

異種規格無線 LAN 近接時の特性解析

森内 彩加¹ 村瀬 勉² 小口 正人¹

概要：近年モバイルホットスポットやスマートフォンのテザリングが普及している．その結果，従来考えられてこられなかった，アクセスポイント（AP）が移動する環境についても考慮する必要が出てきた．そこで，移動可能な AP とノート PC やスマートフォンなどの個人の端末（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多くなると予想される．さらに，モバイル端末の普及や多様な通信端末が登場したことによる影響により，ヘテロジニアスな通信環境についても考慮することが必要不可欠である．モバイル WLAN システムの研究では，端末数やチャンネル差に応じた，複数の WLAN システムの近接度に応じたフロー毎の品質特性評価が行われている．更に，異種 WLAN 混在時における評価として，IEEE802.11b(11b) と IEEE802.11g(11g) 混在時の近接度に応じたスループット特性の評価が行われている．しかし，昨今利用が増加している IEEE802.11n(11n) については，そういった検証が行われていない．さらに 11n では，11b や 11g とは異なるフレームアグリゲーション，MIMO やチャンネルボンディングといった特別な設定が可能であることから，これらの混在環境について評価することが必要である．そこで本稿では，11g と 11n が混在した環境における WLAN 間距離に応じたスループット特性の評価を行う．これにより，11n の通信特性は，11b や 11g の通信特性と大きく異なることを明らかにした．さらに，この結果を利用し，異種 WLAN 通信時における通信特性改善のための提案を行った．

Performance Analysis for mobile wireless LANs with different standard

AYAKA MORIUCHI¹ TUTOMU MURASE² MASATO OGUCHI¹

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，モバイルホットスポットが急速に普及している．本研究におけるモバイルホットスポットとは，個人の端末とは 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モバイルルータやスマートフォンのテザリングのことをさす．このモバイルホットスポットの普及により，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）で移動を伴うデータの送受信が大量に行われ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，モバイルホットスポット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がなされている [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はなく，干渉についても説明している．一方，これらの文献に対して，ヘテロジニアスな通信環境についても検証がなされている [4][5][6]．文献 [4] や [5] では，異種チャンネルを使用

¹ お茶の水女子大学

Ochanomizu University, Bunkyo, Tokyo, 112-8610, Japan

² NEC

NEC Corporation, Kawasaki, Kanagawa, 211-8666, Japan

した際のスループット特性が示されている。一方、使用デバイスの多様化により、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によって、WLAN 規格の混在環境についても考慮する必要がある。そこで、文献 [6] では、異種 WLAN 規格を使用した際の WLAN 間距離に応じたスループット特性の調査として、現在使用されている WLAN の中で最も基礎的な IEEE802.11b(11b) と IEEE802.11g(11g) 混在通信時の通信特性を明らかにしている。しかし、今日利用が増加している IEEE802.11n(11n) についてはそういった調査が行われていない。さらに、11n には、11b や 11g とは異なる設定が多数可能であるため、詳しく調査する必要がある。そこで本稿では、11g と 11n 混在時の WLAN 間距離に応じたスループット特性の評価を行った。さらに、その結果をもとにして、端末付け替えによる異種 WLAN 混在環境における特性改善のための検討を行った。

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、異種 WLAN 規格と WLAN 間距離に応じた実機実験について説明する。5 章では、端末付け替えによる通信制御方式の一検討と、評価結果を示し、最後に 6 章でまとめを述べる。

2. 従来研究

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 [7][8][9]。これらは、各アクセスポイント (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ホットスポットを想定し、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、電波環境が非常にダイナミックに変動することから、このような制御は有効であるとはいえない。

また、WLAN システム自体が移動することに関する研究については、文献 [10] で既に行われている。文献 [10] 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や距離に応じてスループットが変化することをシミュレーションにて示している。

