

近接 WLAN 通信環境における公平性制御方法

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、モバイルルータの普及によって、個人が IEEE802.11 ネットワーク (WLAN システム) を自由に持ち運ぶことが可能となった。そのため、複数の WLAN システムが近接する場合があります、互いの干渉が品質上の問題になっている。複数の WLAN システムが近接する環境においては、同一もしくは近接チャネルを使用した際のフロー毎の品質特性評価がすでに行われている。これにより、端末数や通信規格などが異なる、ヘテロジニアスな通信状況では、自局の WLAN の通信特性は、干渉相手の WLAN との距離に大きく左右されると共に、相手の属性あるいは通信特性にも大きく左右されることが明らかになっている。このため、ユーザが望む品質公平性を得るためには、任意のスループット比率に調整可能な公平性制御を行うことが重要である。しかし、802.11 の機能を大きく変更するような制御や、全ての端末に特殊なソフトウェアを導入することは現実的ではない。そこで、本稿では、簡易に実現できる制御を用いて、公平性を制御する方法を提案し、その有効性について述べる。

キーワード WLAN, モバイルルータ, 干渉, QoS, 公平性制御

Fairness control for QoS on closely located multiple wireless LANs

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、モバイルルータやスマートフォンのテザリングなどの普及によって、個人が IEEE802.11 ネットワーク (WLAN システム) を自由に持ち運ぶことが可能となった。そのため、複数の WLAN システムが近接する環境が増加し、互いに干渉しあうことが品質上の問題となっている。

すでに我々は、複数の移動 WLAN 間の距離と通信品質の関係を調査してきた [1] [2] [3] [4]。端末数や通信規格などが異なるヘテロジニアスな通信状況では、自局の WLAN の通信特性は、干渉相手の無線 LAN との距離に大きく左右されると共に、相手の属性、あるいは通信特性にも大きく左右される。このため、品質公平性を高めるためには、その品質特性を把握し、公平性制御を行うことが重要である。しかしながら、802.11 の機能を大きく変更するような制御や、全ての端末に特殊なソフトウェアを導入する制御が、不可能な状況も存在する。そこで、本稿では、付加的な機材にて実現できる制御を用いて、公平性

を制御する方法を提案し、その評価結果について述べる。

2. 従来研究とその課題

ポータブルなアクセスポイント (AP) とそれに接続するモバイル端末で構成される移動 WLAN を対象とした研究はすでに行われている。例えば、文献 [2] [3] [4] では、ヘテロジニアスな通信環境における WLAN 間の距離に応じたフローごとの品質特性評価として、端末数やチャネル差、通信規格が異なる際の QoS 特性 (スループット) が明らかにされている。同文献では、スループット特性は、多様な属性や通信特性をもった WLAN システムの構成によって決められてしまい、これが必ずしも、公平であるとは限らないことが示されている。また、端末単位、無線 LAN 単位など、スループット公平の定義は、状況に応じて異なるものが利用されるであろう。そこで、本稿では、無線 LAN のスループット比を任意に設定することを目標とした制御について検討する。ポータブルなアクセスポイント (AP) とそれに接続するモバイル端末で構成される移動

WLAN を対象とした研究はすでに行われている．例えば，文献[2]，[3]，[4]では，ヘテロジニアスな通信環境における WLAN 間の距離に応じたフローごとの品質特性評価として，端末数やチャンネル差，通信規格が異なる際の QoS 特性（スループット）が明らかにされている．同文献では，スループット特性は，多様な属性や通信特性をもった WLAN システムの構成によって決められてしまい，これが必ずしも，公平であるとは限らないことが示されている．また，端末単位，無線 LAN 単位など，スループット公平の定義は，状況に応じて異なるものが利用されるであろう．そこで，本稿では，無線 LAN のスループット比を任意に設定することを目標とした制御について検討する．

3. 通信モデル

本稿では，ユーザがデータの送受信をしながら，AP 間を動き回るような実環境に合わせ，ルータも端末も移動するような 2 つの WLAN が混在するモバイルな通信環境を想定している．無線 LAN 環境において，通信性能は電波環境の変動に大きく左右される．モバイル通信環境では，WLAN システム同士の距離がダイナミックに変動するため，それに伴い，電波環境も常に変動する．キャリアセンスイメージを図 1 に示す．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と接続する送信端末群，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．

