

多数の近接する無線 LAN のチャネル割当方法の提案と評価

磯村 美友[†] 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: [†]{mitomo,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の普及により個人が移動無線 LAN を持ち歩き, 会議の場やカフェなどのように, 近接した状況で多くの無線 LAN を利用する機会が増えている. 従来は, アクセスポイント (AP) が固定されている環境で使うことが前提であり, 電波干渉を避けたチャネル割当を行うことで性能劣化を避けることが出来た. しかし, 多数の無線 LAN が近接して存在する場合においては, 近隣, あるいは同一チャネルを使用せざるを得なくなり, 全ての無線 LAN のトータルスループットなどの性能劣化が避けられなくなる. このような状況における無線 LAN 全体の性能向上にはチャネル割当方法が重要な鍵となる. 以上のことから本研究では, 近接して多数の無線 LAN が存在する場合のチャネル割当方法の提案と性能評価を行った.

キーワード 無線 LAN, チャネル, 干渉, 競合, チャネル割当

Channel Assignment in Highly Densely Deployed Mobile Wireless LANs

Mitomo ISOMURA[†], 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: [†]{mitomo,natsumi}@ogl.is.ocha.ac.jp, ^{††}t-murase@ap.jp.nec.com, ^{†††}oguchi@computer.org

1. はじめに

近年, モバイルルータやテザリングなどの普及により個人が移動無線 LAN (WLAN) を持ち歩き, 会議の場やカフェなどのように, 近接した状況で多くの WLAN が利用される機会が増えている. 従来 WLAN は, アクセスポイント (AP) が固定されている環境で使うことが前提であり, 電波干渉を避けたチャネル割当を行うことで性能劣化を避けることが出来た. しかし, 多数の WLAN が近接して存在する場合においては, 近隣, あるいは同一チャネルを使用せざるを得なくなり, 全ての WLAN のトータルスループットなどの性能劣化が避けられなくなる. そこで, このような状況における WLAN 全体の性能向上にはチャネル割当方法が重要な鍵となる.

以上のことから本研究では, 近接して多数の WLAN が存在する場合のチャネル割当方法の提案と性能評価を行った.

2. 既存研究

2.1 関連研究とその課題

WLAN のチャネル割当に関する研究は, チャネル割当が動的に変化する制御や, WLAN 同士が協調可能な環境下が前提とされて, 既に様々な環境で行われている [2]. しかし, 他の WLAN の電波を感知してチャネル割当の制御をおこなう提案やモデル [3] や, パケットを常時監視した制御 [4] は現在普及しているような, 移動性のある AP に対してはネットワークへの負荷が大きくなる. 更に, 例えば IEEE802.11g においては一般的に干渉しないチャネルであるチャネル 1, 6, 11 の使用のみに限定すればチャネル間干渉を避けることが出来るが, WLAN 同士が近接した環境となると, 各チャネルに接続する WLAN 数によりチャネル内干渉の程度も異なる [6]. また, そのことが全ての WLAN 全体の性能にも影響を及ぼす事も想定される. 更に, 現在普及している AP やモバイル端末の中には, チャネルが最初から固定されており, 自由に変更できないものもある.

これらの課題を踏まえて, 本研究の目的は, WLAN 全体のチャネルを同時に割当てて事を前提に, 全体の性能向上が見込まれ

るチャンネル割当方法を提案する．

2.2 チャンネル差とスループット特性

これまでに、我々は、WLAN を 2 組使用し、WLAN 同士の距離 1m の状態でのチャンネル差とトータルスループット特性を明らかにしてきた．検証モデルの構成を図 1 に、検証結果を図 2 に示す [1]．チャンネル差 4,5 では使用周波数帯域がおおよそ異なる CSMA/CA ドメインになる事より、2.4GHz 帯のチャンネル 1～11 の中では、4 チャンネル差以上の離れたチャンネルを 3 つ取ることで 2.4GHz の周波数帯を効率よく使用可能である．一方、チャンネル差 3 以下では、WLAN 同士の電波が重なった部分で送信機会の奪い合いとなり、互いの WLAN が互いに干渉源となる．