モバイルの無線通信環境における評価としては、実機やシミュレーションにおいて、様々な研究がなされている [1][2][3]。文献 [1][2] では、同一チャ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検証がなされている。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。また、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前述の文献 [1][2] に対して、我々は既に異種の WLAN 同士が近接して通信する場合には、特徴的な特性が現れることを示している [5][6]。ヘテロジニアスな通信環境における近接度に応じた品質特性評価として、文献 [5] では、端末数やチャネル差に応じた QoS 特性 (スループット) を明らかにしている。また、異種 WLAN 規格の混在環境における評価として、文献 [6] では、11b と 11g の混在通信時のスループット特性について示しており、11b と 11g の混在環境においては、slot time 値の違いや、伝送レートの違いによる特徴が顕著に表れることを示した。

しかし、昨今使用が増えている 11n は、11g と同じ slot time であっても、フレームアグリゲーション、MIMO やチャネルボンディングといった様々な設定があるため、文献 [6] とは、特性が異なることが予想される。後述するが、フレームアグリゲーションはスループットに大きく影響を与える。また、チャネルボンディングは使用可能な条件が限られており、一般的には使用できないため、無視できる場合が多いが、MIMO は、11g より常にスループットが高くなる要因である。そこで、本稿では 11n と 11g の混在環境における特性評価を行う。11n のスループットは 11g のスループットより遥かに大きいことから、11g と 11n の混在環境においては、11g の端末を 11n の端末に全てつないだ方が、トータルのスループットが高くなる場合があることが予想できる。そこで、通信特性をもとにして、通信性能改善の手法についても検討する。

また、文献 [3][4][10] はシミュレーションにより評価が行われているが、現実の通信環境におけるキャプチャエフェクトや他の通信の影響などはシミュレーションでは、モデル化が非常に困難である。しかしこれらの効果の影響が実環境では大きいため、本研究では、実機実験により検証を行う。具体的には、IEEE802.11g と IEEE802.11n の WLAN を取り上げて検証を行う。文献 [1] 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 システムの距離を変えて、スループットを評価する。

3. 検討課題

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。11b と 11g では、スロットタイム値の違いにより、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があった [6]。しかし、11g と 11n ではスロットタイム値は $9 \mu s$ で同一であるため、スロットタイム値の違いはない。つまり、slot time 値の影響を考慮する必要はない。さらに、WMM についても Best Effort で同一である。しかし、11n には、先にも述べたフレームア

グリゲーション, MIMO やチャンネルボンディングの使用可否, 変調方式に違いがある. 特に, 送信データを多数連結することで, 1 回のフレーム送信で大量のデータを送信し, データ送信時間の割合を増やすことで高速化を図る, フレームアグリゲーションの有無がスループットに与える影響は顕著である. そのため, 11g と 11n の混在環境では, 11b と 11g の混在環境とは結果が異なることが予想される. 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, 11n の通信が 11g 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. そこで, IEEE802.11g と IEEE802.11n の異種 WLAN システム混在環境における通信特性の評価として, 実際の環境において, どのような通信特性が得られるのかについて調査する. そのため本稿では, 以下の 2 つの検討課題を設ける.

- (1) IEEE802.11g と IEEE802.11n 混在環境における QoS 特性
- (2) 異種 WLAN 混在環境における通信特性の改善

4. 異種 WLAN 混在時のスループット特性

4.1 評価モデル

異種 WLAN 混在時における通信性能改善の手法を検討するため, 通信特性の評価を行う. 本稿では, 11n と 11g の WLAN を取り上げて, 実機実験にて評価を行った. 文献 [1] と同様に, 干渉がない十分な遠距離から, 完全に同じ CSMA/CA ドメインで動作する近距離まで, 2 つの WLAN 間の距離を変えて, スループットを評価する. スループットは, 1 つの WLAN の合計スループットを計測する. また, 11g と 11n では設定に様々な違いがある. できる限り同一条件にするため, どちらの WLAN もチャンネルボンディングはオフとし, WMM は Best Effort としている. さらに, 各 WLAN の送受信端末は全て同一端末, 設定とし, 電波強度や伝送レートも同一である.

4.2 スループット特性

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, WLAN 間距離が離れて, 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. WLAN 間距離がさらに離れると, 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, キャプチャエフェクトにより, 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.

