

多くの AP が近接する場合の通信品質評価

熊谷 菜津美[†] 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: [†] natsumi@ogl.is.ocha.ac.jp, [‡] t-murase@ap.jp.nec.com, [†] oguchi@computer.org

あらまし 近年、モバイルルータやテザリングなど移動無線 LAN システムが増加している。このことは、従来の想定以上の多くの無線 LAN システムが近距離にひしめく可能性を示唆している。今日の市販 AP は使用するチャネルを AP 独自に決めており、干渉を避け、スループットが最大になるようなチャネル選択方法が実装されていると推測できるが、多くの無線 LAN システムには対応できていないと考えられる。今回の実験では、市販実機を用いた実験にて多くの AP が近接する場合のチャネル選択傾向を調査した。今回利用したポータブルタイプの AP では、同一チャネル内の複数の無線 LAN のフレーム衝突（チャネル内競合）も少なくし、チャネル間の電波干渉（チャネル間干渉）をも避けるようにチャネル選択を行った。また、無線 LAN が多い場合にはチャネル内競合が大きくなるため、敢えてチャネル間干渉を避けず近隣チャネルを利用することで、無線 LAN 全体のスループットを向上できる可能性を実測データから計算にて示した。

キーワード チャネル割当, 無線 LAN, 干渉, 衝突

Experimental results on quality of services in densely placed APs

Natsumi KUMATANI[†] 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: [†] natsumi@ogl.is.ocha.ac.jp, [‡] t-murase@ap.jp.nec.com, [†] oguchi@computer.org

Abstract Recently, the number of the mobile wireless LAN systems is increasing that includes mobile router or tethering. This suggests the possibility that more wireless LANs is crowded within a short distance than conventional assumption. Although commercially available AP decides channel to use with an original method that can avoid the interference and maximize throughput, most of them cannot deal with a large number of mobile wireless LAN systems. In this paper, the method of channel selection is investigated when numbers of APs become closer using commercially available APs. In this experiment, portable-type AP is used that selects channels which can reduce the number of contention between frames (intra-channel contention) as well as interference between channels (inter-channel interference). Moreover, because the number of interference between channels increases with many wireless LANs, the possibility is shown with calculation using measured data that neighbor channels are daringly used which cannot avoid interference between channels so as to increase total throughput of wireless LANs.

Keyword channel assignment, channel selection, wireless LAN, interference, collision

1. はじめに

近年、モバイルルータやテザリングなど移動無線 LAN システムが増加している。モバイルルータとは、インターネットとの接続には 3G や Wimax などの無線通信技術を使い、パソコンやゲーム機などの無線対応機器は IEEE802.11[5]の無線 LAN で接続するルータである。またテザリングとは、スマートフォンをアクセスポイント(AP)として、個人の端末をインターネットに接続する機能のことである。このモバイルルータやテザリングの普及は、個人が移動無線 LAN システムを

持つことを意味し、多くの無線 LAN システムが一時的にあるいは恒久的に密集することにつながる。つまり、従来の想定以上の非常に多くの無線 LAN システムが近距離にひしめく可能性を示唆している。このとき、各無線 LAN へのチャネル割当次第で、全無線 LAN トータルの性能が大きく変わってくるため、割当方法が重要である。すなわち、他のチャネルの無線 LAN からの「干渉」と同チャネルの無線 LAN との「競合」である。干渉とは、主として他のチャネルの無線 LAN からの cross-talk (チャネル間干渉と呼ぶ)であり、競合とは、

同じチャネルで CSMA/CA にて帯域を共有し、衝突（コリジョン）制御を共有する無線 LAN からの影響（チャネル内競合とよぶ）である。

従来、無線 LAN の AP のチャネル割当においては、主として干渉を考慮した割当が行われてきた。その割当方法は大きく 2 つに分けられる。企業網やキャリア WiFi 網のように、複数の AP を一元的に管理できる場合には、干渉を最小限にするように手動でチャネル番号を割り当てる方法が主流であり、また家庭用などの AP においては、固定のチャネルを使う [2-4]、あるいは各 AP が周囲の無線 LAN のセンシングにより干渉を避けるチャネルを自律的に獲得する auto channel selection (ACS) 機能をもちいるのが主流であった [7]。これらは、それぞれ、次のような欠点を持っている。手動の場合には、常に変動する干渉状況に追随するのが困難である。また自動の場合には、自律分散処理が、他との競合を調停するまでには至っていないため、効果は限定的である。これらの問題点に対して、集中あるいは分散処理かつダイナミックに最適なチャネルを割り当てる (DCA) 研究がなされている [6][7]。

