

異なる WLAN システムが近接する場合における通信特性

森内 彩加[†] 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: [†]ayaka-m@ogl.is.ocha.ac.jp, ^{††}t-murase@ap.jp.nec.com, ^{†††}oguchi@computer.org

あらまし 近年、モバイルルータ、スマートフォンのテザリングの普及によって、AP と携帯端末や個人のモバイル PC 等の端末から構成される無線 LAN (WLAN) システムが移動することが可能となった。つまり、異なる WLAN システムが複数近接するような機会が増加してくる。IEEE802.11WLAN は、限られたチャンネル数しか持っていないため、同一チャンネルや近隣のチャンネルを使用せざるを得ない場合、WLAN システムが近接すると、お互いの電波干渉によって、WLAN システムのスループットが低下する。同一チャンネル使用時の WLAN 間距離と QoS (スループット) 特性については、既に検証がなされているが、同一ではない近接チャンネルを使用した場合にはまだ研究がなされていない。干渉は、同一チャンネルを使用した時よりも、近接チャンネルを使用した時の影響の方が大きいと言われている。そこで、本稿では、WLAN 間の距離とスループット特性の関係について、実機により評価する。さらに、この評価結果から、距離に応じて、最適なチャンネル利用の組み合わせがあることを明らかにする。一方、異なる WLAN システムという、異なる速度の WLAN を使用することも予想される。そこで、IEEE802.11g や IEEE802.11b といった異種 WLAN が近接したときの通信特性についても検証する。

キーワード WLAN, モバイルルータ, 干渉, QoS, データ転送性能

QoS characteristics of the different WLANs depending on distance of WLAN systems

Ayaka MORIUCHI[†], 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: [†]ayaka-m@ogl.is.ocha.ac.jp, ^{††}t-murase@ap.jp.nec.com, ^{†††}oguchi@computer.org

1. はじめに

近年、WLAN 上でのマルチメディア通信の需要の増加に加え、モバイルルータが急速に普及している。本研究におけるモバイルルータとは、個人の端末と IEEE 規格の WLAN で接続し、インターネットとの接続には、WiMAX や 3G, LTE などを用いて接続するルータやスマートフォンのテザリングのことをさす。このモバイルルータの普及により、ルータと個人の端末、例えば携帯電話やノート PC、タブレット端末等が併せて移動するネットワーク (モバイルネットワーク) が増加している。このことから、モバイルルータと個人の端末 (本研究では、これらを併せて“WLAN システム”と呼ぶ) で大量のデータを送受信することが想定される。しかし、WLAN のチャンネル数

は限られており、その数以上のルータが集まった時は、同一または近隣のチャンネルを使わなければならない、干渉が起こり、性能が低下してしまう。この性能劣化は、WLAN システム間の距離やチャンネル差に依存して起こるものである。

従来は、固定してルータを利用することが多かったため、WLAN システム同士が移動して干渉することに関する研究は、あまり行われていなかった。しかし、モバイルネットワークでは、モバイルルータを持った人同士が自由に動き回るため、非常にダイナミックに干渉が起こり、干渉下での性能劣化、及びこの性能劣化に対する制御方法を検討することは必須である。

既に、WLAN システム自体が移動する場合について、同一チャンネル使用時の距離に応じたスループット特性評価の研究はなされている [1] [2] [3]。これらは、WLAN システム間の距離

に応じたスループット特性だけでなく、干渉についても説明している。しかし、これらの文献では、複数の WLAN システムが同一の通信環境で通信している場合についてしか考慮されていない。しかし、今後はヘテロジニアスな通信環境が増加すると予想される。そこで、本稿では異種チャンネルを使用した際の WLAN 間距離に応じたスループット特性、さらに、異種 WLAN を使用した際の WLAN 間距離に応じたスループット特性について調査を行う。

複数の WLAN システムが様々なチャンネルを使用した際のスループット特性については、シミュレーションにより、その特性が明らかになっている[4]。文献[4]では、同一チャンネルを使用するよりも近接チャンネルを使用の方がスループット低下が大きくなる場合があることが示されている。そこで本稿では、モバイルネットワークにおいて、チャンネル差 N の時の、チャンネル間干渉を考慮した WLAN システムの距離に応じたフロー特性の評価を行った。さらに、複数の WLAN システムが近接するネットワークにおいて、どの程度の近接度でどのような特性が出るかを知っていれば、最適なチャンネル割り当てが可能である。そこで、この特性を考慮した最適なチャンネル割り当てを検討し、評価を行った。一方、使用デバイスの多様化などにより、今日では、IEEE802.11b から IEEE802.11n まで多様な WLAN システムが混在する環境の増加が予想される。そこで、異種の WLAN が近接するときの、WLAN 間距離に応じたスループット特性についても検証する。

