

マルチレート無線 LAN の実環境における モバイル端末を用いた AP 選択方法の評価

岩木紗恵子[†] 村瀬 勉^{††} 小口 正人[†]

[†] お茶の水女子大学 〒112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1

^{††} NEC 〒211-8666 神奈川県川崎市中原区下沼部 1753

E-mail: [†]remi@ogl.is.ocha.ac.jp, ^{††}t-murase@ap.jp.nec.com, ^{†††}oguchi@computer.org

あらまし 近年, 伝送レートに応じて, 最適にアクセスポイント (AP) を割り当てるといった AP 選択方法の研究が盛んに行われている. 無線 LAN システムにおいては一般にスループットなどの通信品質によってダイナミックに最適な伝送レート (マルチレート) を選択する. このスループットは, AP と端末間の距離などによって決まる. 距離と最適伝送レートの関係については, 干渉が無い理想的な状況に対しては, すでにシミュレーションにて, 距離に応じて離散的に伝送レートを変化させるべきであるという評価が行われている. また, 異なる伝送レートの端末が存在するときには, 各端末のスループットは, 伝送レートや位置に関わらず均等であるとされている. しかしながら, 実際の利用状況では, 干渉は無視できない. そこで本研究では, 提案されている AP 選択方法が実環境で実際に有効であるか検証するために, 前提条件となっている AP と端末間の距離とスループットの関係性を測定した. 端末が 1 台の場合と 2 台の場合で, マルチレートの各伝送レートにおける距離とスループットの関係性を計測し, 既存のシミュレーション結果と比較した. その結果, 端末が 1 台のときには, スループットは, より距離に敏感に反応し, 連続かつ単調に減少することが明らかになり, 端末数が 2 台の場合でも, AP と端末の距離によってスループットが変化することが明らかになった. さらに, シミュレーションとの差異を生じた要因である, MAC 層におけるフレーム再送とキャリアビジーについて, 詳しく解析した. また, 伝送レートが異なる端末が複数台接続した際には, シミュレーションにおいては調和平均を用いて各端末のスループットを計算しているが, 実機環境で実際に測定を行ったところ, 端末の位置によってスループットは均一にならないことが明らかとなった. この原因としては, コリジョンとキャプチャエフェクトが大きく関係していると言えることが明らかになった.

キーワード AP 選択問題, マルチレート, 実機検証

Analysis of Selection of APs Using Mobile Stations in Wireless Network

Saeko IWAKI[†], Tutomu MURASE^{††}, and Masato OGUCHI[†]

[†] Ochanomizu University Otsuka 2-1-1, Bunkyo-Ku, Tokyo 112-8610 Japan

^{††} NEC Corporation

1753 Shimonumabe, Nakahara-ku, Kawasaki, Kanagawa, 211-8666, Japan

E-mail: [†]remi@ogl.is.ocha.ac.jp, ^{††}t-murase@ap.jp.nec.com, ^{†††}oguchi@computer.org

1. はじめに

無線対応機器の普及とともに, 無線 LAN の急速な普及が進んでいる. 無線対応の移動端末の発展により, 屋外での無線 LAN の使用も増加しており, 公共スペースでの公衆無線 LAN サービスが幅広く展開されている. このような中で, アクセスポイント (AP) および端末は通信環境の異なる複数の端末に対して効率的な通信を行うため, 複数の伝送レートに対応して

いる.

一般に, AP と端末間の距離が離れるほど他の電波の影響を受け, 自電波の減衰が原因で高い伝送レートでの通信ができなくなるため, 伝送レートは低くすべきと考えられている. ある伝送レートでどの程度の距離まで通信ができるか, またその伝送レートでどの程度のスループットが得られるかの定量評価は, シミュレーションによりすでに行われている. このような数値を用いて, マルチレートを用いた無線 LAN の性能を