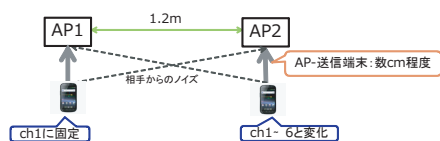


図 1 チャンネル差とトータルスループット

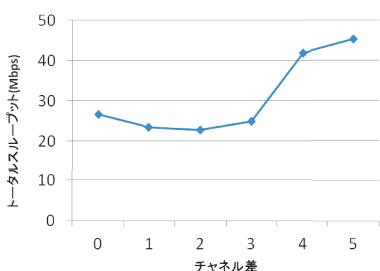


図 2 チャンネル差とトータルスループット

2.3 干渉するチャンネルを使用する WLAN 同士の競合

上記のチャンネル差が 3 以下の WLAN 同士のスループット低下要因は主として次の 2 つである．(a) 送信時；コリジョンによるビットエラーのため、フレームエラーが発生する場合、あるいは、(b) 送信待機時；送信側が干渉波をキャリアとして検出しキャリアビジーのため、送信を待つ場合である．さらにチャンネル差が 1, 2, 3 のときは、信号強度の揺れなどにより、チャンネル差が 0 のときよりも性能が劣化する．このため、3 チャンネル差以下の近隣のチャンネルの利用率を上げることで、ある特定のチャンネルの利用率を下げ、それにより、その特定のチャンネルからの干渉を軽減させるといった制御が可能である．これは、同じキャリアセンスドメインでは送信機会が均等であるためである．実際には、隣接チャンネルを使用しているアクティブな端末数あるいは AP 数を増加させればよい．たとえば、チャンネル 1 とチャンネル 3 の WLAN があるときに、チャンネル 5 に WLAN を追加することで、チャンネル 1 とチャンネル 3 の干渉を少なくすることができ、その結果チャンネル 3 のスループットは低下するが、チャンネル 1 のスループットをより向上させられる可能性がある．

3. チャンネル割当方法の提案と合計スループット評価

ここでは、提案するチャンネル割当方法とトータルスループット評価を行った．

3.1 チャンネル割当方法の提案

WLAN のチャンネル接続状態の場合分けと、それぞれの場合分けに対する割当方法の提案を行う．提案に当たり、WLAN のチャンネル接続状態に応じて図 3 のように場合分けをする．また、図 3 の (1)～(6) の場合分けに対する割当方法を図 4 に示す．

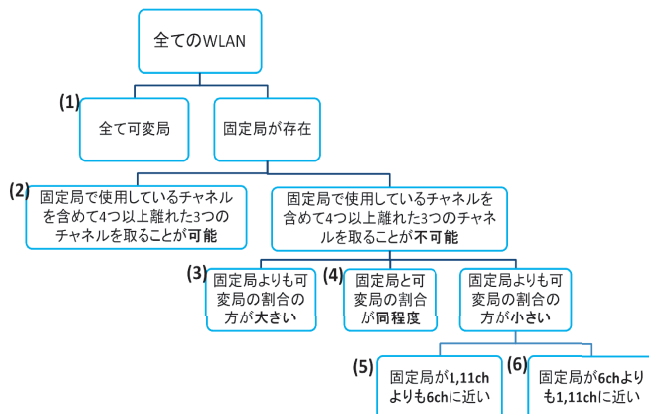


図 3 WLAN のチャンネル接続状態における場合分け

(1)	全ての可変局をチャンネル1,6,11に割当。両端のチャンネル1,11をより多く使用
(2)	固定局はそのままの使用した状態で、両端のチャンネルをより多く使用
(3)	固定局はそのままの使用した状態で、可変局を全てチャンネル1,6,11に割当。チャンネル6には固定局よりも多くのWLANを割当。更に、両端のチャンネルをより多く使用
(4)	固定局はそのままの使用した状態で、可変局を全てチャンネル1,6,11に割当。両端のチャンネルをより多く使用
(5)	可変局は固定局のチャンネルのみを使用。もしくは、固定局はそのまま使用し、新規にチャンネル1,11を取り入れて使用
(6)	固定局はそのまま使用し、なるべく多くチャンネル6から遠い方向に(固定局とのチャンネル差が最大となるように)ずらして使用

