

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

磯村 美友¹ 三好 一徳² 山口 一郎² 熊谷 菜津美¹ 村瀬 勉² 小口 正人¹

概要: 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外出先で利用する機会が増えている. 会議など一カ所に多くの無線 LAN が集中する場合には, 近隣のチャンネルの使用のみならず同一チャンネルを共有せざる得なくなる. このとき, 周波数スペクトラムが重なり, ノイズが増加してしまう電波干渉が大きくなるため, スループットなど通信品質が大きく低下する恐れがある. 多数の無線 LAN が干渉を及ぼし合うといったモデルはこれまでほとんど解析されておらず, 干渉下での通信品質の劣化, 及び, この劣化のメカニズムは明らかではなかった. 本稿では, 品質特性を特徴づける要因である CSMA/CA におけるキャリアセンスおよびキャプチャエフェクトに焦点を当て, 多数の近接する無線 LAN のスループットを解析した. 具体的には, 無線 LAN 間の距離とスループットの関係および無線 LAN 間のチャンネル差とスループットの関係を, 市販実機を用いて計測調査した. 無線 LAN 同士の干渉の影響は, チャンネル差で生じるスペクトラムの重なり具合および距離による電波の強弱に起因する信号対ノイズ比で決まるキャプチャエフェクトが十分に発揮される環境で有れば, 品質劣化にはつながらないことなどを明らかにした.

Analysis on Interference and Capture Effect of Densely Deployed Wireless LANs

MITOMO ISOMURA¹ KAZUNORI MIYOSHI² ICHIRO YAMAGUCHI² NATSUMI KUMATANI¹
TUTOMU MURASE² MASATO OGUCHI¹

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 を持ち歩き, 会議の場やカフェなど外出先で利用する機会が増えている. 従来では, アクセスポイント (AP) を固定した状態で使用することが想定されていたが, 移動無線 LAN の普及により, 人間と一緒に AP も動き回るので, 電波環境もその都度変動する. その結果, 会議など一カ所に多くの無線 LAN が集中する場合には, 近隣のチャンネルの使用のみならず同一チャンネルを共有せざる得なくなり, 無線 LAN 同士の電波が非常に多く重なってしまうことで, 互いに干渉を及ぼし合い, 全ての無線 LAN のスループットなど通信品質を大きく低下させてしまう恐れがある. このため, 複数の無線 LAN が近接する干渉下での通信品質の劣化, 及び, この劣化のメカニズ

ムについて検討することは大変重要である.

特性評価に関して, 本稿で注目したキャプチャエフェクトは, 電波強度とノイズ強度の比率ならびに端末のデバイス性能などで効果の度合いが決まる. また, キャプチャエフェクトの度合いによりフレームの送信成功率が変わる. フレームの送信に成功した場合にはスループットは増加し, 失敗した場合にはスループットは減少する. このように, 通信品質に大きく影響を与えるという点で, キャプチャエフェクトの解析は大変重要である. しかしながら, これらは, 電波伝搬環境や端末の機種にも依存し, 数式化することが難しいとされることからシミュレーションでの評価が難しく, 従来あまり検討が進んでいなかった.

そこで本稿では, 実機を用いて, 無線 LAN が近接する場合のキャプチャエフェクト基本特性を調査する. キャリア検出確率や周波数スペクトラムの分析を通して解析し, キャプチャエフェクトが近接する複数の無線 LAN の性能に与える影響を調査する. 2 章では, 従来技術について述べ, 3 章では, 干渉が与えるスループットへの影響につい

¹ お茶の水女子大学
Ochanomizu University

² NEC Corporation

て、4章では、CSMA/CA とキャプチャエフェクトと再送について議論し、5章で周波数の重なり具合とキャプチャ効果について議論する。また、無線 LAN 数を増やすことで周波数の重なりを増やした場合の性能特性について6章で議論する。

