

モバイル環境におけるハンドオーバー時の移動端末の特性評価

森内 彩加 (指導教員：小口 正人)

1 はじめに

近年、無線 LAN の普及、動画ストリームなどのマルチメディア通信の需要の増加により、無線 LAN 環境での QoS(Quality of Service) 制御が重要となっている。更に、スマートフォンやタブレット端末などのモバイル端末の急速な普及により、モバイル端末を使用しながらアクセスポイント (AP) 間を自由に動き回る「ハンドオーバー (HO) を伴う移動通信」環境 (以下、移動環境) でも QoS 制御を検討する必要がある。本研究における QoS 制御とは、uplink 通信 (端末から AP の方向) において、移動端末も既存通信と同様に帯域確保できることを目的とする。

既存研究においては、デスクトップ PC やノート PC を利用した移動環境 (以下、デスクトップ環境) において、QoS-TCP を利用した評価が行われてきた [1]。しかし、有線通信と AC 電源を前提とした TCP を用いるデスクトップ PC と比べ、無線通信とバッテリーのみが想定されている Android 端末では、TCP の振舞等が異なる可能性がある。本稿では、デスクトップ環境にて HO 後に帯域確保可能であった QoS-TCP を、Android 端末を用いた移動環境 (以下、Android 環境) に利用し、QoS-TCP の特性評価を行って、QoS-TCP が割り込める状況を調査する。

2 関連研究

無線 LAN 環境における QoS 制御については、各プロトコルレイヤで各種制御が提案されている。しかし実現が難しいものが多い。そこで、ネットワーク端での制御が可能であることから、実現が比較的容易であるトランスポート層における制御を検討する。また、UDP ではファイアウォールを通過できないこともあるため、信頼性の観点から、TCP での制御を検討する。このトランスポート層における制御の一つに、TCP で QoS 制御を行う QoS-TCP がある。

2.1 QoS-TCP

TCP の輻輳制御のみを利用して帯域保証を行う QoS-TCP として提案されている TCP-AV [2] について説明する。TCP-AV 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。TCP-Reno を拡張したものであり、最小 RTT を用いてスロースタート閾値を設定し、送信帯域が目標帯域周辺で安定するように、輻輳ウィンドウを制御する。Linux をベースとしたプロキシ等の形として実装されているため、送受信端末の変更をすることなく実現可能という特徴がある。

2.2 無線 LAN 環境における不公平

QoS-TCP の帯域確保具合に大きな影響を与える不公平について述べる。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をさす。この不公平は、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、AP における TCP-ACK あふれが原因で起こる [1]。そのため、不公平の問題は、通信する端末数が多くなると特に顕著に表れ、不

公平となる端末数は、AP のバッファサイズに依存する。また、HO フローのような後発のフローほど、スループットを得られ難くなる。

2.3 既存研究

先に述べた TCP-AV を用いて [1] では、図 1 のような実験環境において、検証を行っている。図 1 において“送”は、各 AP で通信を行っている送信端末 (背景端末) で、AP1 側、AP2 側に固定的に接続している送信端末数をそれぞれ $N1$ (台)、 $N2$ (台) とする。“受”は受信端末、“移動”は移動端末である。移動端末は、全長 20m を、AP1 から AP2 に向けて移動し、中間地点で HO を行う。使用した AP のバッファサイズは約 265.5 パケットで、6 台までが公平、7 台以上が不公平となった。そのため、 $N1=2$ 、 $N2=6$ とし、移動端末も AP1、AP2 と通信を行うことで、それぞれの AP において、3 台の公平な環境から 7 台の不公平な環境へ割り込めるか、また、このような状況でも TCP-AV は帯域確保できるのか、検証を行っている。

デスクトップ環境 (Ubuntu10.04 : Linux 2.6.32.21 使用) において、背景端末を全て TCP とし、移動端末を TCP とした時と TCP-AV とした時の移動端末のみの結果を図 2 に示す。移動端末が TCP である時は、不公平な環境へ割り込むことができないが、移動端末が TCP-AV である時は、割り込むことができる。また、AP1 から AP2 へ TCP-AV が HO する前後では電波が弱くなるためスループットは下がるが、それ以外では、ある程度の帯域確保が可能であること、TCP-AV は移動端末が TCP である場合に比べて、平均約 20 倍有利に帯域を確保できることが明らかにされている。

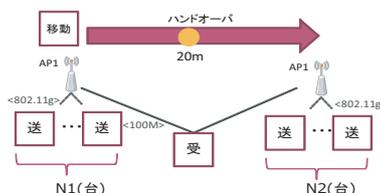


図 1: 実験環境

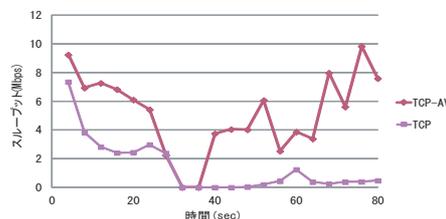


図 2: 移動 TCP と移動 TCP-AV の比較

3 TCP-AV が割り込める条件

本研究では、Android 環境での QoS-TCP の有効性を検証するため、図 1 の実験環境において、背景端末、及び移動端末に、Android 端末 (Nexus one と Galaxy S:Android2.2, Linux2.6.32.9 使用) を用いて実験を行った。図 1 において TCP-AV が割り込める条件を示すため、 $N1$ と $N2$ の台数を変化させて検証を行う。