最適化する技術が研究されている．例えば，新規端末が接続すべき AP を複数の接続可能な AP から選択する AP 選択問題 [1] [2] [3] [4] [5] [6] [8] では，伝送レートに応じた適切な選択が重要である．このようなマルチレートにおける AP 選択問題の多くに用いられている距離と最適伝送レートの関係や，AP 全体のスループットの計算，異なる伝送レートの端末が複数台接続した時の各端末のスループットは，理論値あるいはシミュレーションにより決定された値である．

しかしながら，シミュレーションでは，実環境において発生する日常生活での雑音や近隣の他の無線 LAN 通信の干渉などは考慮されておらず，AP と端末間の距離が大きくなるにつれて階段状ではなく，連続かつ単調的にスループットが下がることが予測される．また，伝送レートが異なる端末において，スループットは同じになるとされているが，実環境においては，各端末のスループットが異なる可能性がある．

そこで本研究では，実機にて，どの伝送レートでどの程度までの距離の通信が可能であるか，AP と端末間の距離を変えることにより変化するスループット特性を観測し，既存のシミュレーションにおけるマルチレートモデルとの差異を考察する．また，異なる伝送レートの端末が接続した際のスループットの振舞いを検証し，シミュレーションでは考慮されていない要因を考察する．

本論文の流れは以下のとおりである．まず 2 章にて関連研究とその問題点について述べる．3 章では，MAC 層のスループット低下要因を説明する．4 章で，実際に行った実験について説明を行い，5 章でその結果について述べる．6 章で，結果に対する考察を行う．最後に 7 章でまとめと今後の課題を述べる．

2. 関連研究と問題点

無線 LAN では，ビットエラーレートあるいはフレームエラーレートを適切な値に維持するために，複数の伝送レートが規定されており，ビットエラー状況に応じて適切な伝送レートが選択可能になっている．この選択は，標準では規定されていないため，各ベンダが独自に決定している．各ベンダの選択基準に関しては，詳細は公表されていないが，文献 [10] のような報告が 1 つのリファレンスになっている．

マルチレートの規定値として，IEEE802.11b では 11, 5.5, 2, 1Mbps の 4 種類，IEEE802.11a/g では 54, 48, 36, 24, 18, 12, 9, 6Mbps の 8 種類の伝送レートが定義されている．

文献 [8] では，IEEE802.11a において距離に応じて最適な伝送レートを選択する手法について述べられている．また，文献 [6] [7] では，新規端末の AP 選択の際に，その新規端末の伝送レートを考慮して，端末が満足できる最低限度のスループットと，移動可能距離を考慮しながら，システムスループットを最大化する手法について述べている．これらの研究において，伝送レートの決定は，文献 [8] で述べられている，AP と端末の距離に対して伝送レートがステップ状に変化する関数を用いている．また，文献 [9] においても，図 1 に示すように，シミュレーションによる距離とスループットの関係が述べられている．

これらのシミュレーションによる実験では，電波の減衰およ

びフェージングについては考慮されているが，他の無線 LAN やその他のノイズによる干渉などを考慮した評価値にはなっていない．

また，マルチレートを考慮した場合，伝送レートの低い端末がシステム全体のスループットを低下させてしまうという Performance Anomaly 問題が知られている．伝送レートが異なる端末が 1 台の AP に接続した際には，その AP 全体のスループットは調和平均で表され，それぞれの端末のスループットは，伝送レートに関係なく一定になるとされている．例えば，伝送レートが 54Mbps と 6Mbps の端末が同時に通信した時には，両端末のスループットはそれぞれ 5.4Mbps となる．しかし，実際には，各端末のスループットは一定にならない可能性がある．