2. 従来技術

2.1 従来研究とその課題

無線 LAN が近接する場合の通信品質に与える影響について様々な検証がなされている。同一チャネルを使用する無線 LAN 数が少数の場合の特性評価では、距離の大小により無線 LAN の干渉度が異なり、距離が十分に離れて独立した無線 LAN と、逆に距離が近くて1つの CSMA/CA を共有する無線 LAN という極端な特性と、その中間の特性の3つの特性が現れることが明らかになっている [1]。また、少数の無線 LAN を用いて、異なるチャネルを使用した場合の、距離に応じたチャネル間干渉の影響による通信品質の特性評価 [2][3] も行われており、干渉による通信品質の劣化に対する解決策として、マルチホップネットワーク [4] を使用した通信品質の改善など様々な提案がされている。しかし、多数の無線 LAN が近接した場合のスループット低下のメカニズムについて詳細に追及しているものはない。加えて、無線 LAN 数が増加した場合のキャプチャエフェクトについても調査されているが [5]、キャプチャエフェクトが働くメカニズムについて十分に調査されていない。以上より、これらのメカニズムについて検証することが必要となる。

2.2 無線 LAN の電波特性

無線 LAN で多く使われる 2.4Gz 帯では、11~14 個のチャネルが設定されているが、これらのチャネルは完全には分離されておらず、オーバーラップしている。従って、近隣のチャネルを用いると後述するような干渉の問題が発生する。このオーバーラップチャネルの様子を図1に示す。図1において、横軸が周波数、縦軸が信号強度である。また、各チャネルで送出される電波をより詳しく示したのが図2である。送信される電波スペクトラムは、各チャネル外（つまり隣接チャネル）に漏れ出すことでオーバーラップが発生する。このオーバーラップする信号強度が大きいと、後述する干渉も大きくなる。一般に、チャネルが近いほど、また地理的距離が近いほど、オーバーラップする信号強度も大きい。そのため、例えば、オーバーラップしないとされるチャネル 1,6,11 間においても、距離が近い場合などでは、オーバーラップによる干渉が通信性能に大きな影響を与える [6]。

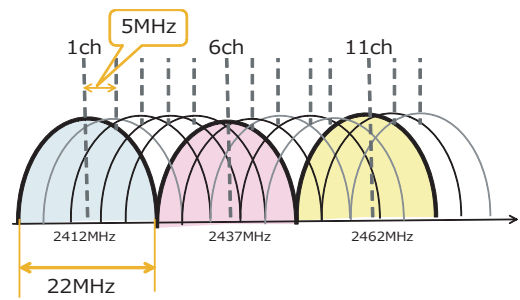


図 1 無線 LAN 周波数



図 2 スペクトラムのオーバーラップ

3. 干渉が与えるスループットへの影響とそのメカニズムの解析

3.1 干渉

本稿では、注目している信号に対して、それ以外の電波が重なることを干渉と定義する。ここでは、自通信機器以外からのノイズおよび自然界のノイズは除外して考える。いくつかの干渉ケースが考えられる。同一のチャネルを使用している無線 LAN が複数存在し、同時にデータ送出した時に電波が重なった場合に干渉が発生する。さらに、自無線 LAN 内での同時データ送出によるいわゆる衝突（コリジョン）も干渉に含める。また、同一ではなく近隣のチャネルを使用している複数の無線 LAN の通信の場合にも同時にデータ送出した時には電波が重なり、干渉が発生する。干渉の度合いは、重なる電波同士の大きさによる。このように、干渉が発生すると、ビットエラーなどのため、受信に失敗し、再送が起き、スループットが低下する場合がある。あるいは、送信側が干渉波を検出しキャリアビジーと判断してしまうことにより、待ち時間が発生しスループットが低下してしまう。

3.2 キャリアセンス

キャリアセンス結果が、スループットに与える影響について説明する。無線 LAN では、CSMA/CA というランダムアクセス方式を用いているため、図3 (a) に示すようにある端末（端末 A）が通信しているときには、他の端末（端末 B）はその通信電波（キャリア）を検出して、通信を行わない。しかしながら、このキャリアを検出するかどうかは、受信電波強度がある閾値以上かどうかで判断しているため、電波が弱いと、キャリアとして検出せず、つまりキャリア無しと判断し、送信が可能な状況になる。従って、複数の無線 LAN がお互いにキャリアを検出しにくい関係であるとき、例えば、チャネルが異なる場合や、距離

