

無線 LAN 環境における移動端末同士の干渉の影響と QoS-TCP の振舞の評価

安 藤 玲 未^{†1} 村 瀬 勉^{†2} 小 口 正 人^{†1}

無線 LAN の普及，マルチメディア通信の需要の増加という背景から，無線 LAN 環境における QoS 制御が必要となってきた．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にて各種制御が既に提案されている．我々はトランスポート層での QoS 制御 (QoS-TCP) を検討しているが，QoS-TCP については，固定網での無線 LAN 環境，ハンドオーバを伴う移動網での無線 LAN 環境での評価が実機環境にて既に行われており，ある一定の条件下において，帯域確保が可能であることが示されている．

一方，昨今のモバイル WiMAX ルータ等の普及から，今後はアクセスポイントと個人の PC や携帯端末等が併せて移動する環境が想定される．

そこで，本研究では，無線 LAN 環境における固定網及び移動網で有効性が確認された QoS-TCP を，このような環境に利用することを検討する．アクセスポイントと端末が併せて移動する環境では様々な検討課題があるが，本稿では，QoS-TCP が複数台近付いた際の振舞，及び干渉の影響について調査する．

Influence of interference with movement terminal in wireless LAN environment and evaluation of behavior of QoS-TCP

REMI ANDO,^{†1} TUTOMU MURASE^{†2}
and MASATO OGUCHI^{†1}

In late years, the demand for multimedia communication has been raised extensively. In this environment, too guarantee the QoS is extremely important. Various controls have already been done about the QoS control in each protocol layer, a QoS-guaranteed TCP (QoS-TCP) has been proposed. The QoS-TCP tries to guarantee a specified bandwidth against competitive background TCP traffic. Previous researches reveal that the QoS-TCP is effective in wired networks, in fixed wireless networks and in mobile wireless networks.

Recently, a mobile WiMAX router is spread. So we should assume the en-

vironment where an access point (AP), individual PC and portable terminals move.

Then, we investigate the use of QoS-TCP to such an environment. In this paper, the influence of the behavior when two or more QoS-TCP approaches and interference is investigated.

1. はじめに

携帯端末及び無線 LAN の普及，音声や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，という背景から，無線 LAN 環境における QoS 制御が重要となっている．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にて各種制御が提案されている．しかし，VoIP などアプリケーションレベルに特化した QoS 制御では，多くの，あるいは新規のアプリケーションに対応できないこと，IP レイヤの制御では，ネットワーク全体に変更が必要になること，また，MAC レベルでの制御では，アクセスポイント (AP) などの無線 LAN 機器自身の変更が必要になることなどから，どれも実現が難しいと考えられる．これに対して，各種アプリケーションを統一的に扱うトランスポートレイヤでの制御は，ネットワーク外での制御が可能であるため，比較的实现が容易であると考えられる．また，TCP での制御では UDP と違い，信頼性も保証できる．TCP での制御について，既にいくつかの方式が提案されており，通常使用されている TCP プロトコルを基に，より積極的に帯域確保を試みる TCP (QoS-TCP 制御と呼ぶ) が提案されている¹⁾²⁾．

この QoS-TCP に関して，有線網，固定の無線網，また，無線網で端末が移動するケースにおいて，一定以下の背景トラフィック量の下では効果があることが，シミュレーション及び実機で既に確認されているが，昨今のモバイル WiMAX ルータ (以下，モバイルルータ) 等の普及から，今後は，ルータと端末が併せて移動する環境 (以下，モバイルルータ環境) が想定される．

そこで本研究では，モバイルルータ環境にて QoS-TCP を用いることを検討する．無線 LAN の干渉や TCP 同士の干渉は，今までに様々な環境において検証されてきたが³⁾⁴⁾，モバイルルータ環境において，QoS-TCP のような帯域確保を目的とした端末における干渉具合はまだ報告されていない．