4.3 実機実験におけるスループット特性

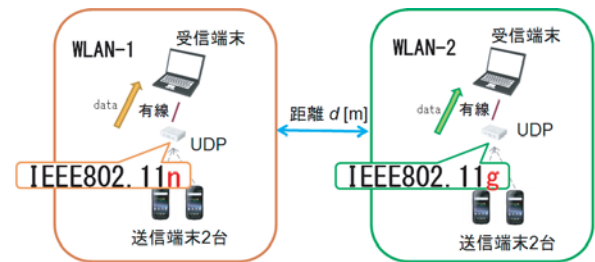


図 1 評価モデル

評価モデルを図 1 に示す. 実験機器は一般的な端末を使用した. AP としては, モバイル環境向け AP である Planex の MZK-MF300N[11], 送信端末にはスマートフォン (Android2.3.7 を搭載した Nexus S) を使用した [12]. スループット測定には iperf[13] を使用している. 各送信端末は uplink (端末から AP の方向) に通信を行う. また, WLAN システムの端末は, 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 台以上で uplink を用いたときが, 最大のスループットを獲得できるからである. 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, 30m の距離を確保可能な廊下である. 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, 同様の特性が得られるはずである.

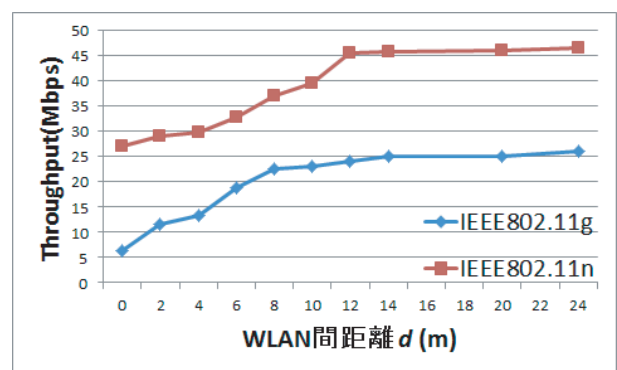


図 2 IEEE802.11n と IEEE802.11g 混在時のスループット特性

フレームアグリゲーションがない異種 WLAN を混在させる場合, 文献 [6] の 11g と 11b の混在環境のように大きなスループット差はない. これは, performance anomaly により, 伝送レートが高い WLAN が, 低い伝送レートの WLAN の影響を受けてはいるが, 11b/g 混在環境でスループット差の大きな要因であった slot time 値の違いがない

分、大きな差としては現れないためである。実際に、APをフレームアグリゲーションを行わない設定とし、送信端末1台でdownlinkでスループットをした検証したところ、11gのスループットが平均約11.8Mbps、11nが12.1Mbpsとなり、大差はないことが確認できた。一方、フレームアグリゲーションがある場合、フレームアグリゲーションのある11nがデータを合体してフレームを送った分だけ11gとのスループットに差がでる。図1において、WLAN-1のWLANに11n、WLAN-2のWLANに11gを使用して評価した結果を図2に示す。これは、WLAN間距離 d_m を変化させたときの各WLANシステムごとのスループットを表している。実測値では、11nは平均5.7フレーム合体してフレーム送信を行っており、11nのスループットは11gのスループットの約4.3倍であった。フレーム差がスループット差と完全に一致してはいないがこれは、オーバーヘッドにより、多少差がでたものと考えられる。また、11nの通信は、MIMOなどによりフレーム受信が良好になるため、WLAN間距離 d が小さくなるにつれて、11nのスループットは、なだらかに低下していく。

5. 端末付け替えによる通信性能改善の提案

図2の結果より、2つのWLANシステムが十分に近接している地点においては、キャプチャエフェクトの効果により、APと近距離にある端末の方がスループットが高くなるため、1つのWLANの帯域を複数台で共有する方がスループットが高くなる場合があることが予想できる。そこで、実際にどの程度の違いが現れるのかについて、実機機器を用いて検証を行った。具体的には、11gの送信端末を11nのAPに付け替えることにより、どの程度スループットが向上するのかという比較を行った。