が離れている場合には、CSMA/CA 機能が低下する。これはすなわち、図 3 (c) に示すように各無線 LAN が独立に通信を行う、つまりフレームの同時送信を行うことにも相当する。この独立に通信を行うとき、キャリア無しと判断した電波の場合でも、衝突により、フレームエラーを起こす可能性もある。

従って、図 3 (b) のように、キャリアセンスでキャリアを検出できなかった場合には、独立の通信ができることによる同時送信フレームの増加が総スループット向上要因となるが、一方で、同時送信フレームがお互いのノイズとなり、それぞれにフレームエラーが発生し、総スループット低下要因となる。実際の通信においては、電波状況は時々刻々変化するため、キャリアを検出するかどうかは、決定的なものではなく、確率的なものとなると予想される。

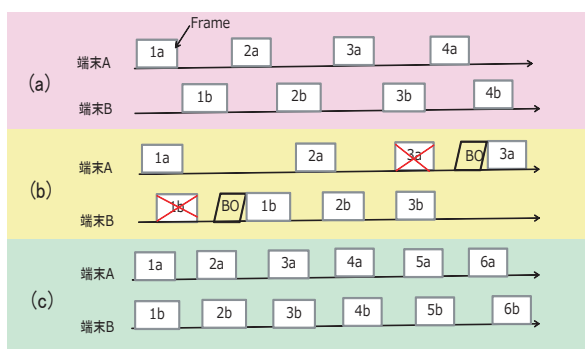


図 3 キャリアセンスと CSMA/CA

3.3 キャプチャエフェクト

キャプチャエフェクトとは、より受信電波強度の強い端末が送信に成功する現象である。例えば、複数の無線 LAN がある程度近接して存在する場合において、前述したようにキャリア検出がなされず、フレームが同時送信され、衝突が発生したときでも受信に成功し、両方の無線 LAN 共にあるいは片方の無線 LAN のみでフレームの送信が成功する現象である。自無線 LAN 内の電波に対する他無線 LAN からのノイズ (無線信号) が弱い場合にはこの効果が大きい。キャプチャエフェクトが顕著に現れる 2 種類のケースについて説明する。

1 つ目は、複数の無線 LAN が異なるチャネルを使用した場合において発生する。異なるチャネルを使用した場合においても、上述のように電波のオーバーラップがあり、干渉が起こるが、自無線 LAN 内の受信電波強度の方が、他チャネルを使用している無線 LAN の受信電波強度よりも強くセンス出来ることよりキャプチャエフェクトが働く。他チャネルを使用する無線 LAN が受信する電波強度においても同様のことが考えられる。つまり、フレームの衝突が発生した場合にはどちらの無線 LAN 内でもフレームの送信に成功する。以上より、自無線 LAN と他無線 LAN の

チャネル差が大きい方がキャプチャエフェクトの度合いも大きくなる。

2 つ目は、無線 LAN が複数組存在するとき、AP-送信端末間距離と無線 LAN 間距離に差がある場合に発生する。AP-送信端末間距離が非常に近く、無線 LAN 間距離が離れている場合には他無線 LAN からのノイズが小さくなり、自無線 LAN の受信電波強度の方が他無線 LAN からのノイズよりも強くセンス出来るのでキャプチャエフェクトが働く。

4. CSMA/CA とキャプチャエフェクトと再送

ここでは、2 組の近接する無線 LAN が異なる近隣のチャネルを使用した場合の、チャネル差とスループット特性について明らかにし、その特性が得られるメカニズムについて議論する。複数無線 LAN が、近隣のチャネルを用いて通信する場合の、干渉によるスループット特性について、説明する。前章で説明したように、干渉度合いに応じてスループットが変化する。この場合の干渉度合いは、電波の重なり的大小である。近隣のチャネル同士の電波の重なりは、チャネル差が小さいほど大きい。従って、チャネル差が大きくなるほどキャリアを検出する確率は小さくなる。そのため、同時送信する確率 (衝突確率) は大きくなる。また、衝突したフレームがエラーになる確率は、小さくなる。これは、相手の信号、つまりノイズが小さくなることで、キャプチャエフェクトが出るためである。

従って、上記特性を鑑みると、総スループットが向上する要因として、同時送信の増加による負荷の増大、キャプチャエフェクトがあり、低下させる要因として、衝突によるエラー再送がある。次章では、これらのトレードオフを定量評価する。