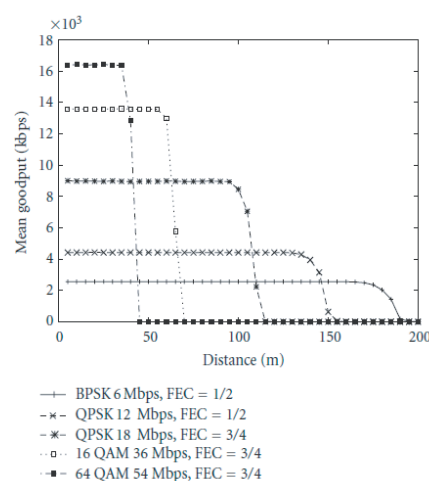


図 1 シミュレーションによるマルチレートのスループット

3. スループット低下要因

3.1 端末が 1 台の場合

本節では，スループット低下の原因となる，MAC 層の要因について述べる．MAC 層におけるスループット低下要因は，(1)MAC フレーム再送 (2) キャリアビジーの 2 点である．ノイズなどの影響により同じフレームが何度も送信されたり，ノイズがキャリアとみなされ，送信フレーム間隔が増大したりすると，送られるパケット数が少なくなるため，スループットが低下する．

MAC フレームの再送は，MAC フレーム送信に失敗したり，MAC フレームの ACK (ACKnowledgement: 確認応答) の送信に失敗したりして，送信側が ACK を受け取ることが出来なかったときに起こる．MAC フレームの再送はノイズ，またはコリジョンが原因で，フレームまたは ACK エラーにビットエラーが発生した時に起こる．再送が発生すると，キャリアが混雑していると判断され，後述する Contention Window サイズが大きくなり，待ち時間が長くなる．再送を繰り返すほど，待ち時間は長くなるため，スループットは大幅に低下する．再送回数の上限は決められおり，この再送回数に達しても ACK が

返ってこなかったフレームは破棄される．この再送回数の上限は、ベンダによって異なる．

シミュレーションにおいては、レイリーフェージングなどを考慮して、上記の MAC フレーム再送については考慮している．しかし、実環境においては、キャリアビジーの影響を無視することは出来ない．IEEE802.11 の MAC 層の規格である CSMA/CA においては、衝突を避けるために、キャリアを検知すると待ち時間が発生する．送信側が干渉波をキャリアと認識してしまった際には、受信側がその信号をキャリアと認識していなくても、送信側はデータを送信することが出来ず、待たなくてはならない．図 2 はこの様子を图示したものである．同一無線 LAN チャンネルで通信している端末が存在している時や、他の無線 LAN が多く存在する場所においては、キャリアビジーの影響が顕著であると考えられる．

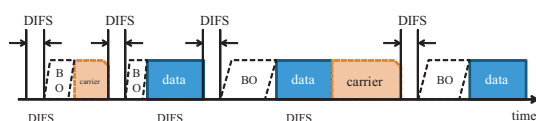


図 2 フレーム再送時の無線アクセス制御（ノイズ有）

3.2 MAC フレーム再送にかかる時間とキャリアビジーの時間の計算方法

ここでは、キャリアによる待ち時間、すなわちキャリアビジーによる影響を計算する方法を説明する．実験における観測値から、再送にかかる時間とキャリアビジー時間を分けることは困難であるが、以下のような方法が考えられる．再送にかかる時間は IEEE802.11 の規格から、Contention Window(CW) の最小値 (CW_{min}) と最大値 (CW_{max}) が分かれば、見積もることが出来る．CW は $CW_{min} \leq CW \leq CW_{max}$ のランダムな値であり、CW と slottime をかけたものがバックオフ時間となる．単純に再送が繰り返された場合にかかる時間の期待値は、再送回数が N 回の場合、式 (1) で求めることが出来る．後述する MAC フレームモニタで確認された送信時間から、式 (1) の時間を引いたものが、キャリアビジーであると推定できる．

再送時間の期待値

$$= (\text{DIFS} + \text{フレーム送信時間}) \times N + (\text{CW の合計}) / 2 \times \text{slottime} \quad (1)$$

3.3 端末が複数台の場合

端末が複数台の場合、各端末のスループットが異なる要因として上げられるのは、伝送レートの違い、コリジョン、端末の場所毎に異なる干渉波の強さ、キャプチャエフェクト、フレームごとの待ち時間である．

キャプチャエフェクトとは、電波強度の強さに依存し、より電波強度の強い端末の効果が表れることを言う．

フレームごとの待ち時間について詳しく説明する．CSMA/CA においては、チャンネルの利用状況を調べるための時間が規定されている．通常、フレームを送信する際には、チャンネルが利用可能かどうか調べるために、DIFS(DCF Inter-Frame Space)