従来の DCA 研究においては、資源であるチャネル数とユーザである無線 LAN システム数は同数程度、との前提で方式が検討されていた。しかしながら、前述のように無線 LAN 数が多くなってくると、同じチャネルに多数の無線 LAN システムを多重せざるを得なくなる。無線 LAN のアンライセンシ性から、アドミッション制御などの呼損系制御は適当ではないからである。従って、従来研究においては考慮されていなかった干渉と競合を同時に考慮したチャネル割当が必要となる。

このチャネル割当を考慮するに当たって、現状で AP がどのような自動チャネル割当 (ACS) を行っているかを把握することは重要である。そこで、本研究では、市販実機を用いて多くの AP が近接する場合のチャネル選択傾向の調査を行った。チャネル数以上の無線 LAN を用意し、それらを近接させ、チャネルを各 AP に具備されている ACS で取得させた場合に、それぞれの AP はどのチャネルを選択するのか調査した。また、無線 LAN が多いときに、チャネル間干渉の影響を計測し、チャネル内干渉との比較を行った。

2. 従来研究

無線チャネルは限られた資源であるため、これを有効活用する必要がある。有効活用の具体例として、チャネル全体のスループットが高いほど有効に利用されていると考える活用法がある。無線 LAN は、セルラーなどの無線とは違い、アンライセンシバンド利用であるため、アドミッション制御といった排他的利用制御を行うことは非常に難しい。従って、利用希望の無線

LAN を漏れなく収容し、なおかつ最大のスループットを得ることが求められる。このとき、有効なのが、チャネル割当制御 [6][7][8] である。

チャネル割当制御では、各無線 LAN に特定のチャネルを割り当てる。割当は、干渉などを考慮する必要がある。古くは [6] のような無線 ATM システムで、すでに考えられていた。しかし、先に述べたように、アドミッション制御を前提としない無線 LAN では、無線 ATM とは異なり、1 つのチャネルを多数の無線 LAN が共有することが必須となる。1 つのチャネルの共有とは、チャネル当たりの通信容量を共有することになる。すなわち、無線 LAN では、チャネル容量は、無線 LAN 数で分割される。例えば、チャネル容量が L bps で、そのチャネルを共有する無線 LAN が M 個であれば、1 つあたりの無線 LAN のスループットは、 L/M bps となる（全ての無線 LAN が最大限使用した場合）。さらに、これに他のチャネルからの干渉が加わり、スループットは、さらに低下することがすでに示されている [1]。これらの理論的なチャネル割当制御方法により、新規無線 LAN がチャネルを選択するときの最適チャネル選択制御の大枠は明確になってきた。

しかしながら、多くの無線 LAN 全体を制御対象とし、全体のチャネル割当を最適に編成するような制御方法については、未だ知られておらず、電波資源の有効利用という点からもこの検討は重要である。さらには、実機において、このような理論的割当方法がどの程度妥当であるかどうかの調査も、必須である。各チャネルからの干渉は、理論のように均質ではないものと予想される。また、各機器のデバイスの特性などにより、デバイスからの送出波自体が、理論のように均質ではない可能性がある。また、制御対象外の無線 LAN の存在といった要因も考慮する必要がある。

これらの要因は、無線 LAN の数が少ない場合にも考慮すべきである。一方、無線 LAN の数が多い場合には、多くの無線 LAN が 1 つのチャネルを共有することからチャネル内競合によるスループット低下が起こる。しかしながら、このチャネル内競合とチャネル間干渉を同時に考慮した図 1 のようなモデルにおけるチャネル割当およびスループット特性調査については、従来研究ではなされていなかった。

そこで本研究では、多くの無線 LAN が近づく環境において、チャネルを最適に割り当てる方法を検討する。今回の報告では、まずは現状の割当がどの程度最適になっているかを把握するため、市販機器の ACS、すなわち、自動でチャネルを取得する機能のチャネル選択傾向について評価した結果を示す。さらにチャネル間干渉とチャネル内干渉の影響を測定した結果について示す。