5. チャネル差とスループット

まず、チャネル差に応じたスループットと再送率について議論する。

この計測は次のような状況で行った。無線 LAN を 2 組用意し、それぞれで通信を行い、2 つの無線 LAN の合計スループット及びフレーム再送率を計測した。AP と端末はそれぞれ 1 つで 1 組の WLAN とし、AP には、ポケットルータ (PLANEX MZK-MF300N)[7] を使用し、送信端末には Android 携帯端末 (Nexus S)[8] を使用した。スループット測定には iperf を用い、通信方式は UDP 通信で uplink 方向に通信し、無線 LAN 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、送信端末数が増え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 方向のトラフィックを用いた。

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 WifiAnalyzer 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フィックは、無視できるほど小さいことを確認している。

1 組の無線 LAN を 1 つの AP と 1 台の送信端末で構成し、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。図 4 に示すように、隣の AP との間隔を 1.2m に固定して設置した。片方の無線 LAN をチャンネル 1 に固定し、もう片方無線 LAN のチャンネルを 1~6 と変化させた。

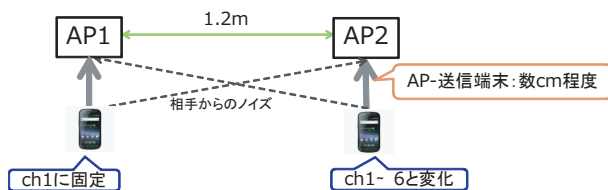


図 4 無線 LAN の配置

各チャンネル差におけるトータルスループットと再送率は、図 5 のようであった。チャンネル差 1 のときの再送率は 23.0%と高い値になって、スループットは 18.7Mbps と最低の値となった。チャンネル差が 1,2,3 の時に再送率は大きくなり、それ以外では比較的小さかった。つまり、衝突時にエラーになるフレームがチャンネル差 1,2,3 では、多かったことを意味している。言い換えると、チャンネル差 1,2,3 では、互いの信号が相手に大きなノイズとなって伝わったため、キャプチャエフェクトが小さかったということの意味する。チャンネル差 3 以上では、衝突は発生しているが、キャプチャエフェクトのためエラーになる割合も小さかった。チャンネル差 0 では、お互いのキャリアが検出でき、CSMA/CA が行われるため、チャンネル差 1 以上の時のような同時送信による衝突はほとんど無く、バックオフタイムが同期した場合に起こる衝突のみであったと思われる程度の低い再送率であった。

一方、スループットは、チャンネル差 1 にて、最低値であった。これは、再送率の増加に伴って、再送のオーバーヘッドと長くなったバックオフによりスループットを低下させる要因が、同時送信フレーム増加に伴いトータルスループットを増加させる要因よりも支配的であったことを意味している。チャンネル差 4 以上では、再送が大きく減少するため、スループットは増加し、チャンネル差 5 の時には、トータル

スループットが 49.7Mbps という、ほぼ無線 LAN2 組が独立であるときに得られるスループット値を得た。

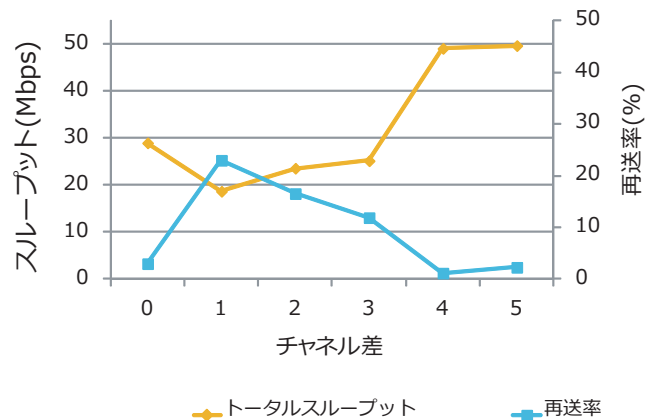


図 5 チャンネル差に応じたスループットと再送率

次に、チャンネル差の増加に伴って、同時送信フレームが増加することを評価により確認した。図 7 にチャンネル差に対する、待ち時間とキャリアビジー時間とスループットを示す。ここで、待ち時間とは、全通信時間におけるキャリア検出による待機時間とバックオフ待機時間の合計の比率である。また、キャリアビジー時間とは、端末自身が送信している通信時間の比率である。待ち時間が大きいほど、他の通信を多く検出している、あるいは、フレームエラーで再送状態になっているのどちらかが多くなっていることを意味し、当然スループットは低下する。逆に、待ち時間が少ないほど、他のキャリアを検出せず、自由にフレーム送信していることを意味する。

