

移動端末から送出する固定ビットレートデータのための 帯域確保型TCPの性能評価

安藤 玲未[†]

村瀬 勉[‡]

小口 正人[†]

[†]お茶の水女子大学 [‡]NEC

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。これについて既に各プロトコルレイヤで検証が行われているが、実現が困難である物が多い。例えばアプリケーションレイヤでは多くの、あるいは新規のアプリケーションへの対応が難しい。IP レイヤでの制御ではネットワーク全体に、また、MAC レイヤでは無線 LAN 機器自身に変更が必要となる。

そこでネットワーク端での制御が可能であり、比較的容易に実現可能と考えられるトランスポートレイヤでの制御が検討されており、通常使用する TCP プロトコルを基に構築され、より強く帯域確保を試みる TCP (QoS-TCP) が提案されている [1]。この QoS-TCP について、有線環境、固定の無線環境においては既に有効性が検証済みであるが、移動する端末においての検証はまだ行われていない。また、移動する端末において TCP での評価は既に行われているが [2]、帯域確保を目的とした従来研究はまだない。

そこで、無線環境で移動する端末における QoS-TCP の有効性検証を行った結果、電波状況の変動、通信端末の台数の変動といった「移動」が QoS-TCP に与える影響がシミュレーションでは大きく現れ、移動端末である QoS-TCP 自身が不幸な端末となってしまうことと、しかし一方で実機においては帯域確保できる場合があり、実機において帯域確保できる場合、シミュレーションとは約 12 倍の性能差があることを確認した [3]。そこで本研究では、シミュレーションと実機においてこのような大きな差が生じる原因を詳細に調べた。

2. 従来技術と関連研究

2.1 QoS-TCP

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 である。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。また、パケットロス検出時にも輻輳ウィンドウをできるだけ高く保つことで帯域確保を目指す。し

かし、競合する TCP の本数が多くなると fair-share (通信可能帯域を送信端末台数で割った値) も併せて低くなるため、帯域確保が困難になる。

2.2 不公平の問題

QoS-TCP の帯域確保具合に大きく影響を与える不公平の問題について述べる。不公平であるとは同じ環境で通信しているにも関わらず、端末間でスループットが極端に異なる状態のことをさす。本研究では、この時極端にスループットが低くなってしまう端末のことを不幸な端末と呼ぶことにする。

この不公平が起こる原因は、MAC 層の送信権制御、トランスポート層における輻輳ウィンドウ制御などが組み合わされ、アクセスポイント (AP) のバッファでの TCP-ACK あふれが基となって起きている。

不公平の問題は、通信する端末の台数が多くなると特に顕著に表れるが、不公平となる端末の台数は、上記の理由により AP のバッファサイズに依存する。

2.3 シミュレーション環境と実機環境の比較結果

既存研究について述べる。図 1 のような評価モデルで、シミュレーション環境と実機環境において実験を行う。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、一方の AP では公平、もう一方では不公平になるように、具体的には、QoS-TCP が加わったときにそれぞれ 3 台と 7 台となるように背景 TCP の台数を 2 台と 6 台とする。また、無線子機にはイーサネットコンバータ (EC) を用いて uplink 方向にデータを送信する。EC は、端末からイーサネットケーブルを通り、その先で無線に変換してから通信を行うため、端末からはイーサネットが動作していると認識される仕組みとなっている。

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。

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 を移動させた時の比較結果を図 2 に示す。このグラフより、シミュレーションと実機において同様のパラメータで評価を行ったにも関わらず、ハンドオーバ後の各合計スループットに約 12 倍の差が出た。これは、シミュレーションでは実機特有の性能差、特に不幸な端末現象について考慮できていないためと考えられる。この不幸な端末現象は、実機環境でのみ起こる現象で、通信開始時から機器固有の特性により多少のスループットの差が生じることが原因で起こる。このうちスループットがやや低めの端末は、QoS-TCP のような強い TCP