時間待機する．ACK を送る際には、データよりも優先度を高めるため、DIFS 時間より短い SIFS(Short Inter-Frame Space) 時間の待機の後、ACK が送信される．フレームにエラーが生じた際には、DIFS 時間よりも長い EIFS(Extended Inter-Frame Space) 時間待機する．文献 [8] では、ACK を正常に受信できなかった端末は、EIFS 時間の待機が必要となるため、送信機会が減り、スループットが低下することがあるとしている．

6.2 節で、このうち要因として排除できるもの、要因として主に考えられるものを考察していく．

4. 実機実験

無線 LAN の通信品質は、周囲の状況に大きく依存する．通信品質に影響を与える要因としては、他の無線 LAN からの干渉、建物や壁や乗り物や人物による電波の反射、電子機器などからの雑音などがあり、場所や時間により影響の大きさが異なる．

4.1 端末数 1 台の場合

無線 LAN の AP と無線 LAN 子機である Ethernet Converter(EC) には、モバイルタイプの無線 LAN デバイスである市販の Planex 社 MZK-MF300N [12] を使用した．本機は、伝送レートを手動で固定することが出来る．また、電波強度の設定も可能である．CSMA/CA の詳細なパラメータは開示されていないため、 CW_{max} は、予備実験から推定している．他のパラメータは IEEE802.11g 準拠のものである．

測定は、電波干渉の多い屋外にて行った．AP がいくつも存在しており、同一チャンネルで使用されている AP も見られた．スループットの計測は、次の手順で行った．まず、AP を接続した端末（受信機）の位置を固定し、次に、EC を接続した端末（送信機）の位置を 1m 単位で移動させる．端末の OS は Windows XP、スループットの測定には Iperf [13] を使用し、送信機から受信機に UDP パケットを送信する．トラフィックをキャプチャするために、送信機のすぐ横に MAC フレームをキャプチャする機器 [14] を搭載した端末（MAC フレームモニタ）を設置した．

実験環境の概略を図 3 に示す．今回は IEEE802.11g の 8 つの伝送レートにおいて、実験計測を行った．

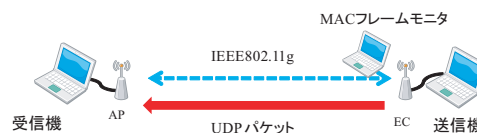


図 3 端末 1 台の実験概要図

今回使用した Iperf のコマンドは以下のとおりである．データ長は、デフォルトの 1470Byte である．

受信機 : iperf -s -u

送信機 r : iperf -c (受信機の IP アドレス) -u -b 200M

4.2 端末数 2 台の場合

伝送レートが異なる際の 2 台の端末数の振舞いを調べるために、Google 社より販売している Nexus S に Android のファーム

ウェアである CynagenMod を搭載して、iwconfig コマンドにて伝送レートを固定して実験を行った。実験は、比較的干渉波の少ない屋内で行った。今回実験で使ったチャンネルには、実験で使用する AP 以外は見られなかった。一台の端末 (STA1) の伝送レートを 54Mbps に固定して AP からの距離 0m 地点に設置し、もう一台の端末 (STA2) の伝送レートを 6Mbps に固定して、AP からの距離を離して、スループットの計測を行った。この実験では、端末の送信フレームの取りこぼしの少ないように、MAC フレームモニタ 2 台をそれぞれの端末に近くに設置している。概要を図 4 に示す。



図 4 端末 2 台の実験概要図

5. 実機におけるスループット評価

5.1 端末数 1 台の場合

図 5 に、上記の実験環境におけるスループット観測の結果を示す。シミュレーションによる階段状の結果とは異なり、干渉波の影響で、距離が離れるに従い、なだらかにスループットが低下した。3.1 節より、スループット低下の原因は MAC フレーム再送、キャリアビジーであるが、シミュレーションにおいては、MAC フレームの再送については考慮されているため、シミュレーションと実機の大きな違いは、キャリアビジーの有無であると考えられる。