また、文献[3]や文献[4]はシミュレーションにより評価が行われているが、シミュレーションでは、干渉のモデル化に限界がある。一方で、現実の通信においては、キャプチャ効果などシミュレーションではモデル化が非常に困難な効果の影響が大きいため、本研究では、実機実験により検証を行う。

具体的には、2 つの異種 WLAN システム間の距離を変化させ、干渉が UDP フローの QoS 特性にどの程度影響を及ぼすのかを検証する。ルータ間距離が十分な時は問題なく通信できるが、ルータ間距離が小さくなると、お互いの通信が干渉を引き起こす原因となることが予想されるので、これを定量的に評価する。さらに、チャンネル差が変わった時、異なる WLAN を使用した時に、この結果がどのように変化するのかを調査した。

本稿ではまず、2 章で先に述べた関連研究とその問題点について説明し、3 章ではモバイルネットワークにおいて検討すべき課題とその評価環境について述べ、4 章では、チャンネル差と距離に応じた実機実験について説明する。5 章では、最適なチャンネル割り当ての一検討と、評価結果を示す。6 章では、異種 WLAN と距離に応じた実機実験の評価結果について説明し、最後に 7 章でまとめを述べる。

2. 研究背景

2.1 関連研究

干渉による性能劣化の解決策に関する研究は、ハンドオーバーを伴う WLAN ネットワークやアドホックネットワークにおいて、既に行われている[5][6][7]。これらは、各 AP の干渉を考慮し、最適なスループットが得られるモデルや手法を提案して

いる。このような電波を感知して制御する手法は、固定の AP に対しては効果的である。しかし、本研究ではモバイルルータを用い、ルータ自体が頻繁に移動することを前提としているため、このような制御は有効であるとはいえない。

WLAN システム自体が動く場合の評価については、文献[3][8]で行われている。文献[3][8]は WLAN システム間の距離が小さくなると MAC レベルでのシステムのキャパシティが減少することをシミュレーションにて示している。しかし、この研究では、MAC フレームエラー及びキャパシティの変動が上位レイヤプロトコルに与える影響については述べていない。さらに、同一チャンネルを使用した複数の WLAN システムが近接するときの距離に応じたスループット特性については、既に検証がなされている[1][2]。これらは、フローレベルの特性について説明している。システムの特性に加え、フローレベルの特性は、QoS 対応のアプリケーション設計や、QoS 制御の検討に必要であるため、検証する必要がある。

複数の WLAN システムが様々なチャンネルを使用した際のスループット特性についても既に研究がなされている[4]。文献[4]では、周囲のネットワーク利用状況に応じて、最適なチャンネル割り当てを行う手法について提案されており、近接チャンネル使用時のスループット特性についても定量化している。しかし、一般的に、ビットエラーやデバイス性能のような要因やマルチパス特性、他のノイズ等の干渉をシミュレーションでモデル化するのは難しい。そこで、実機による検証によって、より現実的なネットワーク構成に即した実験結果が求められる。

2.2 同一チャンネル使用時の QoS 特性

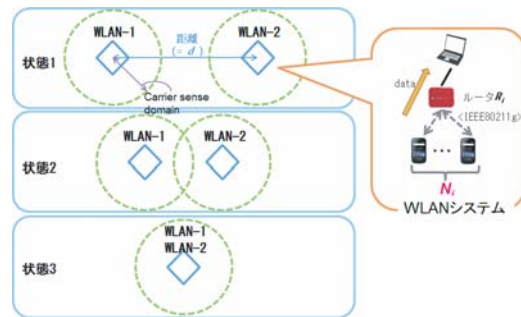


図1 距離に応じた3状態

2 つの WLAN システムを近接させる時、WLAN 間距離 d に応じて 3 つの状態が存在することが既に示されている[1][2]。これらを、図1に示すように、状態1, 2, 3と呼ぶ。図1において、WLAN-1とWLAN-2は独立したWLANシステムで、それぞれのWLANシステムは1台のモバイルルータ R_i (i はWLANシステム番号)、 R_i と接続する送信端末群 N_i 、 R_i と有線接続する1台の受信端末で構成されている。点線は、キャリアセンスドメインのイメージを示す。各無線端末はuplink方向（端末からAPの方向）に通信を行う。WLANはIEEE802.11gを用いている。WLAN システム間の距離がルータ間距離 d に応じて、お互い干渉を与えない程度に十分離れている状態を状態1、他のWLANシステムと干渉し、お互いのスループットに影響を及ぼす距離にある状態を状態2、各WLANシステム