図 4 場合分けに応じたチャンネル割当方法

3.2 手案するチャンネル割当方法の基になる理由

ここで、提案する各チャンネル割当方法のメカニズムを述べる．(1) について、チャンネル 1,6,11 の各チャンネルに接続する WLAN 数がトータルスループット向上の鍵となる．チャンネル 1,11 はチャンネル 6 よりも他チャンネルを使用する WLAN からの干渉波が小さいので、トータルスループット向上の為に両端のチャンネルを有効に使用する事が求められる．以上より、(1) の割当方法を提案する．(2) について、2.2 節の理由より、割当方法を提案する．(3) について、2.3 節の理由より、割当方法を提案する．(4) について、(3) で述べた原理と同様の理由から、固定局はそのまま使用した状態で、可変局を全てチャンネル 1,6,11 に割当、両端のチャンネルを多く使用する様な割当を提案する．(5) について、3 つのチャンネルを使用するという事が鍵となる．チャンネル 1～11 で、最もスループットが高く取れる割当方法は、干渉しないチャンネル 1,6,11 の 3 つのチャンネルを最大限に使用する

方法である．たとえ干渉したとしても 3 つのチャンネルを使用する事は，チャンネルの使い方によっては干渉しない 2 つのチャンネル以上の帯域確保に繋がる．そこで，(5) の割当方法を提案する．(6) について，(5) の場合と同様に考えることが出来る．以上のことから，(6) の割当方法を提案する．

3.3 トータルスループット評価

前節で述べたチャンネル割当方法で，どの程度性能が向上するのか，また，WLAN 接続状態における各割当方法の場合分けは，全 WLAN に対する可変局の割合がどの程度の値で切り替わるのか調査した．

実験系の構成について説明する．実験は，AP にポケットルータ (PLANEX MZK-MF300N) [7] を使用し，送信端末には Android 端末 (Nexus S) [8] を用いた．スループット測定には iperf [10] を用い，通信方式は UDP 通信で uplink 方向に通信し，WLAN には IEEE802.11g を用いた．今回は，基本性能を把握するという点で上位プロトコルの影響の含まれない利用可能スループットを評価するために UDP 通信を用いた．TCP 通信の場合は，輻輳制御のため，輻輳制御アルゴリズムや AP のバッファ量などに依存してスループットが変わってきてしまうからである．downlink 方向への通信は，送信端末数が変化したときにも性能が変化しないが，uplink 方向の通信は，送信端末数に依存してスループット特性が変化する．今後のことも考慮して uplink 方向のトラヒックを用いた．

計測場所は，お茶の水女子大学 (東京都文京区) の一般的な会議室であり，会議室の電波環境は，Android 携帯端末において Wifi Analyzer [9] アプリケーションで確認したところ，他のチャンネルに実験系以外の無線 LAN が検出された．しかしながら，実験系において iperf で計測したスループットが，約 23Mbps であったこと，及び AirPcap を用いてフレームキャプチャした結果から，実験系以外の実際のトラヒックは，無視できるほど小さいことを確認している．

1 つの WLAN システムは 1 つの AP と 1 台の送信端末で構成され，AP と送信端末は可能な限り近い場所 (数 cm 程度) に設置した．各 WLAN を格子状の端点に設置し，隣の AP との間隔を 1m に設置した．なるべく同一チャンネル内での干渉を避けるために，同じチャンネル同士は離して設置した．一例として，可変局の割合が 75% の場合 (図 3, 図 4 の (3) のケース) において，提案するチャンネル割当方法を適用させた場合の WLAN の配置方法を図 5 に紹介する．

