

無線 LAN におけるマルチレート多重 QoS 特性の実機計測

尾 居 愛 子^{†1} 山 下 暁 香^{†2} 岩 木 紗 恵 子^{†2}
村 瀬 勉^{†3} 塩 田 茂 雄^{†1} 小 口 正 人^{†2}

無線 LAN では，マルチレートの伝送をサポートしており，距離に関係なく良好な通信を行うことが可能になっている．無線 LAN の DCF というアクセス方式では，CSMA/CA を用いているため，送信機会が均等になる．従って，理論上，伝送レートに関わらず，無線 LAN システム内の全端末のスループットが均等であると，シミュレーション評価では仮定がなされる事が多い．しかし，実際には，遠距離通信では，ノイズの影響やキャプチャエフェクト，コリジョン，キャリアビジーなどの要因でスループットは均等にはならない．この事は従来研究の実機実験にて，1 つの伝送レートの組み合わせで検証済みである．これに対し，本稿では，複数の伝送レートの組み合わせ，また，AP または遠距離にある端末付近にノイズ源がある環境において，距離によるスループット低下と MAC フレーム再送率の関係を明らかにした．更に，AP に対して近距離と遠距離でそれぞれ 1 台ずつの端末が通信しているとき，双方の端末が一定以上の距離になると遠距離で通信している端末の方がスループットが高くなる現象を確認し，これは，端末同士が一定以上の距離を離れるとお互いのキャリアを検知できなくなることが原因であるという仮説を立てた．

Actual measurement of the characteristics of multi-rate multi-QoS on wireless LAN

AIKO OI,^{†1} AKIKA YAMASHITA,^{†2} SAEKO IWAKI,^{†2}
TUTOMU MURASE,^{†3} SHIGEO SHIODA^{†1}
and MASATO OGUCHI^{†2}

For Wireless LANs support multi-rate transmission, good communication can be realized regardless of the distance of the terminals and access points. In the DCF, all terminals have the same access opportunities because of CSMA/CA. Thus, the throughput of each terminal in a wireless LAN system is often assumed to have the same throughput in a simulation evaluation. However, in real situations, throughput is not the same. Our previous studies show the influence of noise, capture effect, collision or carrier busy on the throughput of

each terminal in wireless LANs. In this paper, we show the relationship between throughput and MAC frame retransmission in various combinations of transmission rates of terminals, and we also concern an environment that the source of noise exists around the terminal. In addition, we observe a phenomenon that the distant terminal achieves higher throughput than the close terminal in some situations. The phenomenon could be explained by the unawareness of carrier of terminals of each other.

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（以下 AP）は複数の端末に対応するために広いエリアで効率的な通信を行う必要があるため，複数の伝送レートに対応している．電波環境が良好な端末には高い伝送レートで，電波環境が劣悪な端末には低い伝送レートでの通信を行うため，それぞれの端末は，電波環境に合わせて適切に通信することが可能となる．

IEEE802.11 DCF をメディアアクセス制御に用いる無線 LAN では，CSMA/CA の機能により，各無線端末の送信機会は均等になるため，伝送誤りが発生せず，端末が互いのキャリアを正確に検出できるという理想的な条件下においては，各端末は等しいスループットを獲得する．理論やシミュレーションによる評価では，このような理想的な条件が仮定されることが多い．しかし，実際には，ノイズの影響による伝送誤りやキャプチャエフェクトなどの要因で，各無線端末のスループットは必ずしも均等にはならず，AP と端末の位置関係や伝送レートがスループットに複雑に影響すると考えられる．

そこで，本稿では，以下の 2 種類の実機実験によって，AP と端末の位置関係や伝送レートがスループットに及ぼす影響を評価した．

^{†1} 千葉大学

Chiba University

^{†2} お茶の水女子大学

Ochanomizu University

^{†3} NEC クラウドシステム研究所

Cloud System Research Laboratories NEC Corporation

1. 端末 1 台が AP と通信している場合

2. 端末 2 台が AP と通信している場合（1 台は AP の近くで通信し、もう 1 台は AP から遠ざかる端末）

1, 2 の双方において、AP から端末が遠ざかると、遠ざかる端末のスループットが一般的に低下するが、スループット減少の要因は以下のように異なる。1 においては、AP から端末が遠ざかるほど、SN 比低下による伝送誤りが発生しやすくなり MAC フレーム再送が頻発することがスループット低下の原因であるが、2 においては、2 台の端末が同時に 1 つの AP に通信するため、MAC フレーム再送に加え、キャプチャエフェクトやコリジョンもスループット低下の原因となると考えられる。上記で述べたことは、伝送レートの組み合わせによっては、スループットの低下に大きな差異を生じさせる可能性があり、また、特異な環境下では全く異なった挙動を示す可能性もある。