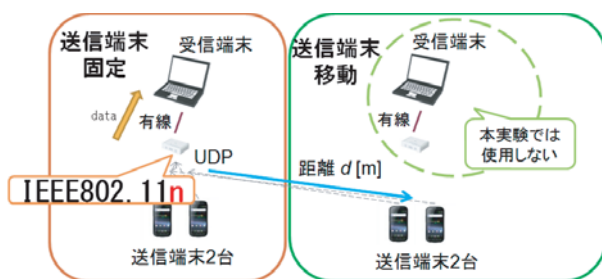


図3 端末付け替えによる制御手法の評価モデル

評価モデルは図3において、11nのAPの近くに送信端末2台を固定し、もう一方WLANの送信端末2台はAPとの距離 d を変化させてスループット測定を行う。他の設定は先の実験と同様であるが、今回は、WLAN-2の送信端末のみを離していく形である。つまり、APとWLAN-2の送信端末間の距離 d が0mの地点では、4台の送信端末が11nのAPの帯域を公平に共有し、その後は2台の送信端末のみが離れていくが、11nのAPの帯域は4台で共有し

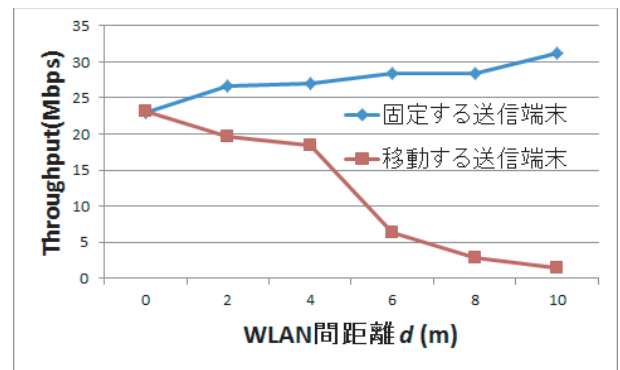


図4 端末付け替え時のスループット特性

続けることになる。APとWLAN-2の送信端末間の距離が十分近接しているとき、先に述べたキャプチャエフェクトにより、APと近距離にある送信端末の通信の方が優先されるため、図3の固定の送信端末のスループットの上がりの方が、移動する送信端末(APから離していく送信端末)のスループットの下がり方より大きくなる。実測した結果を図4に示す。

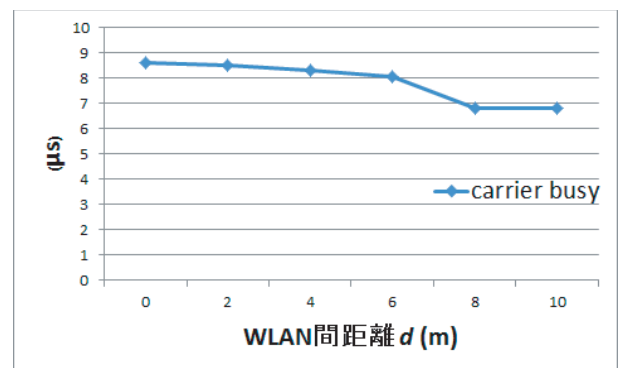


図5 キャリアビジー

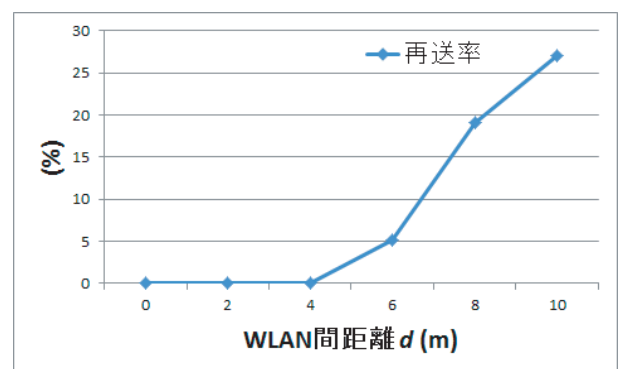


図6 フレーム再送率

また、複数WLAN混在時には、キャリアビジーが存在する。キャリアビジーとは、CSMA/CAにより、キャリアセンスする際に、電波が使用中でビジー状態にある時間のことである。このキャリアビジーは、WLAN間距離を離していくにつれてうまくCSMA/CAが動作しないことから、

