無線LANにおけるマルチレート特性の評価

岩木　紗恵子[†1]　村瀬　勉[†2]　小口正人[†1]

無線 LAN 網，IEEE802.11a/b/g/n においては，環境に応じた通信品質向上のため，マルチレートに関する標準仕様が定められている．しかし，実際の環境でどのようなレートを用いるべきか，それにより実際にどの程度のスループットが得られるかといった現実的な評価はなされていない．本稿では，実際にマルチレートが有効に機能するような環境として，実機を用いて屋外にて，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を計測した．計測結果においては，既存のシミュレーション結果に比べて，より距離に敏感に反応して単調に減少するスループット特性が観測された．

Characteristic of Multirate through wireless LAN

Saeko IWAKI,[†1] Tutomu MURASE[†2]
and Masato OGUCHI[†1]

IEEE802.11a/b/g/n defines Multi-rates specifications for the sake of QoS improvement. Each rate of the Multi-rates has different QoS characteristics such as throughput. Relation between throughput and distance of a terminal from an AP has been already investigated in computer simulations but not in real machines. In this study, throughputs corresponding to a distance on each rate are measured in outdoor. Measured throughput is more sensitive than that of the simulation results, and is monotonically decreasing as distance increasing from an AP.

†1 お茶の水女子大学
Ochanomizu University
†2 NEC プラットフォーム研究所
System Platforms Research Laboratories NEC Corporation

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）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．電波環境が良好な端末には高い伝送レートで，そうではない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最適なスループットを得るような通信が可能となる．

一般に，AP と端末間の距離が離れれば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，新規端末が接続するべき 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)7)] 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 選択問題の多くは評価において理論値あるいはシミュレーションによる評価値を用いている．シミュレーションにおける実験値としては，例えば，文献[7)] では，MAC フレーム再送が発生しない距離の閾値内では常に一定のスループットである，つまり距離に応じて階段状の通信容量を得られるとモデル化している評価値がある．

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，連続的にスループットが下がることが予測される．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，既存のマルチレートモデルとの差異を考察する．

本稿の流れは以下のとおりである．まず，2 章で無線 LAN のマルチレートと既存研究の問題点について説明し，3 章で実験の結果を提示する．最後に 4 章で本稿のまとめを述べる．

2. 無線 LAN のマルチレート通信方式

2.1 無線 LAN のマルチレート仕様

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おらず，現在は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[8] のような報告が１つのリファレンスになっている．これによれば，劣悪な電波環境により高速な伝送レートを維持できなくなった場合には，低速な伝送レートへ切り替え（フォールバック），電波環境が良好な場合には高い伝送レートへ変更を行うマルチレート制御が行われている．このようなメカニズムにより，環境の異なる複数の端末を効率的に収容することができる．

2.1.1 IEEE802.11 の伝送レート

現在，主に使用されている無線 LAN の規格[9] である IEEE802.11a/b/g/n に関する伝送レートについて述べる．使用する周波数帯は，IEEE802.11a/n は 5GHz 帯，IEEE802.11b/g/n は 2.4GHz 帯で，5GHz 帯を利用する IEEE802.11a/n の一部を除き，屋内外で免許不要で使用することができる．通信速度の理論的な最大値は，IEEE802.11b で 11Mbps，IEEE802.11a/g で 54Mbps，IEEE802.11n で 600Mbps である．一方，実際にアプリケーションが期待することが出来るスループットに関しては，後述する MAC フレームなどのヘッダや，他の電波の干渉などの影響により実効スループットはこの半分程度になる．後述するように，実機実験値でも実効スループットが半分程度であった．