^{†1} お茶の水女子大学
Ochanomizu University

^{†2} NEC
NEC Corporation

モバイルルータ環境では、電波干渉の影響や電波強度の変化、接続端末台数の変化、また、背景トラフィックである TCP の帯域を奪いながら帯域確保を行う QoS-TCP が、複数台通信を行った場合の振舞いの検証など、様々な検討課題がある。本稿では、実際にモバイルルータ同士が近付いた場合、そのモバイルルータと通信を行っていた端末間でどの程度の干渉が起こり、TCP 及び QoS-TCP スループットに影響を及ぼすのか、また、QoS-TCP が複数台近付いた場合でも効果があるのか検証を行う。

2. 従来技術

2.1 無線 LAN 環境における不公平性の問題

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ふ端末のことを不幸な端末と呼ぶことにする(図 1 参照)。

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 のあふれが原因となって起きている⁶⁾⁹⁾。不公平の問題は、通信する端末の台数が増え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。

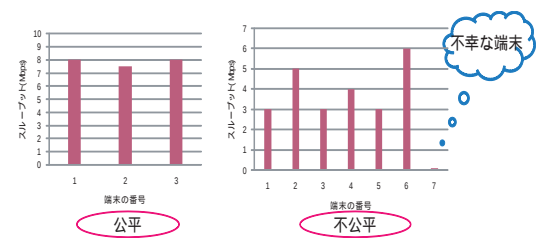


図 1 公平および不公平な状態

2.2 QoS-TCP

TCP の輻輳制御を利用して帯域保証を行う QoS-TCP として、TCP-AV¹⁾ が提案されている。この TCP-AV のメカニズムについて説明する。

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-AV

は、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。ただし、競合する TCP の本数が増えると 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。競合が増えると、前述した不公平が起こりやすくなるが、そのような環境においても、TCP-AV は不幸な端末とはならず、fair-share 程度は確実に帯域を確保することができる。

TCP-AV は Linux をベースとしてプロキシとして実装されている。プロキシとして実装しているのは、アクセスポイントや無線 LAN 機器など、既存端末を変更することなく、ユーザが指定した帯域の確保を目指すためである。

また、スロースタート閾値や輻輳ウィンドウを調整することでユーザが指定した帯域の確保を行うため、uplink 方向での帯域確保を検討している。

2.3 関連研究

この TCP-AV について、まず、有線網でのシミュレーションおよび TCP-AV を Linux に組み込んで実機実験をした結果が報告されている¹⁾。輻輳崩壊を防ぐという TCP の本来の機能を維持しつつ、帯域確保を行うため、競合する通常の TCP(背景 TCP と呼ぶ)の本数が多い場合には指定した帯域の確保が困難になる。

次に、固定端末の無線 LAN 環境において、シミュレーション及び実機で帯域確保度合いの定量的な評価が行われている⁵⁾⁶⁾。802.11g 無線 LAN においては、CSMA/CA の機会均等性に起因して、TCP のレート制御(輻輳制御)自体に影響を受ける。そのため、指定した帯域を確保するには、有線網以上に、背景 TCP の本数の許容度が小さくなることが分かっている⁵⁾。

更に、移動端末の無線 LAN 環境において、シミュレーション及び実機で帯域確保度合いの検証が行われ、帯域確保可能である場合があることを示されている⁷⁾。この評価は、図 2 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っている。使用する AP では、端末数 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、TCP-AV 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 台とした。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 TCP-AV を移動させた時の比較結果を図 3 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、ハンドオーバー後の各合計スループットに約 12 倍の差が出た。