実験系の構成については先の実験と同様であるが、多様な環境でのデータを取得するため、実験場所を別のビルに変更した。また、待ち時間を計測するために、一方の端末として、待ち時間計測機能を持つイーサコンバータを利用した(図 6)。

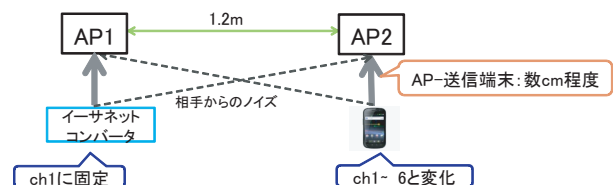


図 6 無線 LAN の配置

チャンネル差 0 のときには、キャリアビジー時間の割合が 33%，待ち時間が 42%と、おおよそ同じ値であり、2 つの無線 LAN 間では十分に CSMA/CA が働いており、トータルスループットも 29.8Mbps を得た。

しかし、チャンネル差 1 になると、キャリアビジー時間は 19%，待ち時間は 47%となった。チャンネル差 2 において

も、キャリアビジー時間が16.2%，待ち時間が42%となった。どちらのチャンネル差においても、キャリアビジー時間が待ち時間に比べて短いことが分かる。これは、キャリアを検出しないことと、図5で示すように再送率がチャンネル差1,2のときに上昇していることが起因しており、再送が増えることでバックオフタイムが長くなり、データを送る時間の割合が少なくなってしまう。その結果、スループットも実験系で最低の値となった。チャンネル差3になると、キャリアビジー時間が54%，待ち時間が10%となり、相手の無線LANのキャリアを検出していない確率は大きくなるものの再送率も低下するため、スループットが上昇する。すなわち、フレームの同時送信頻度が増加し、衝突確率が上昇するがキャプチャエフェクトの増加によりスループットが増加する。

このように、キャリア検出とキャプチャエフェクトがスループットに大きな影響を与えている。キャリア検出については、チャンネル差が大きいところで顕著であるが、チャンネル差が無くても、キャプチャエフェクトが有る場合がある。多数の無線LANが近距離にある場合には、ノイズの積み重なりも無視できなくなると思われる。次章では、このキャプチャエフェクトについて詳細に議論する。

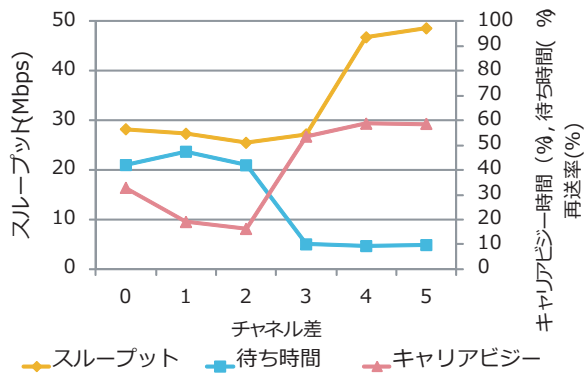


図7 チャンネル差とスループットとキャリアビジー時間

6. 無線LAN台数とスループット

6.1 キャプチャエフェクトがスループットに与える影響

キャプチャエフェクトがどのような場合にスループットに有効に影響してくるのかを調査した。ここでは、会議室のように無線LANが一定の距離間隔で存在し、なおかつ同一チャンネルを使用する場合を想定する。この場合に、様々な無線LAN間距離において無線LAN数の増加とスループット特性を実機を用いて評価を行った。自無線LAN内の信号対他無線LANからの信号(ノイズ)比によって決まるキャプチャエフェクトは、ノイズの大きさによって、効果の高低、すなわち受信成功確率が決まる。本稿で議論するような多くの無線LANが近接する場合、他無線LANか