本研究では 2 台の端末の伝送レートの組み合わせを様々に変えて、AP からの距離とスループット（および MAC 再送率）との関係を調査した。更に、特異な環境下での実験として、スループット低下における挙動の変化がより顕著に表れると考えられる、ノイズ源がそれぞれの端末の近くにある場合についても同様に調査した。その結果、一般には AP から遠い端末の方が、スループットが低下する傾向があることを確認したが、特定の伝送レートの組み合わせの場合は、AP から遠く離れた端末の方が近くにある端末よりも高いスループットを獲得する現象が確認された。これは、ある一定の距離以上になると、互いに相手端末のキャリアを感じなくなることが原因であると仮説を立てた。

本論文の流れは以下の通りである。まず、2 章にて関連研究とその問題点を述べ、本論文の位置づけを明確にする。3 章では実験概要を説明し、4 章で端末 1 台による実機実験、5 章で端末 2 台による実機実験の結果を示し、考察を行う。6 章でまとめと今後の課題を述べる。

2. 関連研究

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。

AP 選択や伝送レート適応については、文献³⁾⁻⁵⁾のように、最適な AP 選択について述べた論文や、文献⁷⁾のように、輻輳が起きている時とノイズがある環境化を区別して、適し

た伝送レートを適応する手法を提案している論文がある。

しかし、これらのシミュレーションによる実験では、クライアントの位置関係に関わらず、MAC フレーム再送が発生しない距離においては、常に一定のスループットで通信可能としているが、実環境においては、AP からの距離に応じて、ビットエラー及びキャリアビジーの影響が大きくなり、スループットが低下するはずであると考えられている。本研究では、実機を用いた実験を行い、スループット特性およびスループット低下要因について、MAC フレーム再送率との関係を明らかにすることで定量的に示すことを目的としている。

従来研究¹⁾において、実際に、端末と AP の距離が遠くなると、距離に依存してスループットが低下し、2 台の端末と AP が通信しているときは、MAC フレーム再送とキャリアビジー、キャプチャエフェクト、コリジョンなどの要因により、スループット低下が起こる事とその要因が定量的に示されている。しかし、文献¹⁾においては、2 台の端末の伝送レートがそれぞれ 6, 54Mbps の 1 通りの組み合わせのみしか行われていない。それに対し、本稿では、さらにさまざまな伝送レートの組み合わせで実機実験を行い、AP と端末の位置関係がスループットに与える影響を明らかにした。

3. 実験概要

ここでは、今回行った実験の概要と機器について説明する。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。一般に、屋内では性能を低下させる要因は小さく、屋外では大きい。今回は周囲からの影響が小さい屋内での実験結果について述べる。実験場所はオフィスと実験室が混在する廊下であり、幅 2.5m、長さ 60m 程度の一直線の廊下である。スループットの計測は、次の手順で行った。まず、AP に有線接続した端末（受信機）に対して、送信機である STA の位置を変化させて、通信を行う。スループットの測定には Iperf¹⁰⁾ を使用し、STA から受信機に UDP パケットを送信する。STA におけるパケットの解析のために、STA のすぐ横に MAC フレームをキャプチャする機器⁹⁾を搭載した端末（MAC フレームモニタ）を設置した。尚、無線 LAN の規格は全ての実験において 802.11g である。

今回使用した Iperf のコマンドは以下のとおりである。帯域幅を 200Mbps と十分に大きさに設定し、データ長は、Iperf のデフォルトである 1470Byte で、1 回の測定につき 40 秒

間の通信を行った．これは，通信の不安定な最初と最後の 5 秒間のスループットを破棄し，間の 30 秒間のスループットの平均を取るためである．スループットは 3 回の計測の平均値を採用している．