マルチレートの規定値として[9][10]，IEEE802.11b では 11，5.5，2，1Mbps の 4 つ，IEEE802.11a/g では 54，48，36，24，18，12，9，6Mbps の 8 つの伝送レートが定義されている．通常，AP やイーサネットコンバータ（以下 EC）の伝送レートは前述のように各ベンダのアルゴリズムにより電波環境に応じた適切なものが設定されるが，製品によっては手動で上記の伝送レートの１つを指定して固定できるものも存在する．ただし，これは後述する MAC フレーム（データフレーム）に関する伝送レートであって，ACK フレームに関しては，MAC フレームと同じレート，あるいはより低いレートを用いることになっている．例えば，IEEE802.11a/g では 54，48，36，24Mbps の MAC フレームに対しては，24Mbps，そして，18，12，9，6Mbps の MAC フレームに対しては，それぞれ，18，12，9，6Mbps の伝送レートで ACK フレームを返すことになっている．

これは確実に ACK を受け取るための機能である．一般にあるビットエラーを仮定したときに，ビットエラーで正常に受信されない確率は，データ MAC フレームに比べて ACK フレームは非常に小さくなる．すなわち，データ MAC フレームが相手に届いたにもかかわらず，ACK フレームが相手に届かないという状況が起こる可能性は低い．

2.2 MAC フレーム再送，IP パケット破棄とスループット

無線 LAN の通信単位である MAC フレームとそのペイロードである IP パケットの廃棄および再送のメカニズムについて説明する．まず，本稿では，IP パケットに無線 LAN のヘッダを付加したものを MAC フレームと呼ぶ．

無線 LAN の送信側は，MAC フレームを送信した後，それに対応する ACK フレーム（確認応答フレーム）を受信することで，受信側がそのフレームを受け取ったことを確認する．しかし，通信区間の無線の品質劣化などにより，MAC フレームまたは ACK フレームが破棄される等が原因で ACK フレームが受信できなかった場合，送信側は決められた回数内で MAC フレームを再送する．送信側は，規定の送信回数内に ACK フレームを受信できなければ，その MAC フレームの再送をあきらめ，該 MAC フレームを送信キューから外す．これにより，該 IP パケットは廃棄されることになる．IP パケット廃棄あるいは，MAC フレーム再送が起こると，スループットが低下する．IP パケット廃棄の前には必ず MAC フレーム再送が起こっているため，MAC フレーム再送がスループットの低下に大きく関係している．MAC フレームが再送され，規定回数内に ACK フレームを受け取ることができれば，IP パケット廃棄は発生しないため，IP パケット廃棄が発生していなくても MAC フレーム再送は頻発している可能性がある．

2.3 マルチレートのスループットに関する従来の研究

この章では，マルチレートに関する既存研究とその問題点について述べる．

文献[7] では，IEEE802.11a において Performance Anomaly の発生する状況と原因，その結果から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] では，新規端末の AP 選択の際に，その新規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[7] 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．具体的な数値は表 1 に示すと

おりである．実効スループットは，該当する伝送レートを用いて IP パケットで通信を行ったときに，IP パケットのペイロードで転送できるスループットのことを意味しており，ns2 を用いたシミュレーションにより得られた結果である．表中の数値は、文献[6] で用いられている数値を用いた．

表 1　距離と伝送レートと実効スループット

伝送レート (Mbps)	54	48	36	24	18	12	9	6
距離 (m)	5	7	9	20	25	40	50	60
実効スループット (Mbps)	26.1	24.4	20.4	15.3	11.9	8.5	5.8	4.7

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 からの干渉などを考慮した評価値にはなっていない．そのため，MAC フレーム再送が発生しない閾値内では，一定のスループットで通信可能としているが，実環境では固定の伝送レートで通信していても距離が離れるに従い，スループットが低下するはずと考えられる．

他の無線 LAN の干渉があるような状況では，他の無線 LAN の電波がキャリアと見なされるために発生する待ちの増加と，干渉によるビットエラー増加にともなうフレーム再送の増加によるパケット転送完了時間の増加の 2 つの要因で，スループットが低下する．シミュレーションでは，後者のみが考慮されているが，実際の通信では前者の要因も無視できない場合がある．