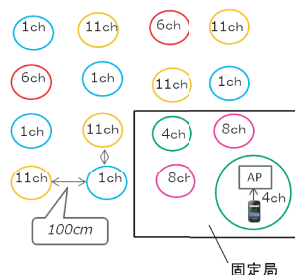


図 5 WLAN の配置

今回は，チャンネル 4,8 の各々に 2 組ずつ WLAN を接続し，固定局の存在とした．この場合，(5) と (6) の分類では (5) のケースに相当する．その状態から，各可変局の割合でのチャンネル割当を提案する割当方針に従って行った．チャンネル割当に関しては，WLAN 全体のチャンネルを同時に割当てて事を前提に行う．

前節で提案するチャンネル割当方法の中で，(1),(2) の割当方法が他の割当方法よりも良い事は自明であるため，(3) のトータルスループット評価から述べる．可変局の割合が固定局よりも多い場合を想定して，可変局の割合が 75% になるように WLAN を用意した．(3) で提案する割当方法以外の割当方法として，(a):チャンネル間干渉をなるべく避けた固定局の使用チャンネルのみを使用した割当や，(b):(4) で提案している割当 (固定局はそのまま使用し，チャンネル 1,11 のみを増加させる割当) も考えることが出来る．そこで，これら 3 つのスループット評価を行った．図 6 に結果を示す．その結果，提案するチャンネル割当方法を適用させた場合には，固定局はそのまま使用し，チャンネル 1, 11 のみを増加させた割当方法よりも約 25% 性能が改善する事が明らかになった．

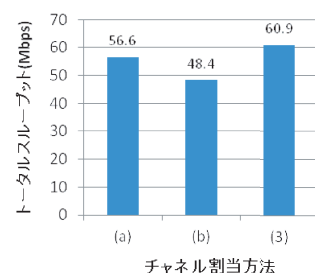


図 6 割当方針 (3) についての評価

(4) の場合のチャンネル割当方法のスループット評価について述べる．可変局と固定局の割合が微妙な場合を想定して，可変局の割合が 55% になるように WLAN を用意した．(4) で提案する割当方法以外の割当方法として，(c):固定局のチャンネルのみを使用した割当方法と，(d):固定局に加えて新規にチャンネル 1,11 を使用する方法が考えられる．そこで，これら 3 つの割当方法を評価した．図 7 に結果を示す．どの割当も大きく差はないが，提案するチャンネル割当方法の方が僅かに性能が良いことが分かる．

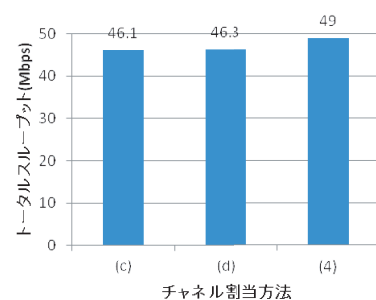


図 7 割当方針 (4) についての評価

(5) の場合のチャンネル割当方法のスループット評価について述べる．固定局よりも可変局の割合の方が小さい場合を想定し，

可変局の割合が33%になるようにWLANを用意した。(5)では、(5-1)固定局はそのまま使用し、可変局をなるべくチャンネル6から遠いチャンネル、つまりチャンネル1,11に接続し、両端のチャンネルであるチャンネル1,11になるべく多くWLANを割り当てるような方針を提案、もしくは、(5-2)可変局は固定局が既にあるチャンネルのみを使用する割り当を提案している。そこで、これら2つの割り当方法を評価した。図9に結果を示す。どちらの割り当も大きく差が無いことが分かる。

