

トラフィック方向が異なる無線 LAN が多く近接する場合のスループット特性評価

熊谷 菜津美[†]磯村 美友[†]村瀬 勉[‡]小口 正人[†][†]お茶の水女子大学[‡]NEC

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おり、会議室やカフェなどでの使用を目にすることが多い。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で、これまで想定していなかった干渉の影響が現れ、QoS の低下が発生する。既に、文献 [1] で示されたように、密集時には、無線 LAN 同士が干渉し合い、全体の（従って個々の）スループットが著しく劣化する。同文献では、UDP での特性が示されており、これはチャンネル容量の把握には重要であるが、実際のアプリケーションの多くが用いる TCP での特性が示されていなかった。TCP は、トラフィックの双方向性や輻輳制御（再送制御）などを持つため、UDP とは異なり、AP バッファ量なども特性に影響してくる。本稿では、TCP を用いた場合の多数の無線 LAN が密集する状況でのスループット評価を行い、UDP とは大きく異なる興味深い特性が見られることを示す。

2. 従来研究

多数の無線 LAN 密集時には、干渉しないチャンネルを選択する余地がなくなり、同一あるいは、近接のチャンネルを共用せざるを得なくなる。さらに、干渉しないとされるチャンネル間でも、お互いのデバイスが近距離の場合、微弱な電波でも受信してしまうことなどが原因で、干渉の影響を非常に強く受けてしまう。同一のチャンネルを使用する場合、多数の無線 LAN という形態よりも、全端末で 1 つの AP を共用したほうが総スループットは高くなると報告されている [1]。しかしながら、同報告では、無線 LAN 間の距離を 50cm 程度としており、実際の会議室やカフェでの使用で想定される 1m 程度の距離での評価が必要である [2]。また、評価は主として UDP で行われており、一部 UDP と TCP の性能特性の違いも記述があるが、本格的な調査がまだ行われていない。本稿では、多数の無線 LAN が 1m 程度の距離が保てるような空間に存在し、チャンネルを共用する場合における TCP のスループット特性を実機により調査する。

3. 無線 LAN における TCP 通信

3.1 トラフィック方向と AP バッファと性能

無線 LAN における TCP と UDP の振舞いの違いについて述べる。TCP は、双方向通信であるため、uplink 方向（無線端末から AP の方向）にデータを送出した場合に、downlink 方向に TCP-ACK のトラフィックが流れる。

downlink 方向は、端末数の多い無線 LAN にとっては、ボトルネックになりやすく、バッファでの待ち時間が増えるが、場合によっては、バッファがオーバフローし、パケットが廃棄されてしまう。このことは、TCP には 2 つの影響を与える。1 つは、TCP-ACK 待ちのため、送信端末はデータを送信できない非アクティブ端末になる。少量の TCP-ACK パケットの廃棄時には、影響は軽微であるが、多量の TCP-ACK パケットが廃棄されると、タイムアウトなどの輻輳制御が起動されスループットが大きく低下する。一方、データ送出方向が downlink である場合には、バッファオーバフローによるパケット廃棄は、直ちに輻輳制御での送信レートにつながるため、影響は非常に大きくなる（いわゆる上下トラフィック不公平問題）。上記影響は、AP バッファ量に依存するが、近年の市販 AP は、ポータブルタイプでさえも相当量のバッファを保持しており、downlink のトラフィック量をうまく調整できれば、上記影響はかなり軽減できるはずである。

3.2 TCP スループット

前節の議論を含めて、無線 LAN における TCP のスループット（再送分などを除くものをグッドプットと呼ぶ）を決める要因について整理する。グッドプットは、TCP レベルの TCP フロー制御と MAC レベルの再送制御に大きく依存する。TCP フロー制御において、スループットは、TCP データの廃棄率で決まるので、AP のバッファ量が多いほどスループットが高くなる。MAC レベルのスループットを決めるのは、アクティブな端末数とフレーム再送率である。このフレーム再送率は、コリジョン発生時にキャプチャエフェクトで救われずエラー受信されたエラーフレームの再送率である。さらに、後述のように、端末のパワーセーブなどの制御も、スループットに影響を与えると考えられる。

4. 方向を考慮したモデルにおける TCP スループット特性

4.1 性能評価モデル

上記のような特性を考慮し、多数の無線 LAN が 1m 程度の距離に近接した場合の特性を評価した。全ての無線 LAN が 1 つのチャンネルを共用する。端末数は固定し、AP 数（つまり無線 LAN 数）を変化させた（図 1）。トラフィックは、TCP とし、トラフィックの方向の影響を調べるため、(a) uplink 端末のみの場合、(b) uplink/downlink 端末が 1 つの無線 LAN で同数混在する場合、(c) downlink 端末のみの場合の 3 通りとした。端末と AP は、間隔 1m の格子状に配置し、端末数よりも AP が少ない場合には、最寄りの AP に接続させるように AP への割振りを行った。

Evaluation of the throughput characteristics in densely deployed wireless LANs of different traffic direction

[†] Natsumi Kumatani, Mitomo Isomura, Masato Oguchi

[‡] Tutomu Murase

Ochanomizu University (†)

NEC Corporation(‡)