が完全に1つのCSMA/CAドメインとなる程度に近距離にある状態を状態3とする。

お互いに干渉しない2つのWLANシステムが近付く時、状態1と比較し、近接する状態2や3では、各端末のスループットは減少する。状態2では、まずそれぞれの通信が相手にとってノイズ源となるために、お互いの通信がビットエラーとなって、その結果スループットが低下する。 R_1 及び R_2 を通して通信を行っている端末数をそれぞれ $N_1, N_2, N_1+N_2=N$ とすると、状態3でのスループットは、1つのルータを、 N (台) で共有している状態とほぼ同じになる。

3. 検討課題

前述の文献[1][2]は、同種類のWLANシステムが同一の通信環境で近接通信する場合についてしか考慮していない。しかしながら、異種のWLAN同士が近接して通信する場合には、特徴的な特性が表れることが予想できる。そこで、本稿では、以下の2つの検討課題を設ける。

(1) 近接チャンネル使用時のWLAN間距離とチャンネル差に応じたQoS特性

(2) 異種WLAN混在時のWLAN間距離に応じたQoS特性

3.1 近接チャンネル使用時のWLAN間距離とチャンネル差に応じたQoS特性

近接チャンネル使用時のWLANシステムのスループット特性については、既にシミュレーションにより検証がなされている[4]。チャンネル差はチャンネル番号により、定義される。例えば、チャンネル番号1と3のチャンネル差は2である。一般に、チャンネル差 N の通信環境は、チャンネル差 $N+1$ の場合よりも干渉が強い。もし N が4より大きい時、2.4GHzスペクトラムではチャンネル間干渉はない。これは、IEEE802.11の物理層のクロストークの性質による。本論文では、2.4GHzスペクトラムについて、チャンネル差 $N \leq 5$ についてのみ議論する。

チャンネル差に加えて、干渉は、WLAN間の距離にも依存する。2.2章では、WLAN間の距離によって、3つの状態が決まることについて説明している。

3.2 異種WLAN混在時のWLAN間距離に応じたQoS特性

異種のWLANが混在する場合には、スロットタイム値の違い及び伝送レートの違いによる性能への影響を調査する必要がある。IEEE802.11b(11b)とIEEE802.11g(11g)では、それぞれ、 $20 \mu s$ と $9 \mu s$ のスロットタイムが実運用上使用されている。そのため、DIFS(Distributed Inter-Frame Space)などは、11gの方が、11bよりも短くなる。その結果、完全に1つの帯域をCSMA/CAで共有する場合(非常に近づいた場合)には、11gの方が高い送信機会を得て、スループットも高くなるという特性を持つ。また、この影響に加えて、異なる伝送レートの通信が混在する場合には、performance anomalyの特性が表れ、11gの通信が11bに大きく影響を受けることになる。さらに、伝送レートは低い方が高い場合よりもノイズに強いいため、干渉によるフレームエラー率も異なってくる。これら

は、WLAN同士がお互いに及ぼす干渉の度合いにより、変化するため、定量的な評価が必要である。

3.3 評価モデル

スループット特性の評価に使用したモデルについて述べる。WLANシステムは、1台のAPと、1台以上の端末から構成される。ユーザがスマートフォンやノートPC等をモバイルルータと共に使用することを想定しているため、APと端末は10cm程度の近距離に配置する。これは、APは自由に動き回ることが可能だが、APと端末は十分近距離にあることを示している。

トラフィックには、UDPのみを使用した。UDPやTCPのトラフィックは、チャンネル容量を十分に使い切ることができる。しかし、ACKのオーバーヘッドや輻輳制御によって、TCPスループットよりも、UDPスループットの方が高くなる。さらに、予備実験において、UDPとTCPの場合で実験を行ったが、大差がなかったため、2つのWLANシステムのチャンネル差 N が0から5のときのUDPについてのみ調査する。