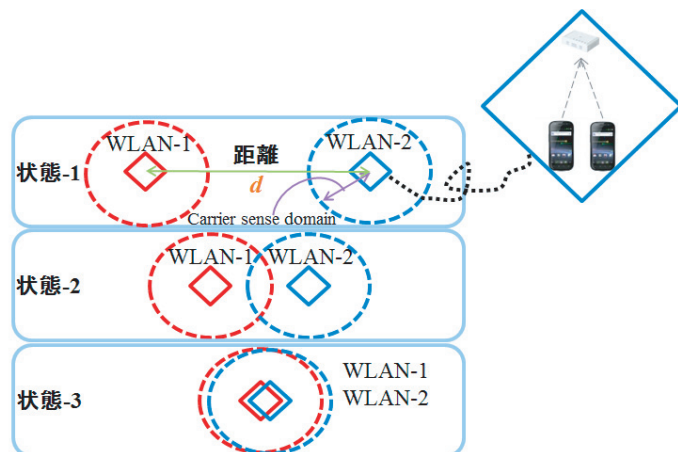


図 1 複数 WLAN 通信時の干渉イメージ

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．

通常，お互いに干渉しない 2 つの WLAN システムが近接する時，互いの WLAN が十分離れていて干渉が無い状況（状態 1）と比較し，各端末のスループットは減少する．AP 同士が近

接するようになると，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により劣化し，その結果スループットが低下する（状態 2）．次に，お互いのキャリアセンスに関わるレベルまで近接すると，今度は 2 つのシステムは 1 つの CSMA/CA ドメインとして通信を行う（状態 3）．実際に図 1 の環境において，このような通信特性が得られるのかについて詳しい検証を行った．AP と送信端末には市販の実機機器を使用した．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，電波強度を最大にしても，同様の特性が得られるはずである．結果を図 2 に示す．

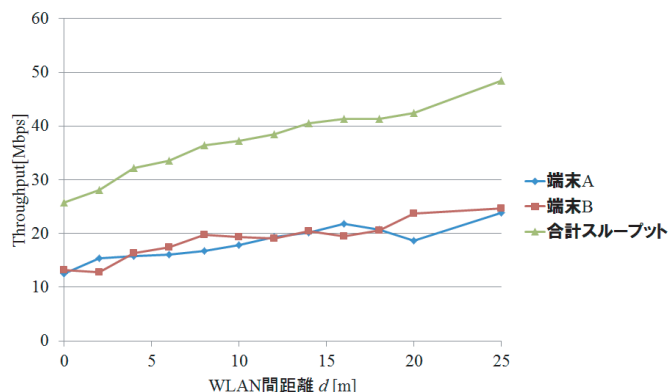


図 2 スループットの実機評価

状態 3 では，コリジョンが増え，互いの WLAN の電波が干渉になる確率が高く，キャリアセンス可能率も高い．そのため，キャリアビジーや再送率は最も高くなるはずである．

また，WLAN 間距離が離れるにつれて，送受信端末の合計のキャリアビジーはほぼ一定になる再送率は，WLAN 間距離が離れるにつれて一つの WLAN で通信している状態になっていくため，低下していく．実際に，キャリアビジーと再送率についても検証を行った．結果をキャリアビジーの結果を図 3 に，再送率の結果を図 4 に示す．また，本稿においてキャリアビジーとは，送受信端末のキャリアビジー時間が占める割合の平均である．