3.1 AP のバッファサイズによる影響

TCP-AV が割り込める際の端末数や、距離などの具体的な数値は、使用する機器によって、多少の変動がある事が予想される。そこでまず、AP のバッファサイズを変えることで実験結果にどのような影響を与えるのかを調べるため、バッファサイズの違う AP を使用して実験を行った。使用した AP は、バッファサイズが約 135.1 パケット、約 284.3 パケット、約 265.5 パケット、約 566.9 パケットの 4 種類である。

その結果、AP のバッファサイズが大きいほど、TCP-AV が既存通信に割り込みにくくなる事が分かった。AP のバッファサイズと TCP-AV が割り込める条件については表 1 に示す。この結果は、AP のバッファサイズが小さいと背景端末の TCP の ACK が失われやすくなり、TCP-AV の割り込みに有利な環境になるからであると考えられる。

表 1: 評価結果

AP 名	バッファサイズ (パケット)	背景端末数 (台)
BUFFALO WHR-HP-AMPG	135.1	7
Planex CQW-MR500	265.5	1-3
Planex GW-AP54SAG	284.3	1-3
Planex MZK-MF300N	566.9	不可

3.2 背景端末数と距離による影響

TCP-AV が割り込める条件として、接続先が何台までなら割り込めるのかを明らかにする。上記の AP のうち、Planex CQW-MR500 を使用し、図 1 において、 $N1/N2=2/7, 3/6, 4/5, 5/4, 6/3, 7/2$ と背景端末数を変化させ、それぞれ 8 回評価を行った。その平均値を表 2 に示す。これより、接続先の背景端末数が 3 台以下であれば、AP から 2m 離れた時点まで割り込み可能だが、4 台以上だと、どんなに AP と近距離であっても、背景 TCP に勝てないことが示された。HO 後に割り込めなかった際の結果を図 3 に示す。この実験結果より、デスクトップ環境に比べて Android 端末を用いた環境では、TCP-AV でも割り込みが難しくなっていることが分かる。

表 2: 評価結果

背景端末数 (台)	AP までの距離 (m)
1-3	2
4-7	不可

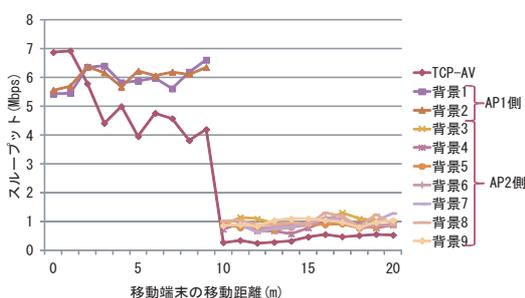


図 3: $N1/N2=2/7$ の結果

3.3 評価結果

本実験においても、不公平について検証したところ、Android 端末を用いた環境では、使用した AP のバッファサイズに対し、デスクトップ環境では不公平が起こる 7 台以上である 8 台を同時に通信させても、不公平を確認することができなかった。これは Android に用いられている TCP が複数台通信時に、公平になる

ように改良されていることが予想される。

このような、改良された TCP が用いられている Android 環境でも TCP-AV が割り込める場合がある理由について、解析を行ったところ、TCP-AV が割り込める時点では、割り込めない時点よりも背景端末の MAC フレームエラーの発生率が約 10% 高くなっていた。つまり、背景端末数が少なく、かつ背景端末が MAC フレームエラーでレートを下げた時のみ、TCP-AV が割り込めるものと思われる。

このように、デスクトップ環境と Android 環境で結果に大きな違いが生じた理由については、デスクトップ PC と Android 端末に用いられている TCP の差が原因の一つであると考えられる。デスクトップ PC では、2.2 節で述べたように、AP バッファでの TCP-ACK あふれが原因で不公平が起こる。しかし、デスクトップ PC で用いられている TCP (Linux 2.6.32.21-generic) よりも、Android 端末で用いられている TCP (Linux 2.6.32.9) の方が、輻輳ウィンドウをあまり下げないような制御になっていることにより、不公平が起こりにくくなっている可能性があると考えられる。

4 おわりに

デスクトップ PC を用いた、HO を伴う移動通信環境で有効性が示されている QoS-TCP (本実験では TCP-AV) を、Android 端末を用いた環境に利用したところ、TCP-AV を用いても、接続先の端末数が少なく、かつ、AP との距離が近接しないと、背景端末に割り込むことができないことを示した。さらに、移動端末が既存通信に割り込める条件には AP のバッファサイズが影響していることが分かった。具体的には、AP のバッファサイズが大きいほど、移動端末が割り込みにくい。また、TCP-AV が割り込める際には、割り込めない時より多くの MAC フレームエラーが、背景端末に発生していることを明らかにした。TCP-AV が既存通信に割り込めない場合があることについては、今後調査する予定であるが、Android 端末の TCP が、TCP-CUBIC であるのに対して、TCP-AV は TCP-Reno をベースにつくられていることから、Android 端末に TCP-AV が負けてしまう場合があることが予想される。今後は、TCP-AV と Android 端末の違い、及び MAC フレームエラーが多く発生する端末と発生しない端末の違いを明らかにし、無線環境での QoS 制御の改善を目指したい。

参考文献

- [1] R.Ando, T.Murase, and M.Oguchi. "Characteristics of QoS-Guaranteed TCP on Real Mobile Terminal in Wireless LAN," In Proc. IEEE 2011 International Communications Quality and Reliability Workshop (CQR2011), May 2011.
- [2] H.Shimonishi, et al. "Congestion Control Enhancements for Streaming Media," IEICE Transactions on Communications., Vol.E89B, No.9, pp.2280-2291, Sep.2006.
- [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, 2012 年 3 月発表予定)