3.4 実験機器

実験機器には、一般的な端末を使用した。APとしては、モバイル向けAPであるPlanexのMZK-MF300N[9]とNECのAtermWM3500R[10]を選んだ。WLANは、IEEE802.11g(2.4GHz)で、使用可能なチャンネルは、1から13までである。実験には、1から11までを使用した。実験の構成図を図2に示す。送信端末には、スマートフォンを使用した。スマートフォンは、OSがAndroid2.3.7を搭載したNexus S[11]とNexus One[12]を使用した。これらのスマートフォンは、簡単にカーネルの細部の機能についてまで操作可能で、CPUや無線チップは一般的なスマートフォンと同程度の性能を持つ。WLANシステムの端末は、各システムごとに送信側の無線端末2台と、受信側の有線端末1台からなるものとする。これは、一般的なWLANの設定では、送信端末2台以上のときに、最大のスループットを獲得できるからである。UDPトラフィックは、2台の送信端末から、APを介してiperf[13]を使用して、1500byteのデータを連続的に送出し、UDPのスループットは、iperfの受信側で測定した。また、後述のように端末の影響を調べるために、今回は、uplink(端末からAPの方向)にのみトラフィックを送信する。

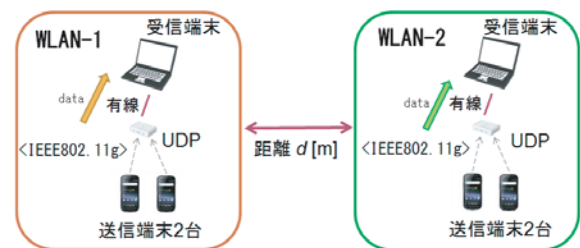


図2 実験構成

実験場所は、お茶の水女子大学(東京都文京区)の学内において、直線で20mの距離を確保可能な会議室である。会議室には、実験系以外のAPも検出されたが、ほとんど通信トラヒッ

クが無いことを確認した。この会議室にて、1 台の送信端末から UDP トラフィックを流し、チャンネル容量を確認したところ、26Mbps であった。従って、実験系以外の干渉はほぼないといえる。また、今回は、実験場所の制約により、電波強度を実機最大値の 15% に落として実験しているため、スケールは小さくなっているが、強度を最大にしても、特性に変わりはない。

4. 近接チャンネル使用時の QoS 特性

WLAN 間距離が変化することにより、電波環境が変化し、QoS パフォーマンスに影響が出ることが予想される。そこで、WLAN 間距離 d を変化させ、各フローのスループット測定を行った。近接度に応じた最適なチャンネル割り当てを検証するため、チャンネル差に応じたスループット特性の評価を行う。本研究における最適なチャンネル割り当てとは、全 WLAN システムの合計スループットが最も高くなるチャンネルの組み合わせを指す。実験としては、2 つの WLAN システムが近接する際に、チャンネル差を変化させ、距離に応じてどのようなスループット特性が得られるか検証した。

チャンネル差を N としたとき、 N が 5 以上で干渉なくなることが既知であるため、 $N = 0/1/2/3/4/5$ と変化させ、チャンネルの隣接度と WLAN システム間の距離とスループット特性の関係を調べた。

評価は実機を用いて行った。これは、シミュレーションでは、干渉のモデル化に限界があり、現実の通信においては、キャプチャ効果などシミュレーションではモデル化が非常に困難な効果の影響が大きいためである。WLAN 間距離 d とチャンネル差 N を変化させた際のスループット特性を図 3 に示す。図 3 において、AP は Planex を使用している。実験は数回に渡って行い、はずれ値 (extraordinary samples) を除いて、その平均値を示している。

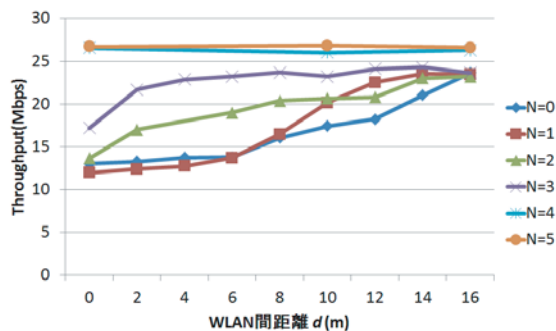


図 3 チャンネル差 N に応じた WLAN 間距離 d とスループット特性 (Planex)

今回の実験では、シミュレーション結果 [4] と同じく、チャンネル差 N が 4 と 5 のときは、ほぼ干渉がない状態であった。一方、シミュレーションとは異なり、チャンネル差 3 の場合は、チャンネル差 0, 1, 2 と比較して、常にスループットが高いという結果が得られた。また、距離に関しては、チャンネル差 0 のときと同様に、状態 1, 2, 3 に分けて考えられるような特性となった。状態 3 においては、チャンネル差 3 以外では、ほぼ同じ