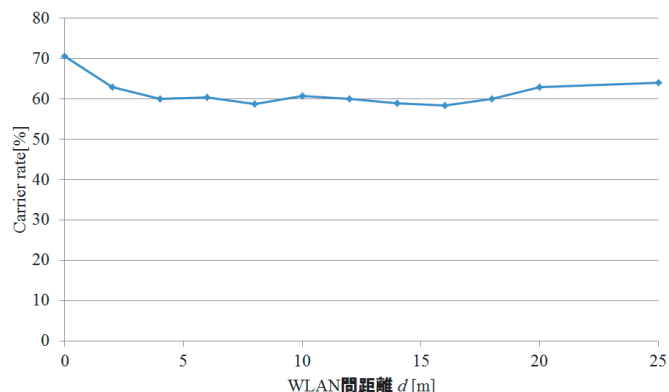


図 3 WLAN 間距離とキャリアビジー率

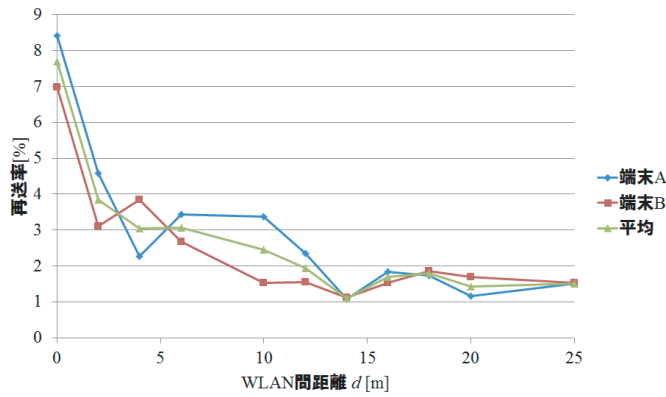


図 4 再 送 率

複数 WLAN 通信時の性能として、自局の通信特性は干渉相手の通信にも大きく左右されるため、3 状態の場合分けには、キャリアビジーが大きく関係しているといえる。そこで、相手の WLAN のキャリアがどの程度の距離まで届くのかを突き止めるため、図 5 のような評価モデルにおいて、キャリアビジー計測を行った。

その際、電波遮断袋という袋の外と内の通信を遮断する袋を使用して比較を行った。そのような機材を使うと、既存の外部の通信を実験系の通信と区別することが出来るため、実験端末の通信時のキャリアビジーのみを計測できる。その結果を図 6 に示す。図 6 において「電波遮断袋あり」というのは、WLAN 全体を電波遮断袋で覆い、送信端末がない状態でのキャリアビジーを表している。一方「電波遮断袋なし」というのは、電波遮断袋は使わず、送信端末がない状態でのキャリアビジーを表している。つまり「電波遮断袋あり」と「電波遮断袋なし」のキャリアビジーの差が、評価に使用した端末以外のキャリアビジーの合計である。さらに「通常」と「電波遮断袋なし」の結果を比較することにより、WLAN 間距離 8m 付近からはすでに干渉相手のキャリアはほぼ認識できなくなり、20m 地点では、通信端末がない時と変わらないまでに、相手のキャリアを認識できなくなっていることが分かる。