また，文献[7] における結果は IEEE802.11a のものであるが，文献[6] ではその結果を IEEE802.11g に適応しているため，表 1 の距離と伝送レートの関係の値が実環境で適応できるかを改めて検証することも必要である．そこで本研究では，IEEE802.11g を用いて，実環境における距離とスループットの関係を明らかにし，スループット低下の原因となると考えられる他のキャリアの干渉と MAC フレーム再送について検証を行う．

3. 実機によるスループット実験計測

距離とスループットの関係の評価を屋外で実機にて行った．本章では，実験を行った環境と計測結果について示し，その結果の考察を行う．計測結果においては，各伝送レートの距離とスループットの関係を示し，考察として，スループット特性に直接関わる MAC フレーム再送率 (MAC 制御フレーム廃棄率) を詳細に調査した結果も紹介する．

3.1 実験環境

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大きい屋外での実験結果について述べる．今後，移動端末の増加とともに無線 LAN の屋外使用がさらに増えると考えられるため，屋外でのスループット計測評価は重要である．上記要因強度の微細な変動を吸収するために，一日で測定を行い，1 つのデータを取得するために 5 回の測定を行い，平均値を用いている．

今回屋外実験は，できるだけ安定した電波状況での計測を行うため，不安定要素になる人や物の動きがほとんど無く，人気のない時間帯のグランド[11] を用いた（図 1）．具体的には，実験を行った場所は大学構内のグラウンドの脇のコンクリート舗装された道路である．端末と AP 間の距離は最大 35 mであった．AP から端末を見たとき，右手側の約 10 m先にコンクリートの壁が立っているが，左手側はグラウンドであるため遮蔽物はほとんどない．グランドの実験地点の反対側には，100m ほど離れたところに，住居マンションやオフィスビルがある．

実験場所では，接続する AP 以外に十数個の AP の電波が観測された．AP と端末の距離が 5m 以内の地点では使用する AP の電波強度が一番強く，それより離れると他の AP の電波強度が高い状況であった．

図 1　屋外実験場所

使用端末としては，Windows XP が稼働している一般的なノート PC を用い，無線 LAN の AP と EC には Planex 社 MZK-MF300N[12] を使用した．この無線 LAN 製品は，手動による伝送レートの固定設定と，電波強度の設定が可能である．無線 LAN の製品は，民生の市販品だけでも多くの種類の製品が使用可能であり，なおかつ前述のフォールバックのアルゴリズムはベンダによって独自に実装されているが，今回はフォールバック機能を用いないこととした．つまりベンダ独自のフォールバックを行っていないため，本実験においては，他の製品を用いたとしても結果の差異は極めて小さいと考えられる．AP はインフラストラクチャモードで使用し，EC の電波出力強度を 15%に設定し計測を行った．電波の出力を下げることにより，全体の数値が相対的にスケールダウンするが，今回の実験においては距離が限られているために電波強度を落として測定を行った．

EC は，イーサネットのインタフェースと無線 LAN インターフェースを持つ無線 LAN 子機である．データ送信 PC から EC までは，イーサネットで通信を行い，EC のバッファにて速度変換のため一度蓄積した後に，無線 LAN にてアクセスポイントにデータを送る，という動作になる．EC を使用する場合には、注意すべき点として，このバッファスペースは限られているため，イーサネット側と無線 LAN 側のデータトラヒックのレートに差があれば，バッファオーバフローが発生する可能性を考慮すべきということがある．