スループットが得られた。

しかしながら、状態 2 における距離に対するスループットの変化は、チャンネル差 N の値により、異なっていた。これは、シミュレーションでも示されていた特性である。このとき、一番干渉が小さい N の値は、WLAN システム間の距離に依存して変化し、その変化は、状態 2 の全般で起こることが分かった。さらに、WLAN 間の距離に応じて、最も性能が高くなる N の値は、異なることが分かった。これは、シミュレーション結果とは異なり、スループット低下は、干渉だけではなく、他の要因も影響しているからであると考えられる。

この干渉の影響が機器によってどのように異なっているのか、機器を取り替えて実験し、機器依存の度合いを調査した。まず、干渉を受けた信号に対して、受信機 (この場合は、AP) においては、受信性能 (イコライザやフィルタなど) がスループットに影響を与える。そこで、AP を Planex から NEC に交換して計測した結果を図 4 に示す。図 4 と図 3 の比較により、受信性能がスループット性能に及ぼす影響は異なるが、 $N=3/4/5$ については、その特性に顕著な違いは出ないという結果であった。また、 $N=0/1/2$ については、受信機種毎に、距離とチャンネル差におけるスループットの大小順位が多少変動するという結果であった。

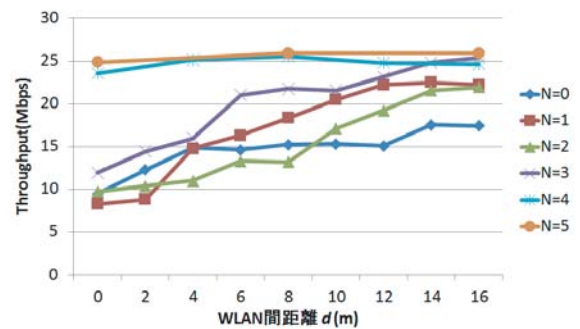


図 4 チャンネル差 N に応じた WLAN 間距離 d とスループット特性 (NEC)

次に、送信端末の送信性能の影響を見るために、送信端末を Nexus S から、Nexus One に変更して実験を行った。AP は Planex を使用した。その結果を図 5 に示す。図 5 の結果は、図 3 の結果とほぼ同様である。すなわち、送信端末による違いはほとんど無かった。

5. WLAN 間距離とチャンネル差の特性を考慮したチャンネル割り当て

近接度とチャンネル差に応じたスループット特性が得られたので、実際にチャンネル間干渉を考慮して、チャンネル割り当てを行う数値例を示す。例として、3 つの WLAN システムが 1~5 のチャンネルを競合する場合を検討する。5 つのチャンネルを 3 つの WLAN システムで割り当てる場合、干渉を考えて、それぞれのチャンネルを (WLAN-1 のチャンネル, WLAN-2 のチャンネル, WLAN-3 のチャンネル) = (1, 3, 5) というように、一番チャンネル差が大きくなるように振り分けるのが、他の振り分け方に

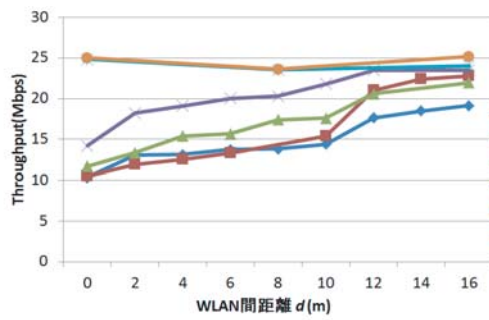


図 5 チャンネル差 N に応じた WLAN 間距離 d とスループット特性 (Nexus One)

比べて、直観的に最も良さそうであると考えられる。チャンネル割り当てとしては、図 6 のようなイメージである。

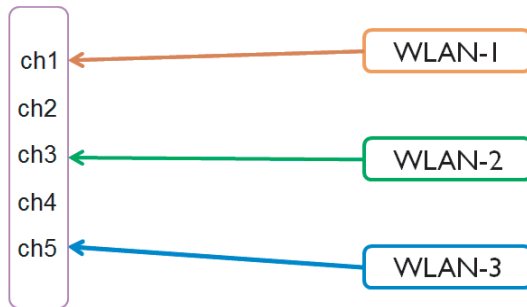


図 6 チャンネル割り当てのイメージ

しかし、先の結果により、チャンネル差 4 でも干渉がほぼないことが分かったので $(1, 1, 5)$ といった割り当てでも高品質であると予想でき、なおかつ、距離に応じてこの結果も変化すると予想できる。