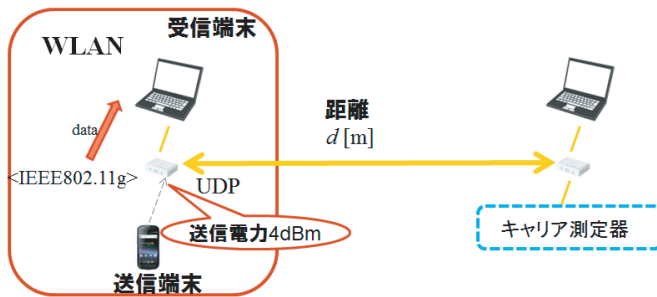


図 5 キャリアビジー評価モデル

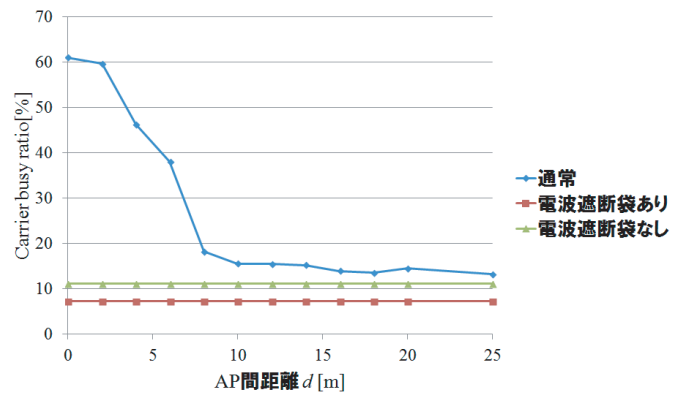


図 6 キャリアビジーの変化

また、本研究における評価モデルを決めるため、送信端末数に応じたスループット特性の評価を行った。その結果、送信端末台数の多い WLAN システムの方がトータルスループットが小さくなり、キャリアビジーも多くなる (図 7, 8 参照)。そのため、本研究においては、最も端末数の少ない状態として、各 WLAN の送信端末数を 1 台として検証を行った。

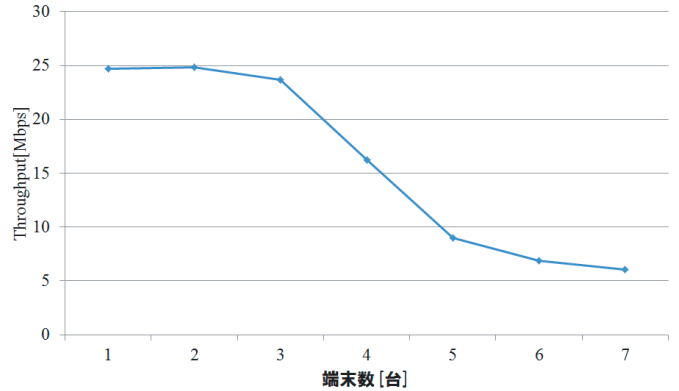


図 7 端末数とスループット

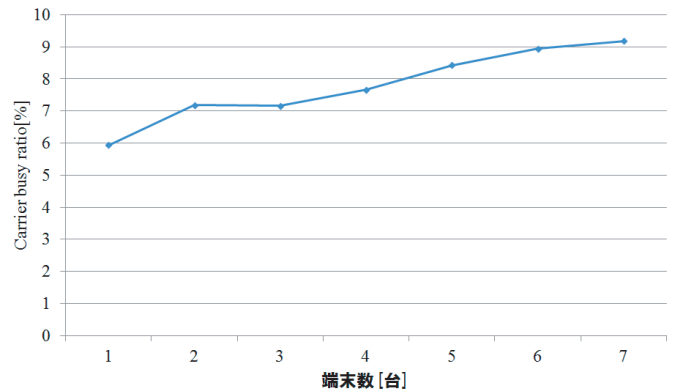


図 8 端末数とキャリアビジー

また、このような通信特性をもつ、複数 WLAN 通信時の WLAN 間距離に応じたスループット特性を、シミュレータに NS2 [5] を使用し、モデル化した [6]。モデルには、Shadowing

モデルを使用している。

シミュレーション結果を図 9 に示す。

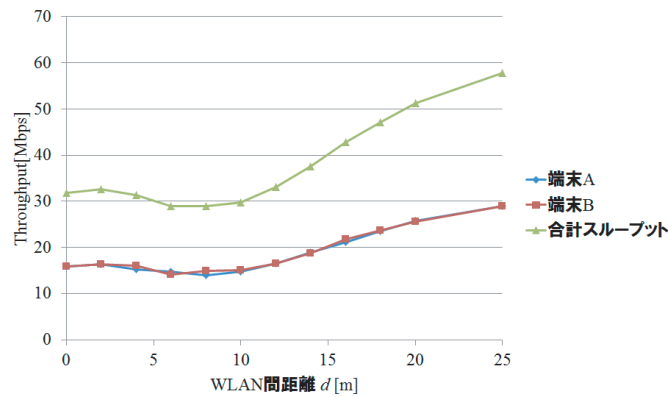


図 9 スループットのシミュレーション評価

このような通信特性をもつモバイル通信環境において、WLAN 間距離に応じて、要求帯域を得るための制御を検討する。制御には ROC と制御 WLAN を使用する。以下、制御の詳細と制御効果について述べる。