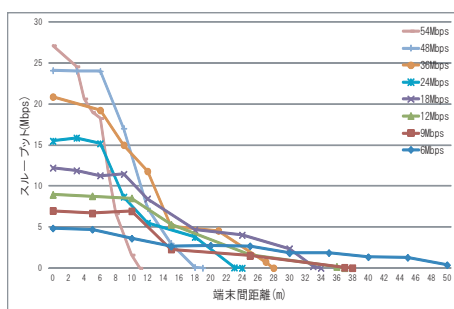


図 5 端末数 1 台の時の距離とスループット

5.1.1 電波強度とスループットの関係

伝送レート 54, 24, 6Mbps における、電波強度 15% の場合と、電波強度 100% の場合での計測結果を図 6 に示す。電波強度を弱めた場合、スループットの特性は相似であることが分かる。

5.2 端末数 2 台の場合

端末数 2 台での実験の結果を図 7 に示す。

STA2 の距離が離れるに従い、STA2 のスループットは低下し、STA1 のスループットは上昇する。シミュレーションにおいては、AP 全体のスループットを考える際に、端末の伝送レ-

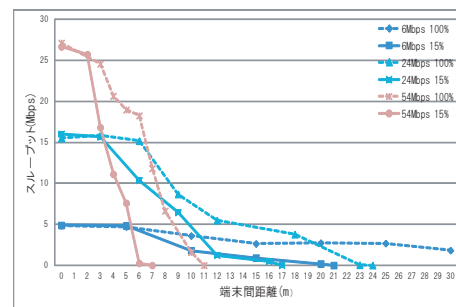


図 6 電波強度 15% と 100%

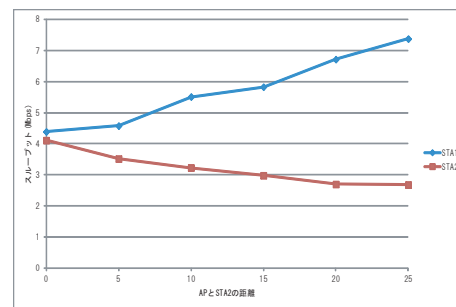


図 7 端末数 2 台の時の距離とスループット

トや位置を考慮していないが、実環境においては、各端末のスループットは一定にならない。

6. スループット低下原因の考察

6.1 端末数 1 台の場合

6.1.1 MAC フレーム再送

図 8 は、屋外における伝送レート 54Mbps、電波強度 15% における結果である。距離 6m 地点で、スループットはほぼ 0 に落ちており、6m 地点では MAC フレーム再送率が 85% という非常に高い値であった。これ以上の距離では、ビットエラーが多すぎるために、Iperf による接続を保つことが出来なかった。MAC フレーム再送率は、MAC フレームモニタで取得したフレームを解析し、式 (2) により計算した。

$$\begin{aligned} \text{MAC フレーム再送率} &= \left(1 - \frac{\text{再送に成功した MAC フレーム数}}{\text{送信 MAC フレーム数}} \right) \times 100 \\ &= \left(1 - \frac{\text{ACK 数}}{(\text{ACK 数} + \text{再送フラグ 1 のフレーム数})} \right) \times 100 \end{aligned} \quad (2)$$

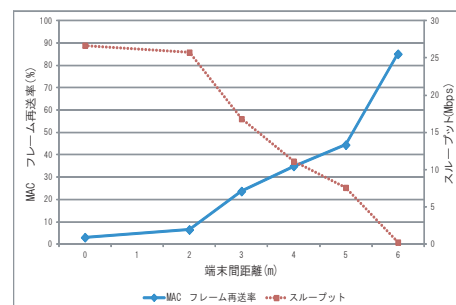


図 8 MAC フレーム再送率とスループット

6.1.2 キャリアビジー

端末数が1台の場合に、キャリアビジーがスループット低下に影響することを証明する。直接キャリアビジーの時間を求めるのは困難なため、再送にかかる期待値を計算することで、間接的にキャリアビジーを求める。前述の通り、モニタ端末で観測されるパケット送信間隔には、フレームの再送に加えてキャリアビジーによる待ち時間が含まれると考えられる。図9に、再送回数N回のフレームに対して、3.2節の式(1)で求められる再送にかかる期待値(実線)とモニタ端末で観測された実際にかかった時間である観測値(ドット)を示す。このデータは、伝送レート54Mbps、端末間距離6m地点におけるものである。再送遅延の期待値は、電波遮断袋を使用して電波干渉を可能な限り排除した環境での測定結果より $CW_{max}=511$ として計算した。