このような大きな差が出た理由について無線電波上のパケットや輻輳ウィンドウ値を検証した結果、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設定となっている無線 LAN での MAC フレームのリトライアウトによる 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あることが示された⁸⁾。つまり、実機において通常の TCP は、ノイズによるビットエラーにより、MAC フレームにおいてデータが何度も送信された結果、データが破棄され、このデータロスにより輻輳ウィンドウが小さくなる。背景トラフィックである TCP がこのようにして輻輳ウィンドウが小さくなった際に、TCP-AV は輻輳ウィンドウを上げることができ、既存端末に割り込めている。このため、割り込む端末が TCP である場合、既存端末に対する優位性がないため、割り込めずにスループットを得ることができないが、割り込む端末が QoS-TCP のように優位性がある場合のみ帯域を確保することができている。

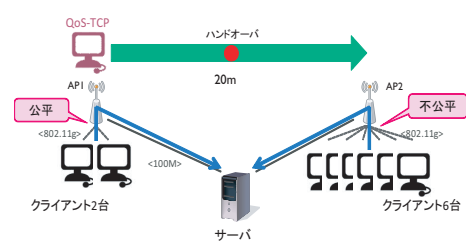


図 2 評価モデル

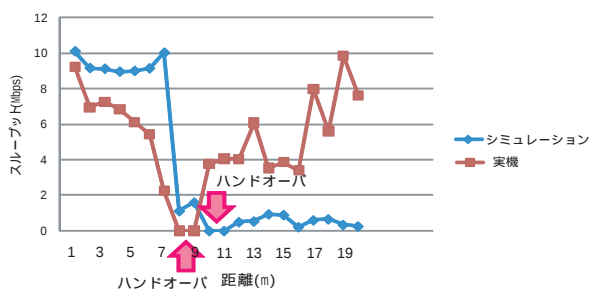


図 3 比較結果

以上のように、有線網、固定の無線網、また、無線網で端末が移動するケースにおいて、一定以下の背景トラフィック量の下では効果があることが検証済みである QoS-TCP を、本研究ではモバイルルータ環境に適用する。次章にて評価実験について述べる。

3. システム近接時の相互作用

お互いに干渉しない 2 つの無線 LAN システムが近付く時、近付くにつれて、近付く前の干渉無し状況 (状態 1) と比較し、各端末のスループットは減少する。AP1 及び AP2 で通信を行っている端末数をそれぞれ $N1, N2, N1+N2=N$ とすると、最接近状態では、スループットは 1 つの AP を、 N (台) で共有している状態とほぼ同じになる。

AP 同士が近接するようになると、まず最初にそれぞれの通信が相手にとってノイズ源となるために、お互いの通信がビットエラーにより劣化し、その結果スループットが低下する (状態 2)。

次に、お互いのキャリアセンスに関わるレベルまで近接すると、今度は 2 つのシステムは 1 つの CSMA/CA ドメインになる (状態 3)。すなわち、それぞれ AP1 と $N1$ 台の端末及び AP2 と $N2$ 台の端末が通信している状況でありながら、CSMA/CA(DCF) を、 $N+1$ (AP1 または AP2) 台の端末が行っている状況に相当する。例えば、AP1 は $N1$ 台の端末、AP2, $N2$ 台の端末のキャリアをセンスし、通信を行うことになる。これにより、スループットは $1/N$ となる。

すなわち状態 1 では 2 台の AP がそれぞれの通信可能帯域を最大限使える状態であり、それぞれの AP と通信を行う各端末のスループットの合計が最大で各 AP の通信可能帯域となるが、状態 3 になると、全てのスループットの合計が最大で 1 台分の AP の通信可能帯域となってしまう。また状態 2 は状態 1 と 3 の間の状態であり、特定の距離まで近づくとお互いの AP や端末の信号をキャリアとして認識できるようになり、状態 3 へ移行する。ただし、実機においては、様々な自然雑音や個々の機器特性により、上記のキャリアセンスレベルは厳密には線引きができるようなものではなく、状態 1 ~ 2 ~ 3 への遷移はなだらかに発生する。

4. 実機を用いた評価

4.1 実験機器

本実験は、ルータも端末も移動する環境での干渉の影響を調査するため、アクセスポイントには WiMAX ルータ (Aterm WM3500R¹⁰⁾、端末には Android 携帯 (Nexus One¹¹⁾)