4. 制御ポリシー

本稿において、WLAN 間距離とスループットは何らかの方法で把握可能と仮定し、制御はネットワーク的に中立的な立場から第三者が行うものとする。本稿では、説明の簡単化のため、2 つの WLAN 間の制御について記すが、本稿で示す制御方法は、3 つ以上の WLAN 間の公平性制御にも容易に拡張可能である。

5. 提案する優先制御方法

5.1 優先制御方法

無線 LAN のスループットを無線 LAN 外から制御するには、CSMA/CA のキャリアセンス制御が、受信確認制御（バイナリバックオフ制御）をねらうのが効果的である。そこで、提案方法では、ROC と指向性アンテナ付き制御専用 WLAN（以下、単に制御 WLAN）とのいずれか、あるいは両方を使用する。以下、各制御の詳細を述べる。

5.2 ROC

ROC (Receive Opportunity Control in MAC Frame) について述べる [7]。ROC は、既存の 802.11 端末に変更を加えることなく、ある割合の MAC フレームの送達を制御することで、優先制御を行うことが可能である。これは、例えば、802.11 の MAC 方式である CSMA/CA において、ACK をノイズエラーさせることで、実現される。この ACK エラーにより、802.11 がもともと持っている再送制御とバイナリバックオフ制御機能が働くため、非優先端末の送信機会が他に譲られることで、優先制御が実現される。端末ごと、あるいは WLAN ごとに MAC フレーム廃棄率をコントロールすれば、端末ごとにも WLAN ごとにも制御可能である。

5.3 制御 WLAN

制御 WLAN とは、指向性アンテナを使用した別 WLAN を配置することにより、優先側 WLAN (WLAN-2) とは CSMA/CA を行わず、非優先 WLAN (WLAN-1) のみと CSMA/CA を行わせることで、優先 WLAN のスループットを改善させる制御方法である。非優先側が、制御 WLAN の送信中によるキャリアビジーのために待機している時間帯にも、優先側は（キャリアビジーにならないため）送信が可能である。この差がスループット差を生み出す。制御 WLAN 自体は、特殊な機能が不要な通常の WLAN 端末と AP のペアであり、容易に実現できる。また、通信トラフィック量を調整することで、制御強度を変更することができる。ただし、指向性アンテナによる優先側と非優先側の区別を厳密に行えるかどうか効果が左右する。

6. シミュレーションと実機における制御効果評価

6.1 ROC

シミュレータには NS2 を使用し、ROC 制御効果を確認する。近距離では、非優先側の WLAN-1 のスループットが低下する分、優先側の WLAN-2 は、スループットが増加する。理想的には、近距離でも WLAN-2 のスループットを下げないように制御したいが、ROC の特性により、限界がある。

図 10 の評価モデルの構成で、ROC で実現した WLAN-1 の MAC フレーム廃棄率をパラメータとして、各 WLAN のスループットと WLAN 間距離の関係を図 11 に示す。縦軸は各送信端末のスループット、横軸は WLAN 間距離 d m としている。また、実線は、非優先 WLAN-1 のスループット、点線は優先 WLAN-2 のスループットをそれぞれ意味する。