図9において、実線とドットの差分がキャリアビジーと考えられ、ノイズが多く含まれる場合には、観測値は期待値よりもかなり大きな値を記録しており、この差分の平均を式(3)で計算すると、約121%であった^(注1)。

$$\begin{aligned} & \text{キャリアビジー時間平均} \\ &= \sum_{i=1}^N \left(\frac{\text{再送 } i \text{ 回の観測値} - \text{再送 } i \text{ 回の期待値}}{\text{再送 } i \text{ 回の期待値}} \times 100 \right) / N \\ & \quad (N \text{ は最大再送回数}) \end{aligned} \quad (3)$$

図10に、他環境でのキャリアビジーを示す。結果は、屋外、屋内、そして同一チャネルで別無線LANが通信している場合の背景トラフィック有における結果である。この図から環境によって、含まれるキャリアビジーが異なることが分かる。シミュレーションにおいては、キャリアビジーによる待ち時間を考慮していないが、このように、他無線LANが存在する場合には、キャリアビジーの影響を考慮する必要がある。

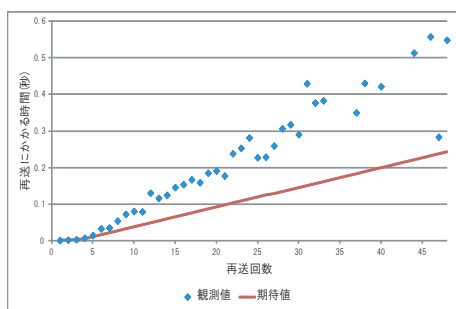


図9 再送回数とキャリアビジー

6.2 端末数2台の場合

6.2.1 フレームごとの待ち時間

スループット低下要因として、ACKエラーによる送信機会の減少があるが、MACフレームモニタにおいては、ACKエラーはほぼ検出されず、最大で1.5%であった。1.5%のACKエ

(注1): 今回の実験においては、再送回数の最大値(すなわちリトライアウト回数)は48回であった。この値は通常の市販AP等の機器においては、極端に大きい値である。通常の再送回数は7回程度である。

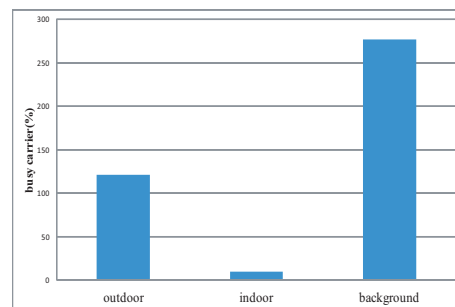


図10 様々な環境でのキャリアビジー

ラーが発生し、このフレームの分だけ EIFS 時間待機が起こった場合、スループットは0.255%の低下となるため、今回の実験においては、このACKエラーによる送信機会の不平等の影響はほぼないと考えられる。

6.2.2 場所ごとに異なる干渉波の強さ

本節では、場所ごとに異なる干渉波の強さが、スループットに影響を及ぼさないことを示す。図11は、STA2のそれぞれの位置における再送にかかった時間を示している。今回の結果では、距離に関わらず、平均して再送にかかる時間が比例して増えていることが分かるため、場所ごとによる干渉波の大きさは大差ないことが分かる。また、再送にかかる時間がそれぞれ、期待値よりも下回っているため、キャリアビジーの影響はないと言える。