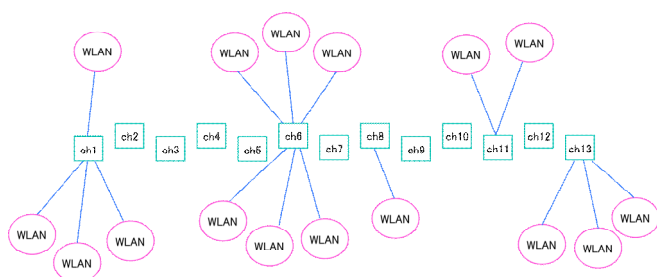


図1 チャンネル割当

3. 干渉と競合とチャンネル割当

3.1. 干渉と競合

無線 LAN の性能（本稿ではスループット）を劣化させるものとして、干渉と競合が挙げられる。すなわち、無線 LAN は、他のチャンネルの無線 LAN からの干渉と同チャンネルの無線 LAN からの競合が起こる。まず、この干渉と競合について、劣化のメカニズムを説明する。

干渉とは、他のチャンネルの無線 LAN の電波が自チャンネルの無線 LAN の電波に重なり、受信電波特性を劣化させることである。すなわち、あるチャンネルを使用する場合、出力される電波はチャンネルに対応した周波数を中心に、スペクトラムに広がるため、実際には隣接するチャンネルに相当する周波数帯も利用する。そのため、隣接するチャンネル同士を利用すると、どちらも同じ周波数帯を使用し干渉が起こり、空間を伝搬している無線 LAN フレームに、他のチャンネルの電波が重なってフレームが破壊される。普及している IEEE802.11g においては、無線 LAN チャンネルは 2.4GHz 帯を使い、5Hz 間隔で 13 のチャンネル(米国では 11 のチャンネル)が配置されている。これらを周波数の低いほうからチャンネル 1～チャンネル 13 と呼ぶ。干渉は、チャンネル 1 と 6 といったようにチャンネル差が 5 以上では起こらず、4 以下では起こり、またその干渉の強さは、チャンネル差が小さいほど大きい。図 2 は、チャンネル差とチャンネル間干渉の大きさの違いを表したものである。端のチャンネル（例えばチャンネル 1 と 13）は隣接するチャンネルが少ないため干渉が少ないチャンネルとなる。一般的に、無線 LAN は、有限のチャンネルを最大限に利用し、干渉を避けるようなチャンネル割当を行うため、両端のチャンネルと真ん中のチャンネルつまり、1, 6, 11（あるいは 13 の代わりに 11）をデフォルトで使用する [2][3][4]。

次に、競合とは、同じチャンネルで CSMA/CA を行い有限の帯域を共有するメカニズムにより、品質劣化の原因となるフレーム衝突(コリジョン)が発生することである。衝突により、待ち時間が長くなり、またフレーム再送が行われるため、スループットは低下する。

この衝突は、チャンネルを共有する無線 LAN が増加するほど多くなる。

3.2. チャンネル割当

以上のことから、系全体のスループットを最大にするチャンネルの最適割当方針は、次のようになる。干渉は、無線 LAN 数に関わらず、隣接するチャンネルを使用する無線 LAN が 1 つでも存在すると干渉が起こる。一方で、競合は同じチャンネルを利用する無線 LAN 数が多くなるほど影響が大きくなる。このことから、無線 LAN が少ないときは、干渉を避けることを重視したチャンネル割当が好ましく、無線 LAN が多いときは、競合を避けることを重視したチャンネル割当が好ましい。

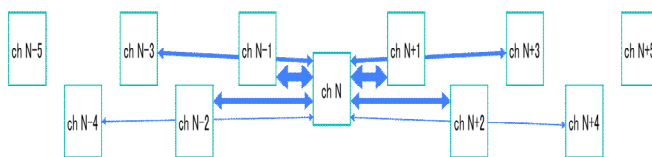


図2 チャンネル間干渉

3.3. 市販実機のチャンネル割当

チャンネル割当に関しては、IEEE802.11 などの標準の範囲外であるため、市販の無線 LAN (AP) には、ベンダー独自の自動チャンネル選択メカニズム(ACS)が備わっている。ベンダー独自ではあるが、一般的には、チャンネル全体のスループットを高めるため、チャンネル間干渉を避けるようなアルゴリズムが実装されている [1]。このアルゴリズムでは、特定のチャンネルを積極的に用いるようである。特定のチャンネルとは、両端のチャンネル（チャンネル 1,11）と両端のチャンネルからの干渉のない真ん中のチャンネル(チャンネル 6)のことを指し、この組み合わせで、チャンネル同士が干渉することなく有効利用できる最大の数をとることができる。また、米国では、デフォルトでは、チャンネル 6 に固定されて出荷されている AP が多いとの報告もある [2][3][4]。ただし、今回実験に使用した機材（日本国内向け）では、デフォルトでは、チャンネル設定は全ての機材で ACS になっていた。