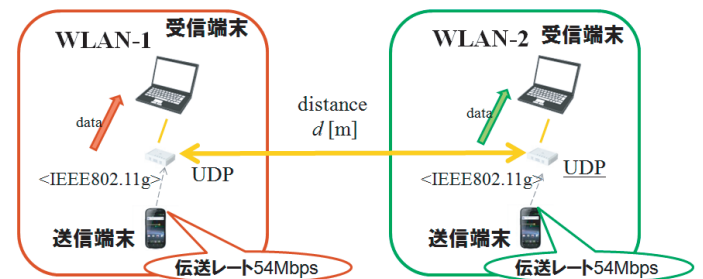


図 10 ROC 制御評価モデル

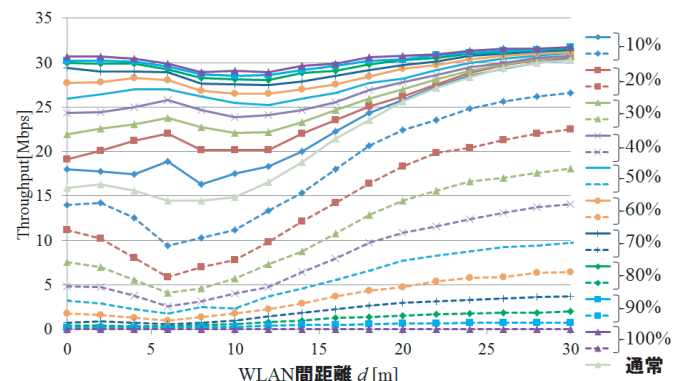


図 11 ROC 制御によるスループット変化

状態3でも、優先WLANのスループットは、非優先WLANよりも大きくなっており、また、MACフレーム廃棄率を変化させることで、スループットの差も変化している。このことは、任意のスループット比が得られるであろうことを示している。

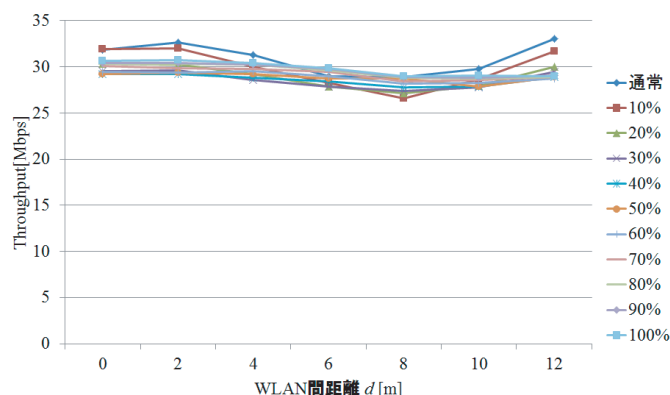


図 12 ROC 制御時の 2 つの WLAN システムの合計スループット

また、図 12 に、WLAN 間距離に応じた 2 つの WLAN システムの合計スループットを示す。これにより、オーバーヘッドの影響は小さく、本提案公平性制御は有効であることが分かる。

図 11 の評価結果から、WLAN システム間の距離を認識している状態で、要求帯域を得るには、どの程度の強さで MAC フレーム廃棄をかければよいのかということが明らかになった。一例として、一方のユーザが相手の WLAN の 2 倍の帯域を得たいとする。このとき、相手の WLAN が 12 ~ 16m 離れているときには ROC の強さを MAC フレーム廃棄率 = 20%，また 3 倍の帯域を得たいとすると 12 ~ 14m 離れているときには 30 % かければよい。そこで、実際の環境で、このような制御が可能であることを実機実験により示した。モバイル通信環境を想定しているため、送信端末にはスマートフォン [8]，AP にはモバイルルータ [9] を使用した。図 10 と同じ、つまりシミュレーションと同じ条件で実機での評価を行った結果、シミュレーションと同じ制御効果を得られることが確認できた。

6.2 制御 WLAN

制御 WLAN を使用した際の制御結果についても検証する。図 10 の評価モデルにおいて、WLAN-1 側に制御 WLAN を追加する。評価モデルは、図 13 に示すように、制御 WLAN は、WLAN-1 と共に移動し、指向性アンテナを用いて、WLAN-2 にはキャリアを送らないようにする。評価結果を図 14 に示す。状態 3 ではシミュレーションプログラムの都合上、制御 WLAN が、WLAN-2 とともに干渉してしまっているため、WLAN-2 の優先効果が低下してしまっている。プログラムの改造は今後の課題である。しかしながら、状態 2，3 では、制御効果を発揮して、優先制御が達成されている。

7. おわりに

本稿では、相手の WLAN との属性・構成の違いによる不公平を是正するために、ROC と制御 WLAN を使用する方法を提案した。本提案公平性制御の中の ROC を使用した制御手法