WLAN 間距離が大きくなるにつれて単調減少になることが予想できる。一方、フレームエラーは、WLAN 間距離が大きくなるにつれて、検出できなかった相手のキャリアがノイズとして被さってくることにより、増加するはずである。また、WLAN 間距離が十分近い時には、CSMA/CA がきちんと動作していることから、フレームエラーは少なくなる。実際にキャリアビジーやフレーム再送率を測定したところ、それぞれ図 5, 6 のようになり、先に述べた現象を確認することができた。

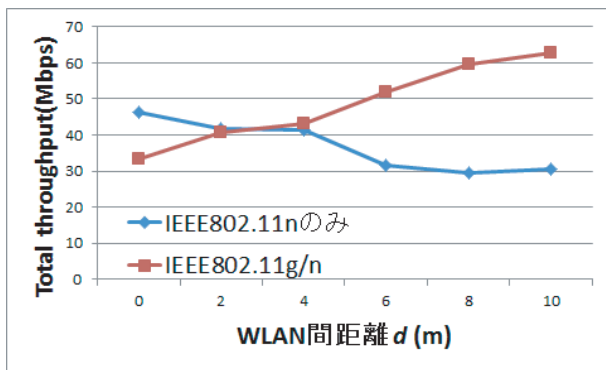


図 7 トータルのスループット比較

さらに、通信性能改善前と改善後の違いを明らかにするため、2つのWLANシステムの合計スループット比較を行った。図7は、図2の送信端末4台の合計スループット(2つのWLANシステムの合計スループット)と図4の送信端末4台の合計スループット(11nに付け替えた場合の2つのWLANシステムの合計スループット)を比較したものである。これにより、WLAN間距離2m地点までは付け替えを行い、その後は11gと11nでそれぞれ通信させた方が全体として通信性能が高くなることを示した。また、11gの送信端末を11nに付け替えたことで最大約39%スループットが向上することが分かった。

6. おわりに

IEEE802.11g(11g)とIEEE802.11n(11n)の混在環境におけるモバイルWLANの特性改善を試みた。そのためまず、11gと11n混在通信時のスループット特性を調査した。その結果、IEEE802.11bとIEEE802.11gの混在環境におけるスループット特性とは大きく異なった。11nのスループットは、フレームアグリゲーションを行わない場合には、常に11gと同一のスループットになり、フレームアグリゲーションを行う場合(2端末でフレーム数自動でsaturatedの場合)には、11gより約4.3倍スループットは高かった。これは、フレームアグリゲーションにより、平均約5.7倍のフレームが同時に送られていることに起因する。また、2つのWLANシステムが十分近接している時には、11gのスループットが低いことが、全体のスループットを低下させている。そこで、11gの端末を11nのAPに

接続させて切り替えて通信することで、全体のスループットを向上させる通信戦略をとった。その結果、何の戦略もとらない場合に比べて、最大39%スループットが向上することが分かった。

参考文献

- [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 (IN-CoS2011), 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] 森内 彩加, 村瀬 勉, 小口 正人: 近接した複数無線LANチャネル間距離とスループット特性, 電子情報通信学会, CQ研究会, CQ2012-67, pp.53-58, 2012年11月.
- [6] 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年3月.
- [7] 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.
- [8] I. Ramani, and S. Savage. SyncScan: "Practical Fast Handoff for 802.11 Infrastructure Networks", Infocom 2005, pp.675-684, Mar. 2005.
- [9] S. Seo, J. Song, H. Wu, and Y. Zhang: "Throughput-based MAC layer handoff in WLAN", Infocom Workshops, pp.1-2, 2009, Mar. 2009.
- [10] Micah Z. Brodsky, Robert T. Morris, "In Defense of Wireless Carrier Sense", ACM SIGCOMM 2009 conference on Data communication, pp.147-158, Aug. 2009.
- [11] MZK-MF300N 入手先 (<http://www.planex.co.jp/product/router/mzk-mf300n/>)
- [12] Nexus S 入手先 (<http://www.android.com/devices/detail/nexus-s/>)
- [13] iperf 入手先 (<http://sourceforge.net/projects/iperf/>)