そこで、チャンネルを $(1, 1, 5)$ と割り当てた場合と $(1, 2, 5)$ と割り当てた場合 $(1, 3, 5)$ と割り当てた場合について、全 WLAN システムの合計スループット (全フローの合計スループット) を比較した。評価方法としては、図 7 に示す実験構成において、今回は d を 0m と 12m として実験を行った。具体的には、WLAN-1, WLAN-3 を WLAN-2 から d m ずつ離して設置し、チャンネルをそれぞれ $(1, 1, 5)$ とした場合と $(1, 2, 5)$ とした場合 $(1, 3, 5)$ とした場合で実験を行い、それぞれの全 WLAN システムの合計スループットを比較した。その他の設定は、先に述べた図 2 の実験構成と同様である。0m と 12m を選んだ理由としては、図 3 において、単純に 3 つの WLAN システムのスループットをチャンネル差を考慮して足し合わせると、0m 地点と 12m 地点では、最適なチャンネル割り当てが異なるからである。

その結果、0m 地点では (WLAN-1 のチャンネル, WLAN-2 のチャンネル, WLAN-3 のチャンネル) = $(1, 1, 5)$ が最もスループットが高く、12m 地点では (WLAN-1 のチャンネル, WLAN-2 のチャンネル, WLAN-3 のチャンネル) = $(1, 2, 5)$ が最もスループットが高いことが分かった。具体的な総スループットは、0m 地点では $(1, 1, 5)$ は 32.6Mbps $(1, 2, 5)$ は 24.7Mbps $(1, 3, 5)$ は 23.6Mbps、12m 地点では $(1, 2, 5)$ が 58.0Mbps、

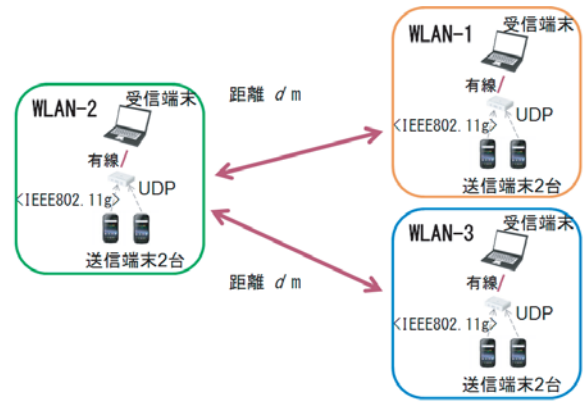


図 7 最適チャンネル割り当ての実験構成

$(1, 1, 5)$ が 56.4Mbps $(1, 3, 5)$ は 54.2Mbps で、0m 地点については、最もスループットが低い場合と比べて、38%もスループットが向上した。

今回は、0m 地点と 12m の地点についてのみ評価したが、他の地点においても、それぞれチャンネル間干渉を考慮した最適なチャンネル割り当てが存在するといえる。

6. 異種 WLAN 使用時の QoS 特性

異種 WLAN のスループット特性として、本稿では、11g と 11b の WLAN を取り上げて、評価を行う。文献 [1]、[2] と同様に、干渉がない十分な遠距離から、完全に同じ CSMA/CA で動作する近距離まで、2 つの WLAN の距離を変えて、スループットを評価する。まず、スロットタイムの影響を計測するため、11g と 11b をそれぞれ用いる。また、伝送レートの影響を見るために、伝送レートを 54Mbps に固定した 11g の WLAN と 12Mbps に固定した 11b の WLAN を用い、これをスロットタイムが等しい場合の 11g と 11b に見立てて、伝送レートの影響を評価する。

WLAN 同士が非常に近距離の場合には、CSMA/CA が同一ドメインとして機能するため、スロットタイムが違う場合には、その違いがスループットの違いとなって現れる。また、スロットタイムが同じで伝送レートが異なる場合には、特徴的な特性が表れることが予想される。

近距離でお互いのキャリアが十分に検出できる場合には、CSMA/CA が効率よく機能し、フレームエラーは少ない。しかし、距離が離れて、検出できなかった相手のキャリアがノイズとして影響することによりフレームエラー率が増加する。さらに、距離が離れると、ノイズの影響が弱くなり、フレームエラーは少なくなる。従って、相手のキャリアがうまく検出できなくなる距離において、最もフレームエラー率が増加する。ただし、キャプチャ効果により、伝送レートの低い WLAN は、ノイズの影響を受けにくく、なおかつコリジョンの時に、正常に受信される可能性が高い。従って、伝送レートの高い WLAN は、上記特性が顕著に現れる。

