

移動通信時における QoS-TCP の性能評価と TCP の動作解析

Evaluation of QoS-TCP and Analysis of process of TCP in Mobile Communication

安藤 玲未¹

Remi Ando

村瀬 勉²

Tutomu Murase

小口 正人³

Masato Oguchi

お茶の水女子大学^{1 3}
Ochanomizu University

NEC²
NEC Corporation

1 はじめに

近年、無線 LAN の普及、動画ストリームや VoIP などのマルチメディア通信の需要の増加、といった背景から無線 LAN 環境において安定した帯域を確保することが必要となっている。そのため、通常使用する TCP プロトコルを基に、より帯域確保を試みる TCP(QoS-TCP) が提案されている [1]。QoS-TCP は、アプリケーションが要求する帯域の確保を目指す TCP であり、目標帯域を用いてスロースタート閾値を設定し、目標帯域を確保するように輻輳ウィンドウを誘導するメカニズムである。この QoS-TCP について、有線環境、固定の無線環境において、既に有効性が検証済みであり、また無線 LAN における有効性の検証も進められている。無線 LAN において QoS-TCP の有効性の検証を行った結果、電波状況の変動、通信端末の台数の変動といった要因が QoS-TCP に与える影響がシミュレーションと実機実験とでは、大きく異なることが報告されている [3]。本稿では、シミュレーションと実機のモデルの差が前記差異を発生させているメカニズムについて報告する。

2 従来技術と関連研究

まず、無線 LAN での TCP 多重特性について説明し、その後実験結果について述べる。

2.1 無線 LAN における TCP 多重特性

無線 LAN に uplink(端末→AP) の TCP を複数多重する場合、ある端末台数以上になると、各 TCP フローのスループットにおいて、不公平 (performance anomaly) [4] という状況が発生する。無線 LAN の送信機会公平性に起因して、アクセスポイント (AP) のバッファがあふれ、TCP の ACK 廃棄率が増大するためである。TCP では、多少の ACK ロスに関しては、後続の ACK を受信することで、輻輳ウィンドウを増加させることができるため、ACK ロスに対しては、ウィンドウが大きいほど耐性がある。一方、データロスや ACK のパースト廃棄などで、輻輳ウィンドウを減少させてしまうと、データ送信機会が小さくなるとともに、ACK ロスに対する耐性が小さくなり、更にウィンドウを下げる方向に向かってしまう。この2つは正帰還のメカニズムであり、スループットが大きいフロー群 (幸せな端末) とほとんどスループットがゼロのフロー群 (不幸な端末) の2つにわかれて安定する (不公平だが安定な状況になる)。

2.2 関連研究

シミュレーションおよび実機実験モデル [3] について述べる。図 1 のような評価モデルで、実験を行う。既に AP の近傍で良好な通信を行っている背景 TCP フローに対して、遠距離から次第に近づく TCP (後から参加する TCP) が、どの程度スループットを獲得できるかを調査した。後から参加する TCP として、通常の (背景と同じ) TCP と QoS-TCP との2通りを試した。後述するように、一般的には、端末台数が小さい、すなわち公平な状況では、後から参加するフローもスループットを得やすく、端末台数が多い、すなわち不公平な状況では、得にくい。そのため AP1 では、公平、AP2 では、不公平となるように背景フローを設定した。具体的には、使用する AP では、6 台までが公平、7 台以上が不公平となるため、QoS-TCP が加わった時にそれぞれ3台、7台となるように背景 TCP の台数を2台、6台として、AP1 では公平、AP2 では不公平になるような設定とした。全ての端末は uplink 方向に TCP でデータを送信する。AP の伝送レートは 54Mbps (固定)、電波出力は屋内でも十分に減衰するよう 10% とした。シミュレーションでは、無線 LAN のパラメータは、典型的に使用される値を用い、その他は、実機モデルの値と合致させた。

このような環境において、シミュレーションと実機において QoS-TCP 端末を AP1 から AP2 に向かって移動させた時の比較結果を図 2 に示す。シミュレーションにおいて QoS-TCP が既存背景フローに割り込めず、スループットをほとんど取れないのに対し、実機では QoS-TCP が大きなスループットを得ており、獲得スループットに大きな差が出ている。これは、シミュレーションでは実機で発生する要因を正しくモデル化できていないことによると考えられる。

この要因を明らかにするために、TCP の輻輳ウィンドウ値のモニタおよびエア上のパケットモニタを行い、データ解析を行った。

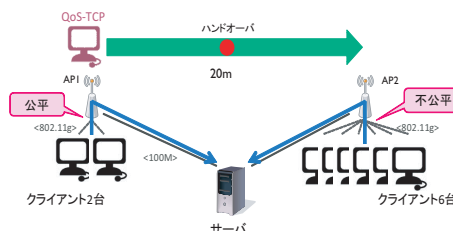


図 1 評価モデル

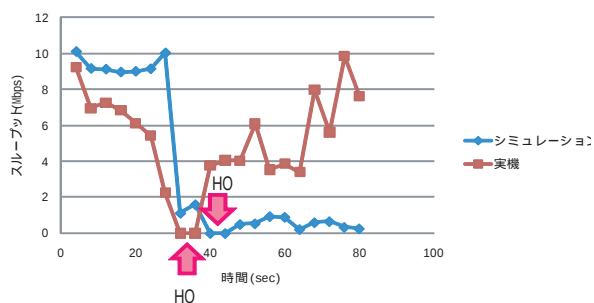


図 2 比較結果

3 背景 TCP の解析

データ解析の結果、シミュレーションでは極めて低い確率でしか起こらない無線 LAN での TCP データパケットロスが、実機では頻発していることが原因であることが判明した。具体的な解析結果について以下に示す。