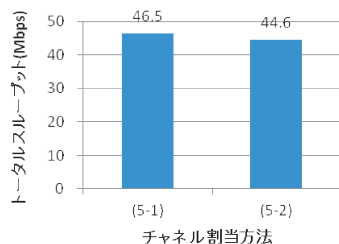


図8 割り当方針(5)についての評価

以上のスループット評価をまとめ、WLAN接続状態における各割り当方法の場合分けについて、全WLANに対する可変局の割合がどの程度の値で場合分けの切り替えポイントとなるのか調査した。その結果が図9である。全WLANに対する可変局の割合が50%までは前節で示した提案する割り当方法の(5)の割り当方法となり、55%前後では(4)の割り当方法となり、67%以降は(3)の割り当方法となった。

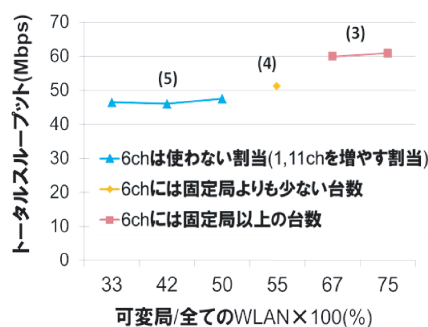


図9 WLAN接続状態に対するスループット

4. おわりに

近接して多数台のWLANが存在する場合のチャンネル割り当方法を提案した。一例として、チャンネル4,8に固定局がある場合、全WLANの中での可変局の割合が50%以下であれば、固定局に加えて新規にチャンネル1,11を使用する割り当、可変局の割合が55%程度であれば、固定局に加えてチャンネル1,6,11を使用する割り当、可変局の割合が67%以上であれば固定局に加えてチャンネル1,6,11を使用し、両端のチャンネルにはより多くのWLANを接続する割り当が効果的であることを示した。また、更に、可変局の割合が75%の場合に、この割り当方法を適用することで、固定局はそのまま使用し、チャンネル1,11のみを増加させた割り当方法よりもトータルスループットが約25%改善する事を示した。

文献

- [1] 磯村 美友, 三好 一徳, 山口 一郎, 熊谷 菜津美, 村瀬 勉, 小口 正人 “多数の無線LANにおける干渉とキャプチャエフェクト解析” マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICO2013) シンポジウム, 8B-1, PP.1812-1818, 2013年7月
- [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 Newark, New Jersey, USA, May 2012
- [3] Arunesh Mishra, Eric Rozner, Suman Banerjee, William Arbaugh “Exploiting Partially Overlapping Channels in Wireless Networks: Turning a Peril into an Advantage”, Proceedings of the 5th ACM SIGCOMM conference on Internet Measurement (IMC '05), 2005
- [4] Jens Nachtigall, Anatolij Zubow, Jens-Peter Redlich: “The Impact of Adjacent channel Interference in Multi-Radio Systems using IEEE 802.11”, IEEE IWCMC, 2008, pp.874 - 881, 6-8 Aug. 2008.
- [5] 熊谷菜津美, 磯村美友, 村瀬勉, 小口正人 “無線LANアクセスポイントのチャンネル内競合とチャンネル間干渉を同時に考慮したチャンネル割り当て手法”, 電子情報通信学会, CQ研究会, NS2012-94, pp.79-84, 京都大学, 2012年10月
- [6] 磯村美友, 熊谷菜津美, 村瀬勉, 小口正人 “多数の無線LANにおける干渉とキャプチャエフェクト解析”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICO2013) シンポジウム, 8B-1, pp.1812 - 1818, ホテル大平原, 2013年7月.
- [7] Planex MZK-MF300N: <http://www.planex.co.jp/product/router/mzk-mf300n/>
- [8] Nexus S: <http://www.android.com/devices/detail/nexus-s>
- [9] Wifi Analyzer: <http://wifi-analyzer.softonic.jp/android>
- [10] iperf: <http://sourceforge.net/projects/iperf/files/iperf/2.0.4source/iperf-2.0.4.tar.gz/download>