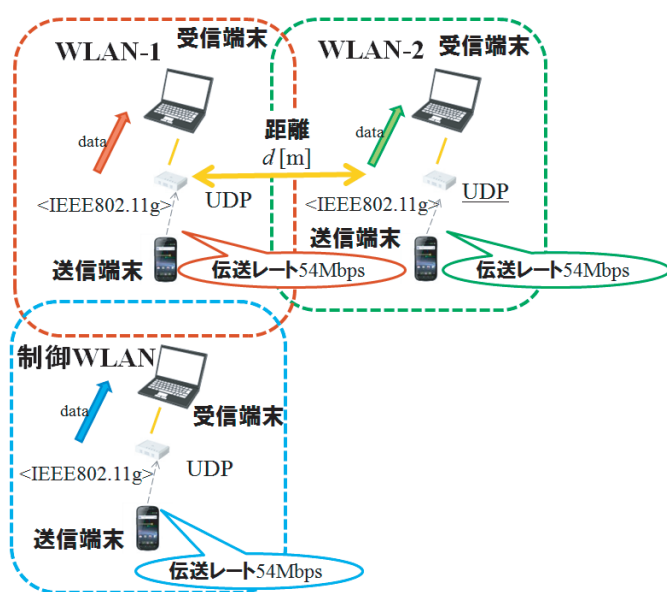


図 13 制御 WLAN 評価モデル

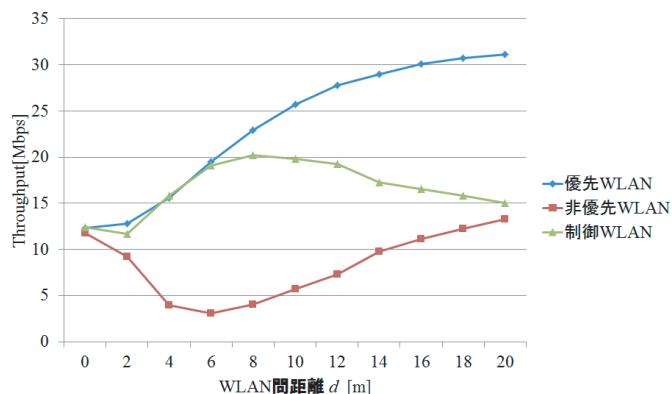


図 14 制御 WLAN によるスループット変化

について、効果をシミュレーションと実機実験により確認し、必要帯域割合に応じた WLAN ごとの公平性制御が可能であることを示した。今後、制御 WLAN の実機評価を進める予定である。

文 献

- [1] R.Ando, T.Murase, and M.Oguchi. "Characteristics of QoS-Guaranteed TCP on Real Mobile Terminal in Wireless LAN", Proc. IEEE 2011 International Communications Quality and Reliability Workshop (CQR2011),2011.
- [2] 森内彩加, 村瀬勉, 小口正人, "IEEE802.11b/g 異種 WLAN システムの近接時におけるスループット特性", 情報処理学会第 75 回全国大会, 5Y-2, 2013.
- [3] A.Moriuchi, T.Murase, M.Oguchi, A.Baid, S.Sagari, I.Seskar, and D.Raychaudhuri, "Measurement Study of Adjacent Channel Interference in Mobile WLANs", Proc. the International Workshop on Green Broadband Access (GBA2013) in conjunction with the IEEE International Conference on Communications (ICC2013)
- [4] 森内彩加, 村瀬勉, 小口正人, "異種規格無線 LAN 近接時の特性解析", マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム, 3G-2, pp.787-791, ホテル大平原, 2013.
- [5] ns2:<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [6] 神田正則, 甲藤二郎, 村瀬勉, "HCCA 及び CSMA/CA 制御アクセスポイント混在時の特性評価", 電子情報通信学会総大会

2014 年 3 月.

- [7] Tutomu Murase, Kousuke Uchiyama, Yumi Hirano, Shigeo shioda and Shiro Sakata, "MAC-Frame Receiving-Opportunity Control for Flow QoS in Wireless LANs, " IEICE Trans. On Comm.Vol.E92-B No1 pp.102-113 , January 2009 .
- [8] NexusS:<http://www.android.com/devices/detail/nexus-s>
- [9] Planex MZK-MF300N:<http://www.planex.co.jp/product/router/mzk-mf300n/>