受信機：iperf -s -u

STA：iperf -c (受信機の IP アドレス) -u -b 200M -t 40 -i 5

最後に，実験に使用した機器について述べる．無線 LAN の AP には市販されている主として家庭用の AP である WHR-HP-G54¹²⁾ と，この AP の組み込みファームウェアを dd-wrt¹³⁾ というユーザインタフェースを拡張したファームウェアに変更して用いた．また，STA としては，無線を通信回線とする携帯電話と無線有線もどちらも通信回線とするノート PC の 2 種類を準備した．携帯端末としては，改造が容易な Nexus S¹⁵⁾ 端末と，この Android のファームウェアをやはりユーザインタフェースを拡張したファームウェアである CyanogenMod¹⁶⁾ に変更したものを使用した．これらにより，Linux の iwconfig コマンドと同様に伝送レートや電波強度を変更・固定することが可能となる．ノート PC に対しては，モバイルタイプのイーサコンバータ (EC) (イーサから無線 LAN への変換機器) である市販の MZK-MF300N¹⁴⁾ を使用した．本 EC は，伝送レートを手動で固定する機能が備わっており，電波強度の設定も可能である．今回の機種は民生用の汎用品を用いており，今回の結果は，その他の類似の機器を用いても同様の結果が得られると思われる．

4. 実機実験 (STA1 台)

STA が 1 台の場合の実験内容と結果について述べる．以下に実験環境の概略図を図 1 に示す．

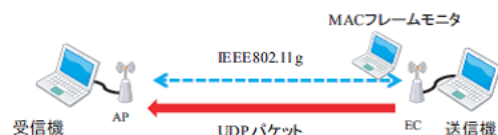


図 1 端末 1 台の実験概要図

第 3 章で述べた 2 種類の STA を用いて，伝送レートを 54Mbps，電波強度をデフォルト

値の 15%，AP から STA2 までの距離を最大 38m までとしてスループットを計測した．今回の実験環境は，屋外と比較して電波干渉の少ない屋内であり，かつ，AP からの距離が限られているため，電波強度を落として実験を行った．また AP から STA2 までの最大距離を 38m としたのは，それ以上の距離になると急激に周囲からの干渉波の影響が大きくなり，ビットエラーが大きすぎるために Iperf による接続を保つことが出来なかったためである．

図 2 (MZK-MF300N)，図 3 (Nexus S) に MAC フレーム再送率，MAC レベルスループット，及び UDP スループットと AP からの距離との関係を示す．ここで，MAC レベルスループットとは MAC フレームの再送を含むスループットであり，UDP スループットは UDP ペイロードのみを考慮している．MAC レベルスループットでは，再送した MAC フレームも 1 パケットとしてカウントしているが，UDP スループットではそれをカウントしない．つまり，MAC レベルスループットから UDP スループット相当の正常 MAC フレームのスループットを差し引いたものが再送 MAC フレームのスループットとなる．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 (1) により計算した．

$$\begin{aligned} \text{MAC フレーム再送率} & \\ = (1 - \frac{\text{再送に成功した MAC フレーム数}}{\text{送信 MAC フレーム数}}) \times 100 & \quad (1) \end{aligned}$$

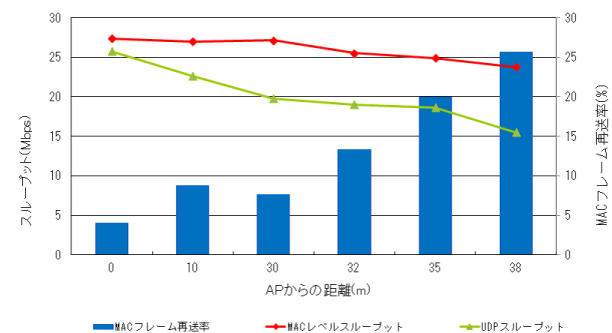


図 2 MZK-MF300N 1 台の時の距離とスループットと MAC フレーム再送率

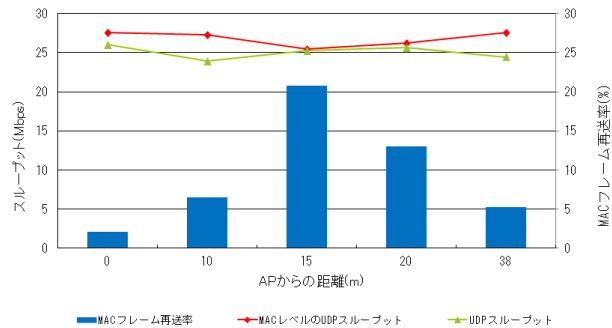


図 3 Nexus S 1 台の時の距離とスループットと MAC フレーム再送率

図 2 と図 3 より、今回の実験環境においては、STA が MZK-MF300N の場合は、AP から遠ざかるにつれスループットが大きく低下したが（図 2）、Nexus S の場合はスループットが AP からの距離にあまり依存しない結果となった（図 3）。