uplink の TCP 多重においては、シミュレーションは、ほとんど起こらない TCP データロスが無線 LAN 上で発生していた。無線 LAN では、MAC フレームにエラーが発生しても再送が行われるため、無線上でのエラーは遅延にはなるがロスにはなりにくい。ただし、再送回数の上限値を超えたフレームは破棄される。これにより TCP データパケットのロスが発生しうる。一般に典型的なシミュレーションパラメータ設定では、この再送回数の上限値は、IEEE802.11 標準に従ってデフォルトの 7 にされており、再送が 7 回に達した場合、そのフレームは破棄される（従って、TCP データの破棄が起こる）。無線上でのエラー原因は、ノイズ等によるビットエラーとパケットがぶつかるコリジョンの 2 つがあるが、典型的なシミュレーションでは、ビットエラーフリーの設定がなされている。つまりコリジョンのみで、エラーが起こるものがほとんどである。従って、数台の端末では、偶発的に発生するコリジョンによるフレームエラーは、散発的であり遅延への影響は多少あるが、TCP のスループット性能に全く影響を与えない。

今回の実機実験では、TCP データロスを多く観測した。使用した機器の再送回数の上限値（通常は、ユーザが外部からは設定不可能）が 5 というデフォルトよりも小さい値だったことに加えて、バースト的な MAC フレームエラーを観測した。このバーストエラーにより、各 TCP フローは一時的にウィンドウが小さい状況になっていることも確認した。この時、全 TCP フローは、不公平だが安定していた状況から、不安定な状況に遷移することになる。なお、バーストエラーによるウィンドウ低下は一時的なものであるため、長期のスループット値への影響は全く見られない。

この状況では、QoS-TCP は前述のようにスロースタート閾値が通常の TCP より高く設定されているため、ウィンドウが小さくなった通常 TCP より早く輻輳ウィンドウを上げることができ、スループットを確保できる。従って、たとえ後から参加しても、通常 TCP に打ち勝ち、スループットを確保し、安定な状況では幸せな端末となる。逆に、輻輳ウィンドウが一瞬小さくなってしまった TCP

は、割り込んだ QoS-TCP のデータトラフィック増加による ACK が増加するため、自身の ACK 廃棄率が高くなり、それによりタイムアウトの確率が高くなるという不幸な端末状態に陥る。一方、通常の TCP を後から参加させた場合では、スロースタート閾値などの観点から優位性がない。既に通信をしていてウィンドウが 2 以上のフローに対して、ウィンドウが初期値の 1 であるため、ウィンドウ拡大競争に負ける可能性が極めて高く、不幸な端末に陥る。

一般には、ビットエラーは電波環境によっても大きく異なるためにモデル化するのが困難である。しかしながら、今回の実験で明らかになったように、再送上限値まで達するほどのバースト的なビットエラーも実際の環境では発生している。これは、TCP のスループット値を増減させるほどの影響力ではなかったが、不公平 (performance anomaly) が発生するようなミクロな振る舞いで起因する結果には大きく影響する。ビットエラーの影響を考慮しないシミュレーションモデルで得た結果に対しては、別途実機実験などにより現実的な環境での検証を行うべきである。

4 おわりに

移動通信における QoS-TCP の帯域確保度合いについてシミュレーションと実機環境での評価の食い違いについて解析し、シミュレーション（の典型的なパラメータ設定）ではきわめて低い確率でしか起こらない無線 LAN での TCP データのパケットロスが、実機では頻発していることが原因で結果に差が出てしまうことを明らかにした。無線 LAN においては、シミュレーションでは、ある程度の特性の把握は可能であっても、やはり現実を考慮した実機評価も別途行うことが重要である。

謝辞

本研究の一部は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技術戦略に向けた萌芽の研究の一環としてなされた。

参考文献

- [1] H. Shimonishi, et al., "Congestion Control Enhancements for Streaming Media," IEICE Trans. on Comm., Vol. E89B, No. 9, pp. 2280-2291 Sep. 2006.
- [2] K. Tsukamoto, T. Yamaguchi, S. Kashiara, Y. Oie, "Experimental Evaluation of Decision Criteria for WLAN handover: Signal Strength and Frame Retransmission," IEICE Transactions on Communications, Vol. E90-B, No. 12, pp. 3579-3590, Dec. 2007.
- [3] 安藤玲未, 村瀬勉, 小口正人: 移動端末における QoS 保証 TCP の特性評価, 電子情報通信学会 CQ 研究会, 2010 年 11 月。
- [4] Yumi Hirano, Tutomu Murase: Evaluation of Packet Loss Effect on Throughput Unfairness between TCP Upflows over IEEE802.11 Wireless LAN, "APSITT 2008, 22-24 April 2008