らのノイズも他の無線LAN台数に応じて大きくなるはずである。このとき、どの程度の台数でキャプチャエフェクトの影響がどの程度スループットに表れるかを評価した。無線LAN台数が増える場合、同時送信も増加するため、衝突の回数が多くなる。このとき、キャプチャエフェクトにより、衝突したフレームが正常受信されれば、スループットは向上し、衝突フレームがエラーになればスループットは低下する。無線LANの台数が小さい時には、ノイズが小さいが、無線LANの台数が増えるとノイズも増える。まず、無線LAN台数に起因するノイズについて解析した。

6.2 多数台の無線LANのノイズの強さ

ここでは、実際に通信をしているAPと送信端末が、直近に設置してある単一无線LANからどの位離れたら、どの程度の強さのノイズが相手に届くのかを実機にて検証する。その後、無線LANが多数台に増加した場合において、1組の無線LANにどの程度のノイズが積み重なり、集中するのかを議論する。

単一无線LANでの距離とノイズの関係は、距離と共にノイズの強さは減衰する。これを検証するため、1つのAPと1台の送信端末で構成された1組の無線LANを用いて、受信信号強度を計測した。APと送信端末は直近に設置した。図8のように、APからd m離れた位置にスペクトラムアナライザ(スペアナ)を設置し、APとスペアナの距離dを、0.1,1,2,3,3.5,4,4.5,5mと変化させ、外乱のない電波暗室で調査した。

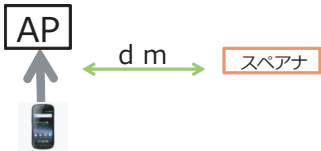


図8 ノイズ測定実験環境

無線LANとスペアナの各距離におけるノイズの強さを図9に示す。無線LANとスペアナの距離が離れると共に、ノイズの強さも低下していることが確認できる。

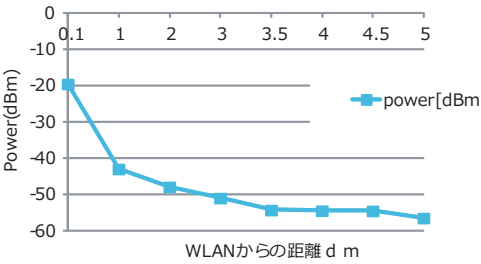


図9 単一无線LANの距離とノイズの関係

先に求めた単一无線LANの距離とノイズの強さの関係

を使用し、無線 LAN 数が増加した場合において、1 組の無線 LAN にどの程度の強さのノイズが集中するのかについて、それぞれの無線 LAN 数で検証した。無線 LAN 数が増加した場合には、他無線 LAN からのノイズも大きくなる。

図 10 のように各無線 LAN を格子状の端点に設置し、隣の AP との間隔を 0,60,80,100cm と変化させた。1 組の無線 LAN 内での AP と端末は、直近に設置した。それぞれの距離間隔で無線 LAN 数を 1~15 組と順番に増やした場合の、積み重なるノイズの強さを検証した。

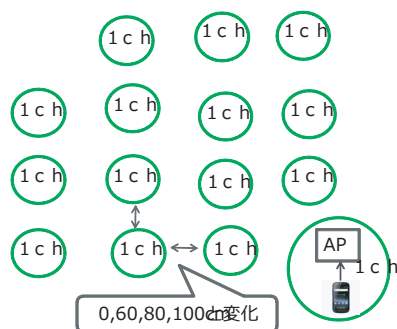


図 10 無線 LAN の配置

無線 LAN 間距離がそれぞれの状態にあるときの、無線 LAN 数の増加と他無線 LAN からのノイズの合計を図 11 に示す。無線 LAN 間距離がどの状態においても、無線 LAN 数が少ない場合には、トータルのノイズの強さは大きくない。しかし、無線 LAN 数が増加していくと、他無線 LAN からのノイズは、積み重なることで増加していく。この結果は、自無線 LAN 内の受信電波の信号 対 他無線 LAN からのノイズ比が、無線 LAN の増加と共に低下することを意味している。