を使用した。

アクセスポイントのバッファサイズは一般には公開されていないが、この大小により QoS-TCP の効果が異なってくるため⁹⁾、本実験に使用するルータのバッファサイズを独自に測定した。測定方法を図 4 に示す。このような環境において、番号を付加した UDP パケットを大量に流すと、有線と無線の速度差から、ルータのバッファが送られてきた UDP パケットでいっぱいになる。そのため、受信端末で受信した UDP パケットの番号を確認すると、連続して受信できているパケット数がバッファサイズということができる。このような手法で測定した所、今回使用するルータのバッファサイズは 275.5 パケットであった。275.5 パケットは今まで測定した市販のルータの中では大きい部類である。

また、今まで QoS-TCP として使用してきた TCP-AV は、デスクトップ PC にしか実装されていなかったため、Android 端末への実装を行った。今回使用した Nexus One は、Google 社が開発者向けに販売しているスマートフォンである。デスクトップ PC と同様、今回もプロキシとして実装し、通常は TCP(Cubic) として動作するが、TCP-AV 用のモジュールをロードすると TCP-AV となる仕組みである。

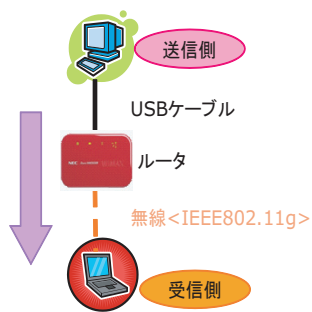


図 4 バッファサイズ測定方法

4.2 干渉の影響

モバイルルータ及び端末が併せて移動する環境では、電波環境 (干渉、電波強度) や接続端末数の変化、また、背景トラフィックである TCP の帯域を奪いながら帯域確保を行う QoS-TCP が複数台通信を行った場合の振舞の検証など、様々な検討課題があるが、今回は QoS-TCP が 2 台近付いた際の振舞、及び干渉の影響について調査する。このため、以下の 3 つの環境における干渉の影響について検証を行う。

- TCP—TCP の相互干渉検証
- TCP-TCP—AV の相互干渉検証
- TCP-AV — TCP-AV の相互干渉検証

また、複数のシステムが近付いた時の干渉の影響を見るため、それぞれの環境において、端末が 1 台のみの通信の時と、複数台 (今回は 5 台とした) での通信時のスループット結果を比較する。

実験環境を図 5、図 6 に示す。図 5 は、ルータ 1 及びルータ 2 において、それぞれ端末が 1 台ずつ通信を行っている状態、図 6 ではそれぞれのルータが 5 台の端末と通信を行っている状態である。図 5 における端末 A と B、図 6 における端末 C と D がそれぞれ TCP、QoS-TCP の場合の干渉の影響を調べる。

以上の実験環境において、それぞれのモバイルルータ間距離の変化によるスループットの劣化を検証することにより、TCP 及び QoS-TCP の振舞を評価する。

実験を行う際に、実験に使用するモバイルルータ以外の AP が、スループットに影響しないことを確かめている。また、使用するモバイルルータのチャンネルはどちらも同じチャンネルに固定し、確実にお互いが干渉する環境とした。今回使用したモバイルルータの電波出力はデフォルトで 25%であったため、実験においても 25%とした。データの送信方向は uplink 方向 (Android → AP) である。

図 7、図 9、図 11 は図 5 の実験環境におけるスループットの測定結果となっている。一方、図 8、図 10、図 12 は図 6 での実験結果であり、図 8 は、端末 C、D が共に TCP の場合、図 10 は端末 C が TCP、端末 D が TCP-AV の場合、図 12 は端末 C、D が共に TCP-AV の場合の結果を示している。その他の端末は全て TCP での通信である。