尚、STA が Nexus S の実験では、AP からの距離が 15m と 20m 地点におけるスループットが極端に不安定であった。これは局所的に周囲からの干渉波の影響が大きかった為と考えられ、それにより図 3 における 15m と 20m 地点の MAC フレーム再送率は極端に大きい値をとったものとする。したがって、今回の考察では 0, 10, 38m 地点のものだけを考慮した。

先にも述べたように、AP から離れていく STA のスループット低下の要因としては、MAC フレーム再送が挙げられる。AP からの距離が大きくなるほどビットエラーが発生しやすく、それにより MAC フレームの再送率が高くなり、結果として STA のスループットが低下するためと考えられる。

5. 実機実験（STA2 台）

この章では、STA が 2 台の場合の実験内容と結果について述べる。STA にはどちらも Nexus S を使用した。STA2 台のうち、1 台の端末 (STA1) は AP からの距離 0m 地点に設置し、もう 1 台の端末 (STA2) は AP からの距離を離して、それぞれの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近くに設置している。以下に実験環境の概略図を図 4 に示す。



図 4 端末 2 台の実験概要図

5.1 様々なマルチレートの組み合わせによる実験

5.1.1 同一伝送レートにおける実験

上記で述べた実験を、伝送レートを 54, 6Mbps にそれぞれ両端末とも同一に固定し、スループットを計測した。また、伝送レートを固定せず、端末に適応的にレートを選択させた場合の実験も行った。以下に、実験結果を示す。

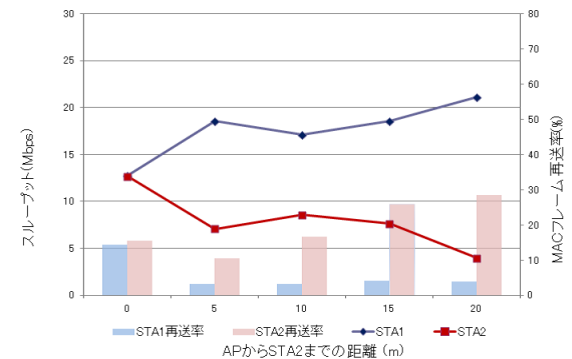


図 5 伝送レートが 54Mbps の時の距離とスループットと MAC 再送率

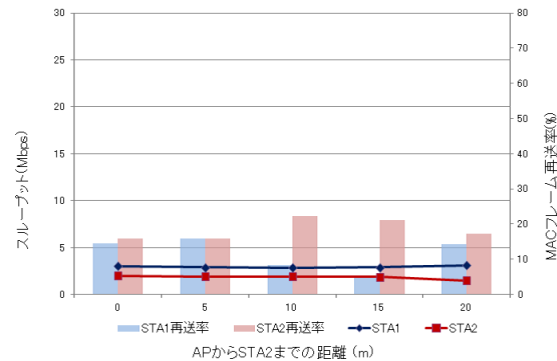


図 6 伝送レートが 6Mbps の時の距離とスループットと MAC 再送率

図 5 より，STA2 が AP から離れるに従い 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ことがわかる．AP から STA2 までの距離が 0m の地点では，STA1 及び STA2 のスループットが均等であることから，理論に沿った結果である．しかしながら，それ以降はスループットの値が均等になることは無く，調和平均を用いて計算した値と実測値との差について言えば最大で 85.3%（STA2 が 20m 地点時）にもなった．前章で確認したようなスループットが距離に大きく依存することを，端末が 2 台の場合でも STA2 の MAC フレーム再送率から確認できる．これにより STA2 のスループットが下がった分だけ，STA1 のスループットは高くなる．

同様の結果が，レートを端末に適応的に選択させた場合の実験結果からも確認できた．しかしながら，レートを適応的に選択させた場合は 15～20m 地点においては，それまでのスループットの増加・低下傾向が変転するという現象が見られた．つまり，それまで下がり続けていた STA2 のスループットが 15m から 20m の地点にかけて上昇し，逆に，STA1 のスループットは低下するという結果である．この要因については次の節を参照されたい．