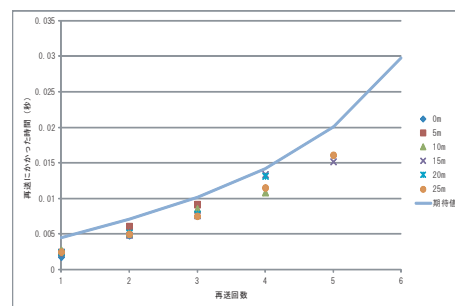


図11 端末数2台の時の距離とスループットとMACフレーム再送率

6.2.3 MACフレーム再送率

図12に、端末数2台の場合の、MACフレーム再送率を示す。棒グラフが、MACフレーム再送率である。STA2のMACフレーム再送率が増加するに従い、STA2のスループットが低下していることが分かる。これは、端末数が1台の時と同様、APとSTA2の距離が離れるに従い、ノイズによるMACエラー再送率が大きくなるためである。

6.2.4 コリジョン

図13に、STA2のMACフレーム再送率を示す。「1台通信」は、STA2が一台で通信した時の結果、「2台通信」は、STA1とSTA2が同時に通信した時の結果を表す。0m地点を除き、2台が同時に通信した時のMACフレーム再送率が高くなっている。MACフレーム再送の原因は、ノイズやコリジョンによるビットエラーである。STA2が一台で通信している時のMACフレーム再送の要因になるものは、ノイズだと考えられるため、

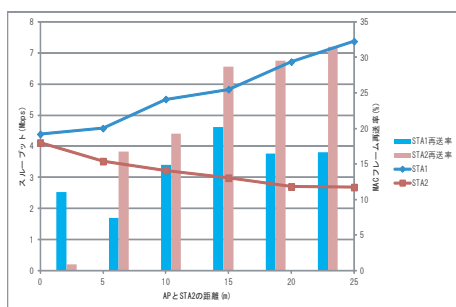


図 12 端末数 2 台の時の距離とスループットと MAC フレーム再送率

同時に通信するとき MAC フレーム再送率が増加する原因としては、コリジョンだと考えられる。

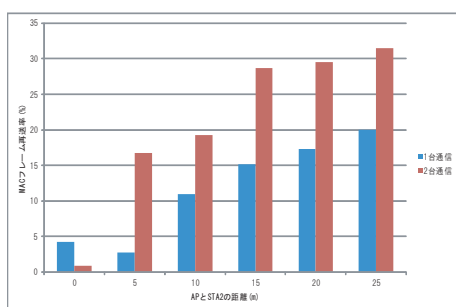


図 13 STA2 の MAC フレーム再送率

6.2.5 キャプチャエフェクト

本節では、キャプチャエフェクトが実際に起こっていることを示す。キャプチャエフェクトの影響を見るために、STA1 の電波強度をデフォルトの 32dBm から 15% に落とした 24dBm に設定し、AP からの距離が 10m の位置に固定した上で、STA2 の距離を変えてスループットの測定を行った。図 14 に、この時の結果を示す。

AP と STA2 の距離が近い場所においては、図 7 の時と異なり、STA1 のスループットが STA2 よりも低くなっている。これは、電波強度が大きな STA2 の方がよりスループットが高くなるというキャプチャエフェクトの影響であると言える。STA2 の距離が離れると、STA2 の電波強度が弱まり、その結果 STA1 のスループットの方が高くなる。

この結果は、実環境ではキャプチャエフェクトの影響が表れる可能性があることを示している。

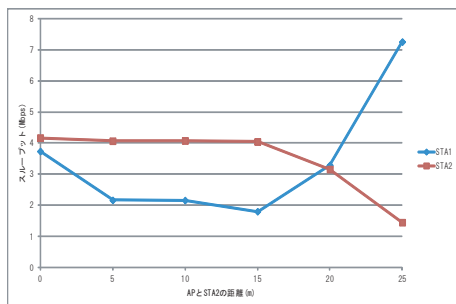


図 14 STA1 の電波強度 15%, 10m 地点の時の距離とスループット

以上のことから、伝送レートの異なる複数台での通信におい

ては、スループットは各端末で均等にならず、調和平均を用いて計算した時と実測値では、最大で 50.3% (STA2 が 25m 地点時) の差が観測された。その原因としてはコリジョンとキャプチャエフェクトであるということが出来る。したがって、シミュレーションにおいても、これらの要因を考慮すべきである。