以上より、無線 LAN 数の増加と共に、集中するノイズの強さが大きくなり、キャプチャエフェクトの低減が避けられなくなる。

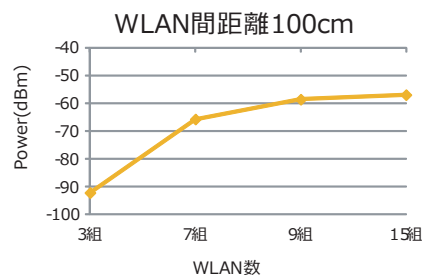
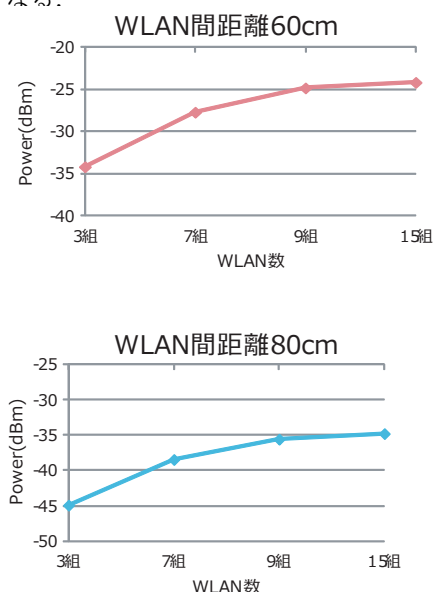


図 11 無線 LAN の増加とノイズの強さ

6.3 同一チャネルを使用する無線 LAN が増加したときのスループット

ここでは、無線 LAN 数が増加する場合のトータルスループット特性について調査し、スループット低下の原因であるキャプチャエフェクトについて議論する。

同一チャネルを使用する無線 LAN が一定の距離間隔で増加した場合においては、フレームの衝突確率が増加する。一定の割合でキャプチャエフェクトが働いていれば、フレームの衝突が発生しても送信に成功することから、衝突が起これば起こる程、すなわち、無線 LAN 数の増加に伴いスループットが増加する。しかし一方で、5.2 節で示したように無線 LAN 数が増加することは、自無線 LAN に届く他無線 LAN からのノイズを積み重ねて増大させていくことでもある。すると、自無線 LAN 内の受信電波強度と他無線 LAN からのノイズ比が低下してしまうことで、キャプチャエフェクトの低減が発生し、スループットの減少が避けられなくなる。

再送率に着目した場合においても、無線 LAN 数が増加し始めた直後は、近くでの無線 LAN の増加となるので、近隣の無線 LAN からのノイズが、ある程度強く届く。すると、フレームの同時送信が発生した場合には、壊れやすくなることより、再送率は急増する。その後無線 LAN 数が増加していくと、無線 LAN 数の増加が遠くで起こるので、キャプチャエフェクトが大きな効果を齎すようになる。これにより、無線 LAN 数を増加させたことによるフレームの衝突が増加しても、送信に成功する割合も高くなるので、再送率は緩やかに増加していく。それ以降、無線 LAN 数が増加していくと、他無線 LAN からのノイズの合計がキャプチャエフェクトを低減させることにより、フレームの衝突が起きても送信に成功しなくなり、再送率も急増する。

キャプチャエフェクトの低減が避けられなくなるときの無線 LAN 数について、トータルスループット、再送率と共に評価した。実験系の構成は、6.2 節と同様で、1~15 組の無線 LAN を使用し、隣の AP との間隔を 0,60,80,100cm と変化させ、それぞれの距離間隔で無線 LAN 数を 1~15 組と増加させた。1 組の無線 LAN 内での AP と端末は、直近に設置した。

上記のようなモデルで、それぞれの無線 LAN 間距離の

状態において、無線 LAN 数を増加させた場合のトータルスループットと再送率を図 12 に示す。

無線 LAN 間距離 100cm の場合、無線 LAN 数が 7 組で 33.6Mbps と最大スループットを得た。無線 LAN 数が 7 組以下では、キャプチャエフェクトが十分に働くことでスループットが増加する。しかし、無線 LAN 数が 7 組よりも増加した場合には、キャプチャエフェクトの低減が避けられなくなり、スループットが低下する。再送率についても、無線 LAN 数が増加し始めた 4 組までは急増しているが、キャプチャエフェクトが十分に働き始めると緩やかな増加へと変化し、キャプチャエフェクトが減衰し始めると急増する。