次に図 6 について述べる．伝送レートが両方とも 6Mbps の場合は，AP からの距離にかかわらずスループットが一定の値に保たれていることがわかる．これは伝送レートが 6Mbps の場合，54Mbps に比べて単純な変調方式（BPSK）が用いられており，AP から遠く，SN 比が小さくともビットエラーが生じにくいことから，AP からの距離にかかわらず MAC フレーム再送率が低く抑えられるためと考えられる．尚，この場合の調和平均を用いて計算し

た値と実測値との最大差は 50.0%（STA2 が 20m 地点時）であった．

5.1.2 異なる伝送レートにおける実験

次に，STA1 の伝送レートを 54Mbps，STA2 の伝送レートを 36，12，6Mbps にそれぞれ固定し，実験を行った．6Mbps 固定の実験に関しては，電波強度をデフォルトの 15% の 24dBm とデフォルト値の 32dBm に設定した場合の 2 種類の実験を行った．図 7，図 8，図 9 に結果を示す．

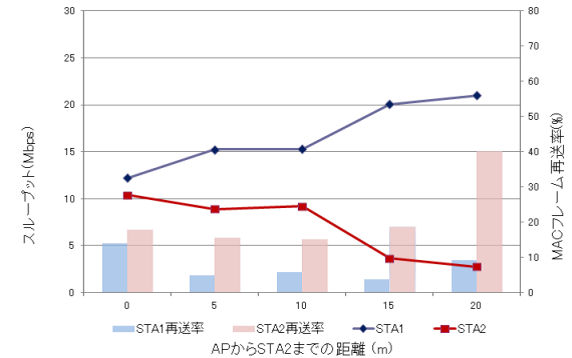


図 7 伝送レートが 54M-36Mbps 時の距離とスループットと MAC 再送率

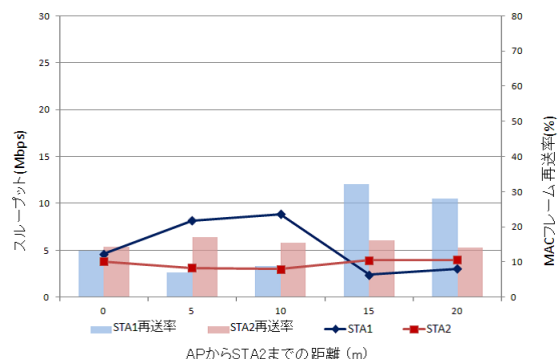


図 8 伝送レートが 54M-6Mbps 時の距離とスループットと MAC 再送率 (24dBm)

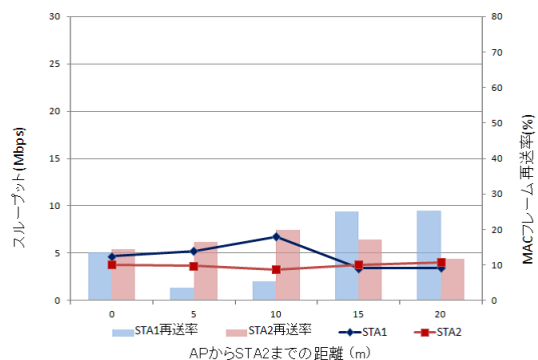


図 9 伝送レートが 54M-6Mbps 時の距離とスループットと MAC 再送率 (32dBm)

結果より、図 7 については図 5 とグラフの形が類似しているが、残りの 2 つのグラフについては明らかに異なった形をしていることがわかる。図 8 と図 9 において、15m 以降の距離になるとスループットの上下が入れかわり、電波強度が強い場合 (32dBm)、その差は小さい。このような現象は STA2 の伝送レートを 12Mbps に固定した場合でも見られた。このような結果が生じた要因について以下のように考える。まず図 2 や図 3 に示されているよ

うに、AP から離れるほどフレーム再送率が増加する傾向があるため、互いのキャリアが検知できる状態であれば、AP に近い STA1(54Mbps) のスループットの方が高くなるはずである。事実、AP から STA2 までの距離が 0~10m までの範囲では、STA1 の方が STA2 よりも高いスループットを獲得している。しかし、15m 以上の距離では、STA1 と STA2 は互いのキャリアを検知できなくなるならば、2 台とも MAC フレームを同時に送信し、フレーム衝突がおきる回数が増える。衝突の際、6Mbps の伝送レートで送信される STA2 からの信号は、54Mbps で送信される STA1 からの信号よりもビット誤りが生じにくく、STA2 のフレームは正しく AP に受信される一方で、STA1 のフレームは失われる現象 (キャプチャエフェクト) が生じ、結果として遠くにいる STA2(6Mbps) のスループットが優ってしまったと考えられる。尚、電波強度を強くした時にスループットの差が小さくなったのは、互いのキャリアをより検知しやすくなり、上記の現象 (キャプチャエフェクト) が生じにくくなったためと考えられる。