7. まとめと今後の課題

本稿では、IEEE802.11g において、実機によるマルチレートでの伝送レート別のスループット特性の調査を行った。その結果、端末数が 1 台の場合には、どの伝送レートについても、シミュレーションにおける結果とは異なり、AP と端末間の距離が離れるに従い、スループットは連続かつ単調に低下していくことを確認した。

特に屋外での実験では、キャリアビジーによる待ち時間は、121 % も存在し、無視できないほど大きいことが判明した。従って、屋外を対象としている制御・評価におけるシミュレーションでのスループットの計算には、キャリアによる待ち時間を充分考慮すべきであるといえる。

また、伝送レートの異なる端末のスループットは、各端末で均一ではないことを確認し、調和平均と実測では最大で 50.3% の差が生じることを確認した。原因の一因は、コリジョンとキャプチャエフェクトであるとの考察を行った。

今後は、これらの結果を用い、実機環境において既存の AP 選択方法を検証していくことを課題とする。

謝辞

本研究は一部、独立行政法人情報通信研究機構の委託研究「新世代ネットワークを支えるネットワーク仮想化基盤技術の研究開発・課題ウ 新世代ネットワークアプリケーションの研究開発」によるものである。また本研究を進めるにあたり大変有用なアドバイスを頂いた神戸大学の太田能先生に深く感謝致します。

文 献

- [1] Y. Bejerano, S. J. Han: "Fairness and load balancing in wireless lans using association control", IEEE Transactions on Communication Technology, vol.15, no.3, Jun. 2007
- [2] G. Fanglu, C. Tzi-cker: "Scalable and Robust WLAN Connectivity Using Access Point Array", Proc. of IEEE DNS 2005 pp. 288, Jul. 2005.
- [3] H. Gong, K. Nahm, J. Kim: "Distributed fair access point selection for multi-rate IEEE 802.11 WLANs", Proc. of IEEE CCNC 2008, pp. 528-532, Jan. 2008.
- [4] Z. Yanxiao, S. Min, W. Jun, E. K. Park: "Throughput Measurement-Based Access Point Selection for Multi-rate Wireless LANs", WASA 2009, LNCS 5682, pp.509-518, 2009
- [5] M. Abusubaih, A. Wolisz: "On Access Point Selection in IEEE802.11Wireless Local Area Networks", Proc. of IEEE WLN 2006, Nov.2006
- [6] S. Miyata, T. Murase, K. Yamaoka: "Characteristic analysis of an access-point selection for user throughput and system optimization based on user cooperative moving", IEEE CCNC2012 Jan. 2012.
- [7] S. Miyata, T. murase, K. Yamaoka: "An access-point selection algorithm for user QoS and system optimization by user cooperative moving", 2011 Network of the Future Con-

- ference (NoF'11), 2011.
- [8] F.Miki, D.Nobayashi, F. Yutaka, I. Takeshi: "Performance Evaluation of Multi-Rate Communication in Wireless LANs", Proc. IEEE CCNC 2010, Jan. 2010.
 - [9] M.HosseinManshaei, "An Evaluation of Media-Oriented Rate Selection Algorithm for Multimedia Transmission in MANETs", EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking pp757-773, May 2005.
 - [10] A. Kamerman, L. Monteban,: "WaveLAN-ii: a high-performance wireless LAN for the unlicensed band", Bell Labs Technical Journal, vol.2, no.3, pp.118-133, 1997.
 - [11] IEEE 802.11, 1999 Edition, Available at <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-1999.pdf>
 - [12] Planex MZK-MF300N
<http://www.planex.co.jp/product/router/mzk-mf300n/>
 - [13] Iperf
<http://sourceforge.net/projects/iperf/>
 - [14] AirPcap
<http://www.cacotech.com/products/airpcap.html>