同様のことが、他の無線 LAN 間距離においても考えられる。以上より、各無線 LAN 内の信号の受信電波強度対他無線 LAN のノイズの比が悪化する無線 LAN 数は無線 LAN 間距離 100cm の場合には 7 組、無線 LAN 間距離 80cm のときには 5 組、無線 LAN 間距離 60cm のときには 3 組、無線 LAN 間距離 0cm のときには 2 組である。

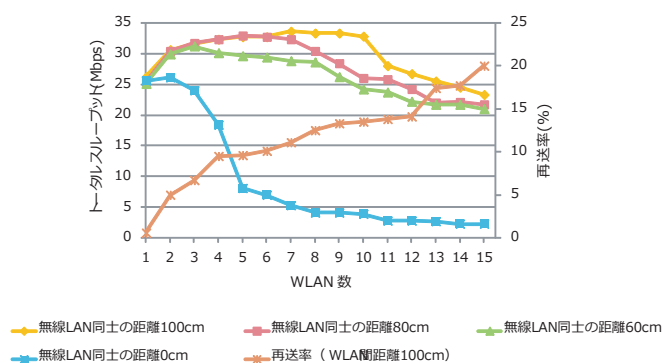


図 12 無線 LAN 数の増加とトータルスループットと再送率

7. おわりに

近接する複数の無線 LAN が存在する環境において、チャネル差に対するスループット特性は、CSMA/CA の機能とキャプチャエフェクトの兼ね合いで決まる。チャネル差 0 のときに比べて、チャネル差 1~3 のとき、相手の無線 LAN のキャリアセンスを逃がしてしまうことにより、フレームの同時送信による衝突が増加し、キャプチャエフェクトも十分でないことから、再送によりスループットが低下した。チャネル差 4 以降では、相手の無線 LAN のキャリアセンスを逃がしてしまい、フレームの同時送信による衝突が更に増えてしまうのだが、キャプチャエフェクトにより、衝突の増加がそのままスループットの増加につながった。

また、無線 LAN が一定の距離間隔で増加した場合のスループット特性と、その特性の要因であるキャプチャエ

フェクトについて詳細に検証した。無線 LAN が一定の距離間隔で増加する場合には、無線 LAN 数の増加に伴いフレーム衝突確率と他無線 LAN からのノイズが増加する。衝突確率が増加する場合、キャプチャエフェクトが効いていればスループットは無線 LAN 数と共に上昇していく。しかし、各無線 LAN 内の信号の受信電波強度対他無線 LAN のノイズの比が悪化すると、つまり、キャプチャエフェクトが低下すると、再送率の増加も加わり、スループットが減少した。この、各無線 LAN 内の信号の受信電波強度対他無線 LAN のノイズの比が悪化する無線 LAN 数を調べるために、ノイズの強さが異なる 3 つの場合で比較した。無線 LAN 間距離 100cm のときには 7 組、無線 LAN 間距離 80cm のときには 5 組、無線 LAN 間距離 60cm のときには 3 組、無線 LAN 間距離 0cm のときには 2 組であった。

参考文献

- [1] 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
- [2] E. G. Villegas, E. Lopez-Aguilera, R. VidaLANd 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.
- [3] 森内 彩加, 村瀬 勉, 小口 正人 '異なる WLAN システムが近接する場合における通信特性' 第 5 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2013), E6-2, 磐梯熱海ホテル華の湯, 2013 年 3 月
- [4] Arunesh Mishra, Eric Rozner, Suman Banerjee, Willia 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
- [5] 磯村 美友, 熊谷 菜津美, 村瀬 勉, 小口 正人 '移動無線 LAN の集中度合における干渉と競合の影響' 第 5 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2013), F1-6, 磐梯熱海ホテル華の湯, 2013 年 3 月.
- [6] Jens Nachtigal, LANatolij Zubow, Jens-Peter Redlich: "The Impact of Adjacent channel Interference in Multi-Radio Systems using IEEE 802.11," IEEE IWCMC, 2008
- [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] iperf: <http://sourceforge.net/projects/iperf/les/iperf/2.0.4source/iperf-2.0.4.tar.gz/download>
- [10] AirPcap: <http://www.riverbed.com/jp/products/cascade/>
- [11] wireshark enhancements/airpcap.php