今回の実験における、調和平均を用いて計算した値と実測値との最大差であるが、STA2 の伝送レートが 36Mbps の場合は 87.2% (STA2 が 20m 地点時)、12Mbps の場合は 58.5% (STA1 が 20m 地点時)、6Mbps(24dBm) の場合は 64.0% (STA1 が 10m 地点時)、6Mbps(32dBm) の場合は 40.0% (STA2 が 10m 地点時) であった。

5.2 ノイズ源がある場合

ここでは、局所的にノイズ源があるような環境下における、AP から STA2 までの距離とスループットの関係を示す。本実験では、MAC フレーム受信機会制御 (Receive Opportunity Control in MAC Frame⁸⁾) という機能を有する実験機器 (以下 ROC) を用いて、局所的なノイズ源を再現した。ROC は、予め指定された MAC アドレスを持つ端末からのフレームを AP から受信した場合、フレーム受信を知らせる AP からの ACK を破壊する機能を持つ。このため、ROC の制御対象となった端末は AP から ACK を受け取ることができない。そのため再送を強いられることとなり、スループットが低下する。同様に、ノイズ源の中にある端末もまた、ノイズによるビットエラーの増大から再送回数が増え、スループットが低下する。以上のことから、2 つある端末のうち一方の端末のみ ROC の制御対象とすることで局所的なノイズ源を再現し、その時の AP から STA2 までの距離とスループット及び MAC フレーム再送率との関係を調査した。

5.2.1 AP の近くにノイズ源がある場合

AP の近くにある端末 (STA1) を ROC の制御対象とする．ここで，STA1, 2 の伝送レートをともに 54Mbps とし，ACK を破壊する確率を 50%とした．以下に結果を示す．

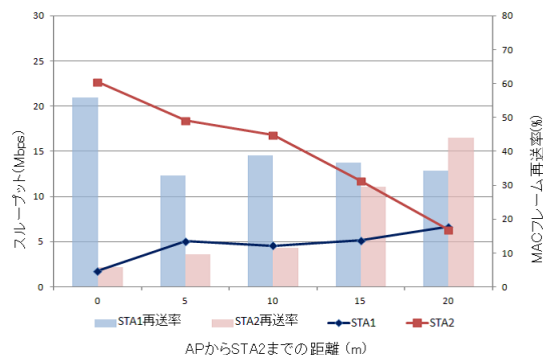


図 10 STA1 に ROC50% を設定した時の距離とスループットと MAC 再送率

図 10 と図 5 を比較してみると，ちょうど点対象に近い形のグラフとなっていることがわかる．AP 近くの STA1 にノイズ源があるため，本来ならば高くなっていくはずのスループットが抑えられ，かわりに MAC フレーム再送率が高いままであることが確認できる．また STA2 については，AP 間との距離が次第に大きくなるにつれ MAC フレーム再送率が増加し，スループットが急激に低下している．20m 地点ではノイズ源にある STA1 よりも MAC フレーム再送率が高くなってしまっている．このことから，距離とスループットの依存性が高いことが確認できる．

5.2.2 AP の遠くにノイズ源がある場合

AP から離れたところにある端末 (STA2) を ROC の制御対象とする．ここで，STA1, 2 の伝送レートを 54M, 6Mbps とし，ACK を破壊する確率を 50%とした．以下に結果を示す．

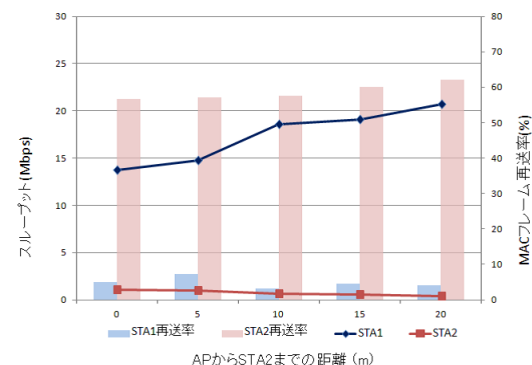


図 11 STA1 に ROC50%を設定した時の距離とスループットと MAC 再送率

図 11 と図 8，図 9 を比較してみると，STA2 におけるノイズ源の有無によって，各端末のスループットの挙動が大きく異なることがわかる．AP の遠くで，かつノイズ源があると，ビットエラーが生じにくい 6Mbps の伝送レートでも，かなり高い確率で MAC フレームを再送することになってしまったことが確認できた．