また、通常、ACS は静的であり、つまり一度チャンネル決定を行うと、その後、電源入れ直すなどの何らかのリセット状態にならない限り、再センシングは行わず、同じチャンネルを使い続けるとされている。

市販の無線 LAN は、上記のような仕様とされているが、これは、チャンネル数と同程度の無線 LAN が存在するという前提で設計されている可能性が高く、チャンネル数に比べて遙かに多数の無線 LAN が存在するときに、これらの仕様が最適な振る舞いをするとは限らない。

そこで、このような特性を持つ無線 LAN を多数多重したときに、どのようにチャンネルが選択されるかを次章で実機実験にて評価する。

4. 自動チャンネル選択実験

4.1. 実機実験モデル

実験にて使用した機材や設定について説明する。本実験は、移動無線 LAN システムを想定しているため、AP にはポータブルルータ(PLANEX MZK-MF300N)を使用した。モバイル環境ではスマートフォンを利用することが多くなっているため、送信端末には Android 携帯端末(Nexus S, Galaxy S)を用いた。スループット測定にはアプリケーション Iperfを用い、無線 LAN には、現在最も使用されている IEEE802.11g を用いた。

図 3 に実験機器の構成を示す。1 つの無線 LAN は、AP と 1 台の携帯端末で構成した。本実験では、多くの近接する無線 LAN が ACS でチャンネルを取得する場合のチャンネル選択傾向を調査するため、AP を近接させた。具体的には、おおむね互いに 50cm 以内の距離に設置した。また、移動無線 LAN を利用する場合、AP と AP に接続する端末間の距離は比較的近いと考えられるため、AP と所属する端末間の距離もおおむね 50cm 程度に近接させた。AP のパラメータ設定は、チャンネル番号設定を ACS にし、WMM(Wifi Multi Media), IAPP(Inter Access Point Protocol)等の特殊機能を全て無効にした。端末は、WMM などが無効になっているデフォルトの設定で用いた、また、暗号は使用せず、オープンな無線 LAN 通信を行った。本実験は、通常のオフィスにて行ったため、ノイズや他の無線 LAN の影響が多少は含まれるが、Android アプリケーションの wifianalyzer などでの計測では、検知された無線 LAN は、チャンネル 4 を使用している 1 台のみであった。また、該無線 LAN は、1 時間に数 100 パケット程度の非常に低レート of トラヒックであったため、ビーコン以外の干渉は、ほとんど実験結果に影響が無いと考えられる。この環境において、無線 LAN 単独で iperf で計測した UDP スループット(端末→AP 方向)は、21Mbps であった。これは、文献 [9][10]等の実験結果と比較しても、IEEE802.11g において通常観測される数値であるため、にノイズなどの問題はないと判断した。

4.2. 自動チャンネル選択(ACS)

各 AP に ACS でチャンネルを選択させたときの結果の一例を示す。ACS は、電源を入れたときにのみ起動されるといわれているため、ここでは、各 AP を一斉に起動した場合と、順次起動した場合との 2 通りを試した。一斉起動の場合は、他の AP のチャンネル選択結果

を考慮することができずにチャンネルを決めるのではないかと予想され、順次起動の場合は、他の AP のチャンネル決定結果を考慮して決めることが出来るはずである。

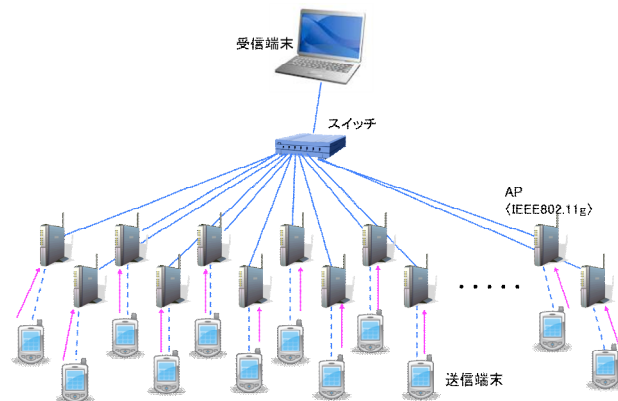


図 3 実験環境

図 4 は、全ての無線 LAN の電源を同時に入れたときの、各無線 LAN がチャンネル自動選択した結果である。横軸がチャンネル番号、縦軸が、チャンネルを使用していた無線 LAN の数で、グラフの棒の中の番号は、無線 LAN の識別番号である。前述のように、無線 LAN はチャンネル間干渉を避けてチャンネル選択を行うため、選択結果のチャンネルも互いに干渉しないチャンネル 1, 6, 13 に集中する傾向にあるはずである。しかし、その他のチャンネルを選択することもあり、チャンネル間干渉を完全に避けているとは言えないという結果を得た。