3.2 スループット，MAC フレーム再送率計測方法

AP を接続した端末（以下受信機）の位置を固定し，EC を接続した端末（以下送信機）を，あらかじめ決めておいた直線上を移動させてスループットを測定する．送信データとしては，Iperf[13] を利用し，トランスポートは，UDP を用いた．TCP においては，TCP の輻輳制御によりスループットが変動するが，今回は，ベアラに近い値として，スループットを計測することが目的であるため，UDP を用いている．また，送信機での Iperf 起動約 5 秒後に，送信機のすぐ隣で AirPcap[14] を USB ポートに接続した端末により無線 LAN のパケットキャプチャを行う．AirPcap は，プロミスカスモードで MAC フレームをキャプチャすることができ，MAC レベルでのエラーパケットも出来る限り (ヘッダが壊れていない限り) 収集することができるツールである．今回は，送信機のすぐ横でキャプチャを行っているため，送信側のデータは，ほぼ取りこぼすことなく収集できているはずである．逆に，AP からのデータは，電波が弱い状況でキャプチャすることになるので、取りこぼす可能性があることには注意して計測結果を評価した．

図 2 に，簡単な実験環境を示す．文献[7] では IEEE802.11a での評価値を用いているが，昨今は，スマートフォンをはじめとして IEEE802.11a のインタフェースを持たず，IEEE802.11b/g/n のものが多くなってきているため，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．なお，IEEE802.11a 特性の導出方法から考えると，IEEE802.11g の場合も，文献[7] と同様の評価値が出ると考えられる．

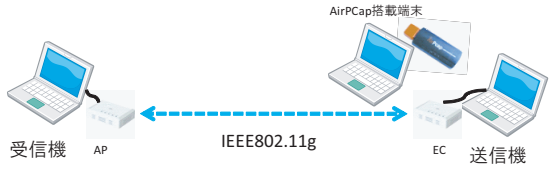

図 2 実験環境図

また，UDP スループット特性の解析に必要なため，UDP パケットエラーレートを調べる．そのために，AirPcap での MAC フレームキャプチャとほぼ同時に，受信機側で LAN アラナイザ Wireshark[15] により UDP パケットのキャプチャを行う．無線 LAN 上のエラーレートの計測には，AirPcap で取得した送信フレーム情報と受信機側で取得したパケット情報を比較し，計算により算出する．1 回の測定につき，計算に十分である 10000 個の MAC フレームまたは 30 秒間の MAC フレームを取得している．

スループットの計測には Windows XP 上の Iperf を使用し，送信機から受信機に帯域幅を十分に，すなわち 200Mbps で設定し，UDP パケットを 40 秒間送信し，通信の不安定な開始 5 秒間と終了 5 秒間を除き通信が安定している 30 秒間のスループットの計測を行う．UDP パケット長は，デフォルト値を用いており，1470Byte である．実際に使用した Iperf のコマンドは以下のとおりである．

受信機：iperf -s -u -i 5
送信機：iperf -c 送信機 IP アドレス -u -b 200M -t 40 -i 5

計測値は，試行毎に不安定であることが考えられるため，各距離において 5 回計測を行い，平均値を採用する．無線 LAN 上のエラーレートの計測には，AirPcap で取得した送信フレーム情報と受信機側で取得したパケット情報を使用する．

3.3 距離とスループット

距離とスループットの関係の計測結果を図 4 に示す．比較のため、計算値およびシミュレーション値である表 1 を，図 3 に示す．

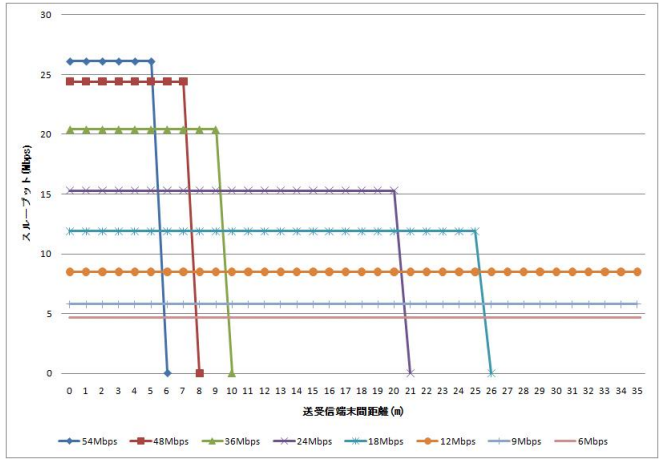

図 3 距離とスループット（シミュレーション値）

図 4 より，理論通り，どの伝送レートにおいても，送受信機間距離が離れれば離れるほどスループットが低下している．しかし，予想通り実機においては表 1 や図 3 とは異なり，ある一定の距離区間において一定のスループットを保つことはない．これは，先に述べたように，AP と端末間の距離が離れることで電波が弱まり，なおかつノイズの影響を受けやすくなり，MAC フレームが受信機側に到着せずに MAC フレームの再送回数が大きくなるからであると考えられる．