評価モデルを図 8 に示す。実験構成は、図 2 とほぼ同様であるが、2 つの WLAN システムのチャンネルは同一に固定し、各 WLAN を変更して実験を行った。

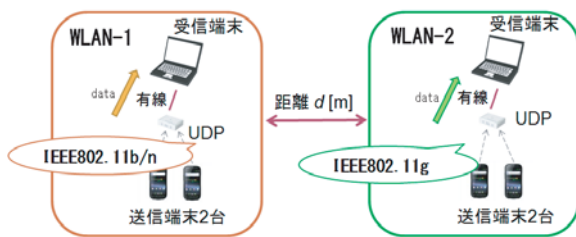


図 8 異種 WLAN の実験構成

図 8 において、WLAN-1 の WLAN に 11b、WLAN-2 の WLAN に 11g を使用して評価した結果を図 9 に示す。WLAN 間距離を d m としたときの各 WLAN のスループットを表している。WLAN 間距離 0m においては、スロットタイムの違いにより、数倍のスループット差がでる。また、11g が優先されているため、 d が小さくなるにつれて、11g のスループットは、なだらかに低下していく。

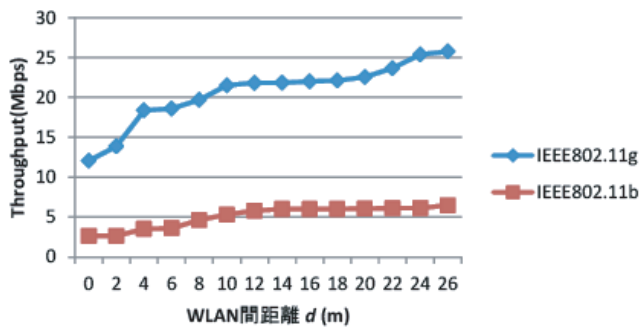


図 9 IEEE802.11b/g の混在時における距離に応じたスループット特性

一方、異なる伝送レートを用いた場合の結果を図 10 に示す。2 つの WLAN システムは双方とも 11g で、WLAN-1 の伝送レートを 12Mbps、WLAN-2 の伝送レートを 54Mbps としている。WLAN 間距離 0m 地点では同一スループットとなり、図 9 の結果とあわせ、スロットタイムの違いがスループット差であることを確認した。54Mbps の WLAN-2 のスループットは、8m 近辺で大きく変化している。これは、検出すべきキャリアを検出できずノイズとしてしまっていた場合に、最も影響が大きいのが、この地点であることを示している。図 11 に、フレーム再送率を示す。距離が大きくなるにつれて、フレームエラーが最初増加して、低下すること、並びに、高伝送レート WLAN にて再送が多いことを示している。フレーム再送は、ノイズによるフレームエラーに加えて、コリジョンによるフレームエラーも含んでおり、ピーク地点が 8m からは少し多少ずれているが、ほぼ予想した特性どおりの結果である。

7. おわりに

IEEE802.11 規格の WLAN において、WLAN 間距離とチャネル差に応じた QoS スループット特性の調査を行った。具体的には、チャネル差 N である複数の WLAN システムが近接した場合の各状態のフローレベルのスループット特性について検