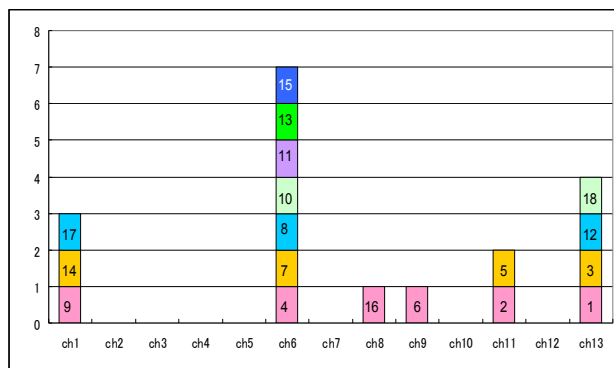


図 4 自動チャンネル選択

一方、図 5 は同様の実験において、無線 LAN の電源を 1 台ずつ順に入れたときの、各無線 LAN が自動選択したチャンネルを時系列で示している。横軸は、無線 LAN 識別番号で、縦軸がチャンネル番号である。図は、識別番号の小さい順に AP の電源を入れた場合、先に接続されている無線 LAN にどの程度配慮して、チャンネルを決めているかを示している。順に繋がる場合にお

いても、チャンネル間干渉を避けているが、同時に同じチャンネルを今回の場合3つ以上の無線 LAN が使わないように、つまりチャンネル内干渉を避けて、同じチャンネルを使わないようにしているかのようにも振る舞った。なお、図には示していないが、先に述べたようにチャンネル4を使う他の無線 LAN が存在するため、起動している無線 LAN が少ない状況では、チャンネル1～4を避けているようにも思える。最終的には、チャンネル13においては、6個の無線 LAN がひしめき合うことになった。これは、次に述べるようにチャンネル内競合を引き起こす危険性が大きいため、良い選択ではないと思われる。

チャンネル選択が、動的ではなく電源投入時のみに行われていることを確認するために、チャンネルを自動取得した後、チャンネル1に対して干渉するように利用していなかったチャンネル2に敢えて無線 LAN を3台割り当てた。これにより、チャンネル1はチャンネル2からの干渉を受けるが、他のチャンネルを利用せずチャンネル1を使い続けることが分かった。また、その後全ての無線 LAN の電源を入れ直すと、チャンネル1に繋がっていた無線 LAN はチャンネル2からの干渉を避け、チャンネル1には繋がらないという結果、およびチャンネル2の無線 LAN を元のチャンネル6に戻し、再度電源を入れ直すと、元々チャンネル1に繋がっていた無線 LAN の内2台はチャンネル1に戻ることで、チャンネル選択はダイナミックには行っていないことを確認した。

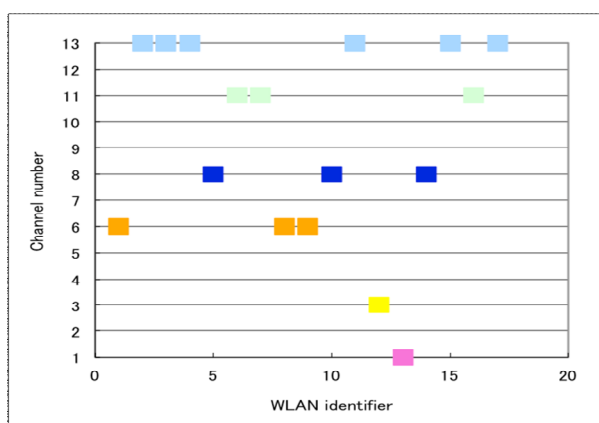


図5 自動チャンネル選択

4.3. トータルスループット

チャンネル内競合による性能低下については、2つの無線 LAN が競合した場合の詳細結果が文献[9][10]にも述べられているが、より多数の無線 LAN が競合した場合について調査した。図6は、17セットの無線 LAN で1チャンネル(チャンネル13)を共有し、通信を行ったと