4.2 スループット特性

本モデルにおいて、TCPのスループット増加要因と減少要因について述べる。無線 LAN 数を多くすると、AP が多くなり、その結果、AP の総バッファ量が多くなる。すなわち、TCP は少ない本数で同じ要領のバッファを共用できるため、オーバフロー確率は減少する。このことは、TCP レベルのスループットを向上させる。また、AP を増やすと、近くの AP と通信することが出来るため、図2に示すようにキャプチャエフェクトにより、コリジョンが起こった場合でも正常に受信できる確率が高まる。このことは、MAC レベルのスループットを向上させる。一方、無線 LAN 数を増やすことで、AP 数も増加するためアクティブ端末数も増加し、コリジョン発生率が増大する。これらの増減要因の影響の大きさは、実験などにより定量的に検証する必要がある。キャプチャエフェクトなどをシミュレーションで検証するのは困難なので、実機を用いた実験を行った。

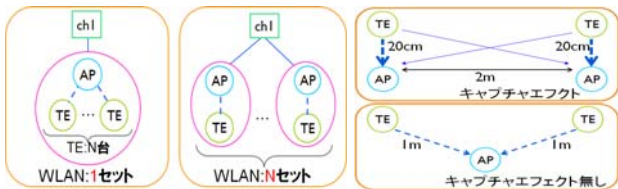


図 1: WLAN 数と各 WLAN 図 2: AP 配置とキャプチャエフェクト

5. 実機実験におけるスループット特性

実験に使用した機材について説明する。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 バッファサイズ 566.9 パケット [3]) を使用し、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 携帯端末を用いた。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、送信端末を 18 台にした時の、無線 LAN 数に対する総スループット値を (a)(b) の場合について示す。無線 LAN 数が 1 では、18 台の端末が 1 台の AP に接続され、無線 LAN 数が 18 の時は、AP と端末が 1 台ずつで 18 セットの無線 LAN が 1 つのチャンネルを共有する状況を意味する。無線 LAN 台数を増やすに連れて、総スループットが向上している。これは、より近距離で検証した結果 [1] と反対の特性を示している。この理由は、前述のキャプチャエフェクトであり、MAC フレーム再送率が、無線 LAN 数が増えるほど、減少していることを確認している。無線 LAN 数が少ない時には、バッファオーバフローが発生するため、(a) よりも (b) の場合の方がスループットが低く、半分程度である。一方、無線 LAN 数が、9 台を越えると、TCP の輻輳ウィンドウが最大になっても、TCP データパケットを全て AP バッファで受け切れるため、バッファ溢れが生じず、downlink の TCP の不利が無くなるため、(b) の性能は向上する。本実験では、無線 LAN 数が 18 台において、(a)(b)(c) の総スループット値は理論的には同値になるはずであるが、計測値は (c)(b)(a) の順に高かった。この原因についてはまだ解析が不十分であるが、端末として利用したスマートフォ

ンの特性 (例えば、省電力機能) などが可能性として挙げられる。

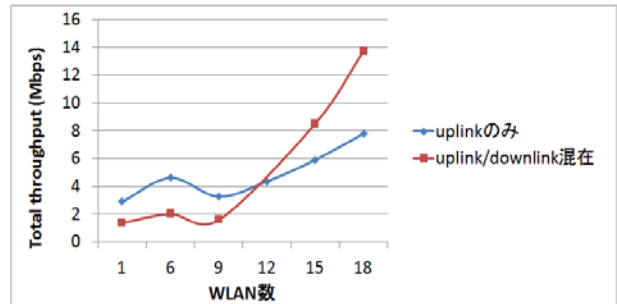


図 3: トラフィック方向と無線 LAN 数とスループット特性

6. おわりに

多くの無線 LAN が近接する場合の QoS 特性を把握するため、本稿では、端末数を固定して、AP の数すなわち無線 LAN 数を変更した。具体的には 1 つのチャンネル内で、18 台の端末を 1 ~ 18 個の無線 LAN に分割したときの、総スループットの違いを調査した。1m 間隔で無線 LAN を設置した場合においては、キャプチャエフェクトなどの効果により、従来研究における密集状況の場合とは異なり、無線 LAN 数を増やすべきであることを明らかにした。また、TCP トラフィックの場合には、AP 数を増やしたほうがさらに性能が向上する。これは、バッファオーバフローが減少することにより、TCP 輻輳ウィンドウを高く維持できるからである。また、無線 LAN のトラフィック方向の違いによるスループット特性の調査では、全ての無線 LAN が uplink 方向に通信する場合と uplink 方向及び downlink 方向に通信する無線 LAN が混在する場合を比較した。その結果、無線 LAN 分割数が少ない時は TCP トラフィックの上下不公平特性により前者が 2 倍程度良くなることを確認した。また、無線 LAN 分割数が多い時は、上下公平になるとされているが、逆に後者の方が通信性能が良い結果を得た。これは、端末のパワーセーブなどが起因していると思われる。

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。

参考文献

[1] 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当手法," 信学技報, CQ 研究会 CQ2012-68, Nov. 2012
 [2] 磯村美友, 熊谷菜津美, 村瀬 勉, 小口正人, "無線 LAN の集中度合と QoS の基本特性の一検討," 情報処理学会全国大会, 5Y-3, Mar. 2013
 [3] 森内彩加, 安藤玲未, 村瀬 勉, 小口正人, "無線 LAN 環境におけるハンドオーバを伴う移動端末のノード間競合に関する一検討," DEIM2012, C2-4, Mar. 2012