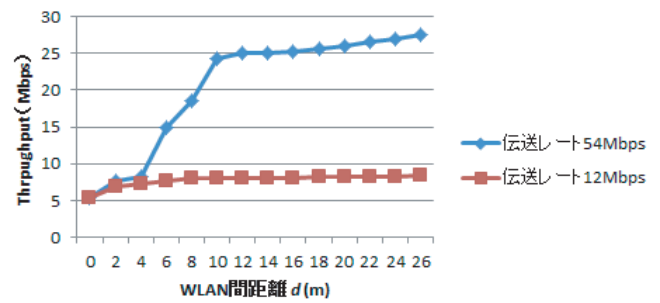


図 10 伝送レート混在時の距離に応じたスループット特性

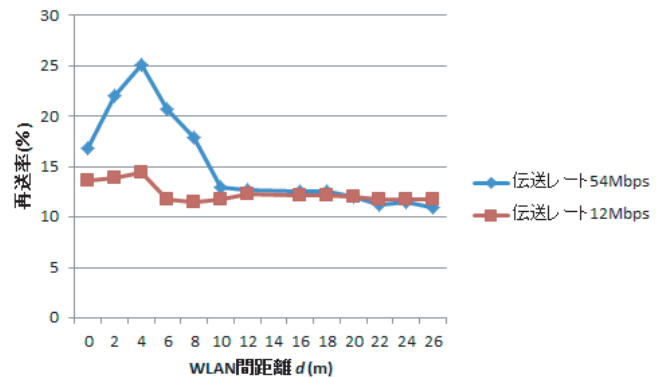


図 11 伝送レート混在時の再送率

証を行った。これらの特性は、電波信号の干渉と端末上で動作しているデバイスの動作に依存すると考えられるため、シミュレーション結果とは異なる振舞いをする。そこで、本稿では、実機での評価を行った。

モバイルネットワークでは、チャネル差に関係なく、チャネル差 0 の時と同様に、スループットの低下に応じて 3 つの状態モデルがあることを確認した。さらに、チャネル差と WLAN 間の距離が、スループットに影響を与えることを明らかにした。また、この特性は、送信端末を変更しても、同様の特性が得られたため、送信端末には依存しないことが分かった。

この特性を近接 WLAN システムの最適なチャネル割り当てに使用したところ、例えば 3 つの WLAN システムをチャネル 1~5 に割り当ててする場合、直観で最適と思われる (1, 3, 5) よりも、0m 地点では、3 つの WLAN システムにそれぞれ (1, 1, 5)、12m 地点では (1, 2, 5) とチャネルを割り当てて方が性能が高いことが分かった。つまり、チャネル間干渉と WLAN 間距離を考慮すると、最適なチャネル割り当てが変化する。

さらに、IEEE802.11b/g の混在環境を想定して、異なるレートの WLAN の近接による通信性能の影響を実機実験にて調査した。11b/g の混在においては、低レートの通信はよりノイズに強いが、高レート通信のフレーム廃棄率が過大になる。そのため、高い伝送レートの WLAN は、干渉電波が弱い場合には、スループット性能への影響はほとんど無いが、干渉が強くなると急激に性能が劣化することが特徴的であった。

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

文 献

- [1] Remi Ando, Tutomu Murase, and Masato Oguchi: "Influence of Interference with Moving Terminal in Wireless LAN Environment and Evaluation of Behavior of QoS-TCP," In Proc. The Fourth International Workshop on Information Network Design (WIND2011) in conjunction with the Third IEEE International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS2011), pp611-616, Nov 2011.
- [2] Remi Ando, Tutomu Murase, and Masato Oguchi: "TCP and UDP QoS Characteristics on Multiple Mobile Wireless LANs," In Proc. the 35th IEEE Sarnoff Symposium 2012 (Sarnoff2012), No. 18, May 2012
- [3] Akash Baid, Michael Schapira, Ivan Seskar, Jennifer Rexford, Dipankar raychaudhuri: "Network Cooperation for Client-AP Association Optimization," 10th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks (WiOpt), 2012 10th International Symposium on, pp431-436, 14-18 May 2012.
- [4] E. G. Villegas, E. Lopez-Aguilera, R. Vidal, and J. Paradells: "Effect of adjacent-channel interference in IEEE 802.11 WLANs," Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, 2007. CrownCom 2007. 2nd International Conference on, pp118-125, 1-3 Aug. 2007.
- [5] K. Jain, J. Padhye, V. Padmanabhan, and L. Qiu: "Impact of Interference on Multi-hop Wireless Network Performance," ACM MobiCom 2003, pp.66-80, Sep. 2003.
- [6] I. Ramani, and S. Savage. SyncScan: "Practical Fast Handoff for 802.11 Infrastructure Networks," Infocom 2005, pp.675-684, Mar. 2005.
- [7] S. Seo, J. Song, H. Wu, and Y. Zhang: "Throughput-based MAC layer handoff in WLAN," Infocom Workshops, pp.1-2, 2009, Mar. 2009.
- [8] Micah Z. Brodsky, Robert T. Morris, "In Defense of Wireless Carrier Sense," ACM SIGCOMM 2009 conference on Data communication, pp.147-158, Aug. 2009.
- [9] MZK-MF300N <http://www.planex.co.jp/product/router/mzk-mf300n/>
- [10] AtermWM3500R <http://121ware.com/aterm/>
- [11] Nexus S <http://www.android.com/devices/detail/nexus-s>
- [12] Nexus One <http://www.crunchbase.com/product/nexus-one>
- [13] iperf <http://sourceforge.net/projects/iperf/>