きの17台のスループットの合計値である。ここでのスループットとは、iperfの計測値のことであり、実際にどれくらいの情報量を転送できたかを示しているため、無線 LAN の MAC フレームの再送などは除外した数値である。UDP および TCP 通信を行った結果、UDP では1.445Mbps、TCP では0.776Mbpsという劣悪な通信品質となることが分かった。単独の無線 LAN では、21Mbpsのスループットが得られることと比較すると、チャンネル内競合による品質劣化が非常に大きいことがわかった。

これらのことから、スループットの最大化には、チャンネル間干渉の影響のみならず、チャンネル内競合の影響も考慮したチャンネル割当が必要である。極端に偏った割当を行った場合には、スループットが10%以下になるような劣化が起こることもあり得る。

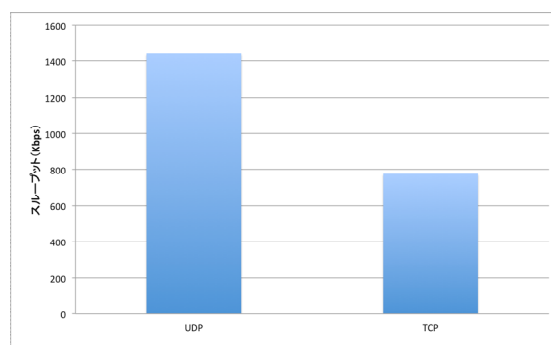


図6 チャンネル内競合

5. おわりに

多くの無線 LAN が近接する場合のチャンネル選択について、実機動作を検証した。チャンネル数以上の多数の無線 LAN にチャンネルを割り当てるとき、チャンネル間干渉とチャンネル内競合が発生する。チャンネル間干渉とチャンネル内競合の、どちらがシステム内のトータルスループットに与える影響が大きいかは無線 LAN の台数に依存する。今回実験に使用した AP は、チャンネル間干渉のみを避けるようなチャンネル選択ではなく、チャンネル間干渉とチャンネル内競合とを同時に避けるかの如くチャンネル選択を行った。チャンネル内競合の影響を調査するため、1つのチャンネルを18台のIEEE802.11gの無線 LAN で共有した場合、端末から AP 方向の UDP では、1.4Mbps、TCP では、0.7Mbpsというトータルスループットしか得られず、チャンネル内競合がいかに大きかを実証することができた。今後は、チャンネル内競合の影響を詳しく調査すると共に、最適チャンネル割当について検討を進める予定である。

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。また本研究を進めるにあたり大変有用なアドバイスを頂いた神戸大学の太田能准教授に深く感謝致します。

文 献

- [1] Jihoon Choi, Kyubum Lee, Sae Rom Lee, Jay (Jongtae) Ihm, "Channel selection for IEEE 802.11 based wireless LANs using 2.4GHz band," IEICE Electronics Express (ELEX), Vol. 8 (2011) No. 16 P 1275-1280, 2012.
- [2] Default channel setting in WiFi access point, <http://compnetworking.about.com/od/wifihomenetworking/qt/wifichannel.htm>, as of 19 September 2012.
- [3] Default channel setting in Netgear WiFi access point, <http://documentation.netgear.com/dg834n/enu/202-10197-02/Wireless.4.3.html>, as of 19 September 2012.
- [4] Recommended channel setting in Netgear WiFi access point, <http://documentation.netgear.com/reference/fra/wireless/WirelessNetworkingBasics-3-05.html>, as of 19 September 2012.
- [5] IEEE 802.11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE 802, June 2007.
- [6] G.F. Marias, D. Skyrianoglou, L. Merakos, "A centralized approach to dynamic channel assignment in wireless ATM LANs," IEEE INFOCOM '99, vol.2, pp.601-608 vol.2, 21-25 Mar 1999.
- [7] 松村祐輝,熊谷慎也,小原辰徳,山本哲矢,安達文幸, "無線 LAN システムにおける チャネル棲み分けに基づく動的チャネル配置の適用効果," 信学技報, vol. 112, no. 89, RCS2012-64, pp. 123-128, 2012 年 6 月.
- [8] Experimentation on interference, http://www.itmedia.co.jp/enterprise/articles/0810/28/news006_2.html, as of 19 September 2012.
- [9] Remi Ando, Tutomu Murase, Masato Oguchi, "Characteristics of QoS-Guaranteed TCP on Real Mobile Terminal in Wireless LAN," IEEE Sarnoff Symposium 2012, May 2012.
- [10] 安藤玲未,村瀬 勉,小口正人, "無線 LAN 環境におけるモバイルルータユーザ間の公平性制御手法の提案," データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM)2012, C2-1, Mar. 2012.