6. まとめと今後の課題

本研究では，IEEE802.11g において，様々な伝送レートの組み合わせにおける，AP から端末までの距離とスループット及び MAC フレーム再送率との関係を，実機によって調査した．その結果，AP から遠ざかるほどスループットは低下する傾向があること，複数の端末が AP を使用する場合は AP に近い端末の方が高いスループットを獲得すること，これから AP からの距離がスループットに与える影響は伝送レートに依存する（伝送レートが低いほど距離の影響は小さい）こと等が確認できた．更に，調和平均を用いて計算した値と実測値との差は最大で 87% も生じていたことから，AP から端末までの距離とスループットの関係性は重要視すべきであると考えられる．

一方，今回の実験では，AP の遠くにある端末のほうが近くの端末よりもスループットが高くなるという，通常とは異なる現象も確認された．この現象については，端末同士が互い

のキャリアを検知できない距離にあれば、端末の伝送レート（変調方式）の違いで説明可能であることを示した。しかし、建物の構造、間仕切り、什器の配置等によっては、AP から遠ざかるほど単調にスループットが低下するとは限らず、端末同士のキャリアセンスの可否や伝送レートの違い以外の要因によって説明できる可能性もあると考えられる。

今後はこれらの事を踏まえ、実機環境におけるスループットの挙動をより詳細に調査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。

参 考 文 献

- 1) 岩木紗恵子, 村瀬勉, 小口正人, “ 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 選択方式の評価, ”DEIM Forum 2012, March 2012 .
- 2) 岩木紗恵子, 村瀬勉, 小口正人, “ 無線 LAN におけるマルチレート特性の評価, ”DI-COMO2011, July 2011 .
- 3) D. Han, D. G. Andersen, M. Kaminsky, K. Papagiannaki, S. Seshan, “Acces Point Localizatio Using Logal Signal Strength Gradien,” Network Mesurement, LNCS 5448, pp. 91-100, 2009.
- 4) D. Han, A. Agarwala, D. G. Andersen, M. Kaminsky, K. Papagiannaki, S. Seshan, “Mark-and-Sweep:getting the ”Inside” Scoop on Neighborhood Networks,” IMC08, 2008.
- 5) M. Abusubaih, A. Wolisz, “Interference Aware Decetralized Access Point Selection Policy for Multi-Rate IEEE 802.11 Wireless LANs,” IEEE PIMRC, 2008.
- 6) F.Miki, D.Nobayashi, F. Yutaka, I. Takeshi, “Performance Evaluation of Multi-Rate Communication in Wireless LANs,” IEEE CCNC, 2010.
- 7) P. A. K. Acharya, A. Sharma, E. M. Belding, K. C. Almeroh, K. Papagian-naki, “Rate Adaption in Congested Wireless Networks through Real-Time Mea-surements,” IEEE Transactions on Mobile Computing, vol.9, no.11, pp.1535-1550, 2010.
- 8) Tutomu Murase, Kousuke Uchiyama, Yumi Hirano, Shigeo Shioda and Shiro Sakata, “MAC-frame receiving opportunity control for flow QoS in wireless LANs,” IEICE Trans. Commun., vol.E92-B, no.1, pp.102-113, 2009.

- 9) AirPCap
<http://www.cacotech.com/products/airpcap.html>
- 10) Iperf
<http://sourceforge.net/projects/iperf/>
- 11) Wireshark
<http://www.wireshark.org/>
- 12) WHR-HP-G54
<http://buffalo.jp/products/catalog/item/w/whr-hp-g54/>
- 13) dd-wrt
<http://www.dd-wrt.com/site/index>
- 14) MZK-MF300N
<http://www.planex.co.jp/product/router/mzk-mf300n/>
- 15) Nexus S
<http://www.android.com/devices/detail/nexus-s>
- 16) CyanogenMod
<http://www.cyanogenmod.com/>