 通信を用いた。

まず、(1) の移動環境では FTP 通信、VoIP 通信の両方において、電波強度が通信品質の劣化を適切に検知できないことを示した。また、電波強度をハンドオーバー決定指標に用いた場合、使用するアプリケーションによって通信品質の劣化を示す値が異なるため、適切に閾値を設定することは困難であることを示した。一方、フレーム再送回数は、通信品質の劣化に伴い変化するため、無線区間の通信品質の劣化を適切に検知できることが分かった。次に、(2) の干渉環境では、送信フレーム数が多く干渉が発生しやすい FTP 通信を対象として実験を行った。そ

の結果、電波強度では干渉による通信品質の劣化を全く検知できないことを示した。一方、フレーム再送回数は、干渉の発生による通信品質の劣化に伴い、増加するため干渉の影響を検知できることが分かった。

以上の結果から、電波強度はハンドオーバー決定指標の要求項目である、(1)、(2) を満たせないのに対し、フレーム再送回数はこれらの要求項目を満たしたハンドオーバー決定指標として用いることができることを明らかにした。

今後の課題としては、データフレームの再送回数はデータ通信中しか取得できないため、データ通信を行わない期間の無線区間の通信品質を確認する手法について検討していく必要があると考える。

謝辞 本研究の一部は、日本学術振興会による科学研究費補助金 (課題番号 17-6551, 15200005)、Cisco Japan University Research Program (J-URP) 及び総務省の支援を受けている。ここに記して謝意を表す。

## 文 献

- [1] IEEE 802.11, 1999 Edition, Available at <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-1999.pdf>
- [2] Wireless Philadelphia, <http://www.phila.gov/wireless/>
- [3] K. Tsukamoto, et al., "Impact of Layer 2 Behavior on TCP Performance in WLAN," *Proc. of IEEE VTC2005 fall*, Sep. 2005.
- [4] S. Kashihara and Y. Oie, "Handover Management based upon the Number of Retries for VoIP in WLANs," *Proc. of IEEE VTC2005 spring*, CD-ROM, May. 2005.
- [5] C. Perkins(Ed.), "IP Mobility Support for IPv4," IETF RFC33 44, Aug. 2002.
- [6] S. J. Koh, et al, "Mobile SCTP for Transport Layer Mobility," *draft-reigel-sjkoh-sctp-mobility-04.txt*, Internet draft, IETF, Jun. 2004.
- [7] S. Kashihara, et al., "Multi-path Transmission Algorithm for End-to-End Seamless Handover across Heterogeneous Wireless Access Networks," *IEICE Trans. on Commu.*, Vol. E87-B, No. 3, pp.490-496, Mar. 2004.
- [8] S. Kashihara, et al., "Adaptive Selection among Heterogeneous Wireless Access Networks for End-to-end Handover," *Pro. of IEEE/IPSJ The 2004 International Symposium on Applications and the Internet (SAINT2004)*, pp. 273-276, Jan. 2004.
- [9] K. Tsukamoto, et al., "Mobility Management of Transport Protocol Supporting Multiple Connections," *Proc of ACM MobiWac2004*, pp. 83-87, Oct. 2004.
- [10] M. Chang, et al., "Transport Layer Mobility Support Utilizing Link Signal Strength Information," *IEICE Trans. on Commu.*, Vol. E87-B, No. 9, pp. 2548-2556, Sep. 2004.
- [11] IEEE 802.11b, 1999 Edition, Available at <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11b-1999.pdf>
- [12] 齋藤一賢 他, "IEEE 802.11b 無線 LAN 相互干渉によるスループット特性への影響", 2002 年 信学総大, B-5-193, Sep. 2002.
- [13] Proxim, <http://www.proxim.com/>
- [14] Ethereal, <http://www.ethereal.com/>
- [15] Kavitha Muthukrishnan, et al., "WLAN location sharing through a privacy observant architecture," *COM-SWARE2006*, Jan. 2006.
- [16] VL Inc, <http://www.vliusa.com/>