3.4 MAC フレーム再送率

前節で得られた結果を説明するために，スループットと同時に観測した MAC フレーム再送率について述べる．無線区間における IP パケットの廃棄は、ほとんど発生しておらず，スループット低下の原因は，パケットの到着間隔が広がっていることが主な要因である．2.2 節で述べたとおり，送信機側は ACK フレームを受信するまで，規定回数内 MAC フレーム

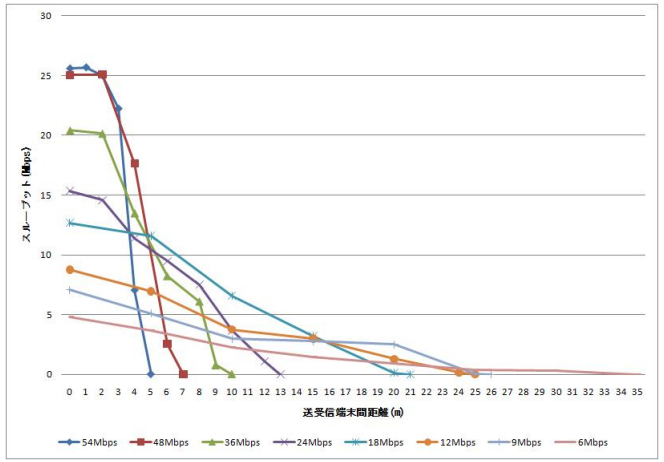

図 4 距離とスループット（実測値）

の再送を行う．MAC フレーム再送率は，式 1 の通り定義する．以下は具体的な計測データの処理および計算方法である．

送信 MAC フレーム数は，AirPcap により取得されたデータフレームのうち，送信元が EC のアドレスのものを指し，再送フレーム数とは，送信機から送信された MAC フレームのうち，ヘッダ部のフレーム制御部分の Retry フラグが 1 となっているものを指す．送信 MAC フレーム数，再送 MAC フレーム数は，Wireshark のフィルタ機能により計算する．フィルタは各々以下のとおりである．

送信 MAC フレーム数：wlan.sa == EC の MAC アドレス
再送 MAC フレーム数：wlan.sa == EC の MAC アドレス and wlan.fc.retry==1

$$\text{MAC フレーム再送率} = \frac{\text{再送 MAC フレーム数}}{\text{送信 MAC フレーム数}} \times 100 \tag{1}$$

図 5 に，伝送レート 24Mbps におけるスループットと MAC フレーム再送率の関係のグラフを示す．文献[7] においては，24Mbps の場合は，20m まで MAC フレームエラー 0%で送信可能となっているが，実環境においては，MAC フレームエラーが漸増しており，0m

地点からすでに MAC フレームエラーは起こっている．このように，距離が大きくなるにつれて，MAC フレームエラーが次第に増加することで，スループットが次第に減少する．