Evaluation of Performance of QoS for Bandwidth Guaranteed TCP for Fixed Bit Rate Data on the Mobile Terminal

[†] Remi Ando, Masato Oguchi

[‡] Tutomu Murase

Ochanomizu University ([†])

NEC Corporation([‡])

が割り込んでくると更にスループットを下げ、不幸な端末状態に陥り、代わりにこの端末が利用していた帯域を QoS-TCP が取る。割り込んでくる端末が通常 TCP のように背景トラフィックと条件が変わらない場合はこのようなことは起こらず、後から入ってきた端末が不幸な端末となる。このように、実機環境では起こるがシミュレーション環境では起こらない不幸な端末現象の原因について、次章で詳細に検証を行う。

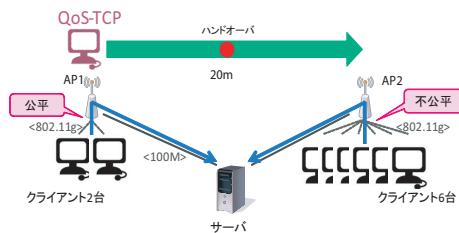


図 1: 評価モデル

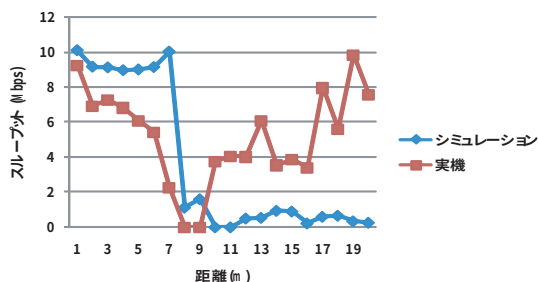


図 2: 比較結果

3. 不幸な端末現象の解析

シミュレーションにおいては QoS-TCP が割り込めないのに対し、実機では不幸な端末の存在により QoS-TCP が帯域を確保できる。そこで不幸な端末現象が起こる原因について検証を行った。その結果、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 の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約 12 倍もの差がついたことが明らかになった。このデータパケットロスは、MAC フレームのリトライアウトにより EC で起こっており、これによりスロースタート閾値も半減する。

QoS-TCP は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、この輻輳ウィンドウが半減した 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。一方、輻輳ウィンドウが半減した TCP は、データトラフィック増加により ACK が増加する QoS-TCP の影響で、自身の ACK 廃棄率が高くなり、タイムアウトの確率が高くなる不幸な端末状態に陥る。これに対し、QoS-TCP の代わりに TCP を用いた

場合には、通常の TCP に比べてスロースタート閾値などの観点から優位性がない。そのため、既に通信をしているスループットが低い端末よりも更に輻輳ウィンドウの値が低く、割り込みたい TCP は背景 TCP に勝つことができない。

一般には、リトライアウトは MAC 層におけるコリジョンとビットエラーにより発生するが、ビットエラーは仮定することが困難であるため、シミュレーションではコリジョンしか想定できない。しかし、これがシミュレーションと実機結果に大きな違いを生じさせる原因となっていることから、無線 LAN における QoS 制御においてシミュレーション評価ではビットエラーについて別途検討する必要があると言える。

4. おわりに

移動通信における QoS-TCP の帯域確保度合いは、シミュレーションではハンドオーバー後に QoS-TCP が背景 TCP に割り込めずに帯域確保をできず不幸な端末となってしまったのに対し、実機環境においては背景 TCP を抑えて帯域確保可能である。この現象について解析を行ったところ、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 における 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、結果に大きな差が出てしまうことを明らかにした。これらのことから、無線 LAN において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、実機特有の振る舞い、特にビットエラーによるリトライアウトを考慮した評価は別途行う必要がある。

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 Transactions on Communications, 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, CQ2010-51 pp.17-22, 2010 年 11 月.