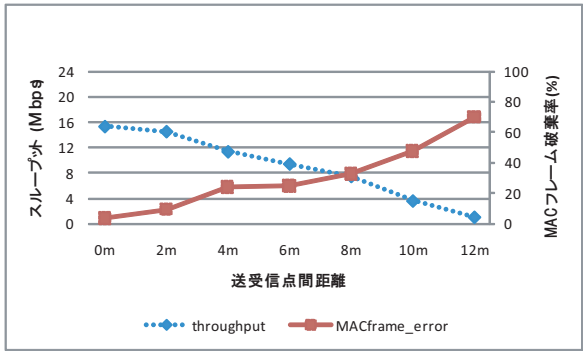

図 5　24Mbps における MAC フレーム再送率

次に，他のキャリアによる待ち時間について考察を行う．前述の通り，スループットは，再送時間と他のキャリアが存在する時間により決定される．まずは，再送に起因する時間を計算する．MAC フレームエラーによる再送においては，再送が 1,2,…N 回のときに，再送完了までに費やす時間は，おおよそ次のように計算できる．

まず，802.11 無線 LAN のアクセス制御である自律分散制御 (DCF : Distributed Coordination Function) について図 6 を用いて説明する．DCF は，無線チャネルにおけるランダムアクセス方式であり，この自律分散制御にはフレームの衝突を出来るだけ回避するために，無線チャネルの使用状況を見てからフレームを送信するかどうかを決定する CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) アクセス方式が用いられている．従って，端末および AP は，キャリアを検出した場合には，通信を行わず，待ち状態になる．このとき，他のキャリアというのは，該当端末の所属する無線 LAN の他の端末である場合もあれば，近隣の他の無線 LAN の端末である場合もある．キャリアを検出しない場合，IEEE802.11 規格には，信号を送信する前に最低限の送信信号間隔として IFS(Inter Frame Space) が定義され，データフレームは，DIFS 時間を使用して送信される．IEEE802.11g では，DIFS 時間は 34 ナノ秒である．さらに，衝突を回避する方法としてバックオフ制御が定められており，バックオフ制御では，チャネルが DIFS 時間アイドルになった後，フレームを送信しようとする無線局は、規定の CW(Contention Window) 範囲内で乱数を発生させ，その乱数値を基にしたバックオフ時間が決められる．フレームが衝突して再送の必要がある場合には，再送ごとにバックオフ制御の CW の範囲を増大させ，フレームが再衝突する確率を低減させる．すなわち，フレームが再送されると，送信時間の期待値は増大する．

ACK を受信できずに MAC フレームを再送することもあるが，ACK フレームよりもデータフレームの方が壊れやすいため，ほとんどをデータフレームのエラーと仮定すると，再送回数が N 回の時パケット送信に費やす時間は，式 2 で概算することが出来る．この時の模式図を図 6 に示す．

$$\text{パケット送信時間} = (\text{DIFS 時間}+\text{データフレーム送信時}+\text{バックオフ時間}) \times (N+1) \tag{2}$$

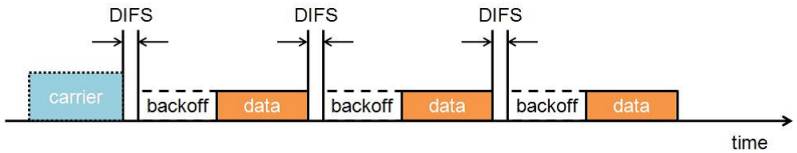

図 6　フレーム再送時の無線アクセス制御

この計算で算出された時間は，実際のパケットの転送時間に比べて，非常に小さい値であった．すなわち，実際のパケットの転送時間においては，図 7 に示すように，他のキャリアによる待ち時間が締める割合が多いという観測結果になった．図 7 においては，受信機と送信機の距離が離れ，ノイズが含まれることにより，ノイズがキャリアに見え，そのキャリアが終わるのを待ってからデータの再送を行っている．したがって，パケット送信時間は式 3 で表わされる．

$$\text{パケット送信時間} = (\text{DIFS 時間}+\text{データフレーム送信時間}+\text{バックオフ時間}) \times (N+1) + \text{ノイズがキャリアと判断されての待ち時間状態 (Ns)} \tag{3}$$

このように，ノイズは，ビットエラーによる MAC フレームエラーを引き起こすだけでなく，通信不可能な時間を取らせてしまうことにより，スループットの大幅な低下を引き起こす．定量的な評価値については，別途報告する予定である．

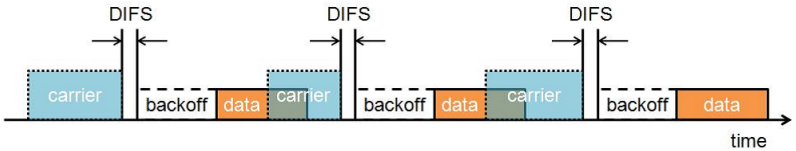

図 7 フレーム再送時の無線アクセス制御（ノイズ有）

4. ま と め

IEEE802.11 で定義されているマルチレートにおいては，適切な伝送レートを用いることでシステムを最適に使用できるため，状況に応じた伝送レートの選択が重要である．状況に応じた伝送レートの例として，距離に対して階段状に変化する伝送レートをそのまま実際に得られるスループットとして用いるモデルが提案されているが，実機の通信での状況を考慮できておらず，より現実的なモデルが必要である．

本稿では，従来モデルにおいては，モバイル端末が実際に用いられる場合が多い屋外環境において実機によるスループット計測を行った．その結果，本稿における実験環境においては，干渉波の影響などにより，従来モデルのように一定の区間でスループットが一定ではなく，AP と端末間の距離が離れるに従いスループットが連続的に低下することを確認した．また，スループット低下は，IP パケットの廃棄によるものよりも，MAC フレームの再送および干渉キャリアによる通信待ちにおけるパケット到着間隔の広がり，つまり実質的な無線 LAN の伝送リンク容量の低下がより大きな原因であることも確認した．

今後は，今回得られたデータの定量的かつ詳細な解析を行うと共に，今回とは別の実験環境においての実験，すなわち電波強度や場所を変更し実験を行い，より多くの環境における特性を収集する．さらに，環境によりモデルを使い分けるといった応用に活用していくと同時に，実機で実際に最適 AP 選択方法等のマルチレートを用いた性能向上のアイデアが有効であるかどうかの検証を行う予定である．また，実験環境において，市販機器のオートレートフォールバックがどの程度有効に機能しているかも調査する予定である．

参 考 文 献

1) Y. Bejerano and 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 and 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 and 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 IEEE 802.11Wireless Local Area Networks, ” Proc. of IEEE WLN 2006, Nov. 2006
6) 宮田純子, 村瀬勉, 山岡克式, ”ユーザの移動協力によりユーザ QoS とシステム最適を同時に満足するアクセスポイント選択アルゴリズムの提案”, 電子情報通信学会 momuc 研究会, June 2011.
7) M. Fumie, N. Daiki, F. Yutaka and I. Takeshi, ”Performance Evaluation of Multi-Rate Communication in Wireless LANs ”, Proc. IEEE CCNC 2010, Jan. 2010.
8) A. Kamerman and 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.
9) IEEE 802.11, 1999 Edition, Available at http://standards.ieee.org/getiee802/download/802.11-1999.pdf
10) 森倉正博，久保田周治監修，”改訂版 802.11 高速無線 LAN 教科書 ”，impress，Jan. 2005, p.99
11) http://maps.google.co.jp/?ie=UTF&hq=&hnear=%E3%81%8A%E8%8C%B6%E3%81%AE%E6%B0%B4%E5%A5%B3%E5%AD%90%E5%A4%A7%E5%AD%A6%E6%96%87%E6%95%99%E8%82%B2%E5%AD%A6%E9%83%A8&ll=35.719549,139.729813&spn=0.001709,0.002645&z=19&brcurrent=3,0x60188d0887ccbb81:0xdf82001929ca512c,1
12) Planex MZK-MF300N
http://www.planex.co.jp/product/router/mzk-mf300n/
13) Iperf
http://sourceforge.net/projects/iperf/
14) AirPcap
http://www.cacetech.com/products/airpcap.html
15) Wireshark
http://www.wireshark.org/