4.2.1 TCP—TCP の相互干渉検証

1 台での通信では、図 7 より、モバイルルータ間の距離が 20cm の所までは割合安定したスループットが得られているが、20cm 以内にルータが 2 台存在する環境では急激にスループット低下が見られる。図 8 においては、それぞれのモバイルルータで 5 台で通信を行っているため、fair-share である 4Mbps 程度は出るはずであるが、60cm 以内にルータが 2 台ある環境でスループットが低下し始めている。どちらの場合も、ルータ間距離が離れている時にはそれぞれが fair-share 程度のスループットが出ていたが、最も近づいた時には、合計のスループットが fair-share の合計の半分を下回るようになっており、かつ端末によって異



図 5 実験環境 (1 台通信時)



図 6 実験環境 (5 台通信時)

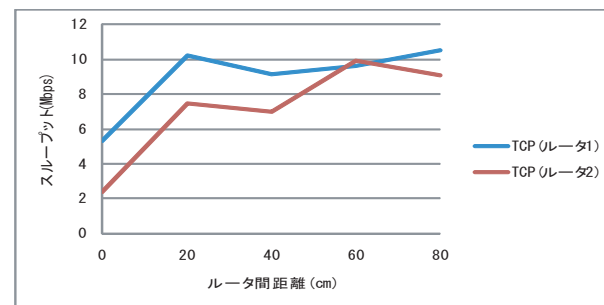


図 7 TCP—TCP の相互干渉 (1 台通信時)

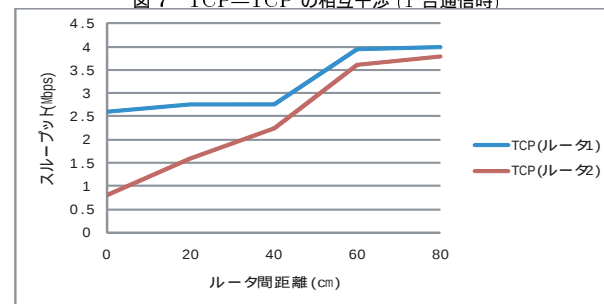


図 8 TCP—TCP の相互干渉 (5 台通信時)

なる不公平が生じていることが分かる。

4.2.2 TCP—TCP-AV の相互干渉検証

図 9 より、TCP は図 7 と同様、20cm より近付くとスループットが低下するが、TCP-AV は安定している。このことから、TCP-AV は干渉には TCP よりも強いと言える。図 10 では、TCP-AV は TCP と比較し、全体的に約 2 倍程度帯域を確保できているが、その TCP-AV でも、干渉の影響により、モバイルルータ同士が近づくと干渉が小さい時に比べてスループットが約 30% に低下する。

4.2.3 TCP-AV—TCP-AV の相互干渉検証

図 12 より、TCP-AV 同士が近づいた場合、20cm まではスループットは下がり続けるが、モバイルルータ間が 20cm 以下になると、再びスループットが上昇している。これは、既存研究の時と同様、干渉の影響により 20cm まではスループットが減少するが、20cm 以下では、干渉により、背景トラヒック（同じルータを用いて TCP 通信を行っている端末）がビットエラーを頻発することにより、輻輳ウィンドウを下げ、スループットが低下した際に、背景トラヒックの帯域を取り帯域確保できている、ということが予想される。しかし、TCP よ

り干渉に強い TCP-AV でも、干渉下において TCP-AV 同士が近付いた場合は、fair-share 程度も確保できていないことが分かる。

5. おわりに

既に、有線網、固定の無線網、また、無線網で端末が移動するケースにおいて、帯域確保が可能である場合があることが示されていた QoS-TCP (今回は TCP-AV を使用) の、アクセスポイント及び端末が移動する環境 (モバイルルータ環境) への応用を検討した。

このような環境では電波環境 (干渉、電波強度) や接続端末数の変化、また、背景トラヒックである TCP の帯域を奪いながら帯域確保を行う QoS-TCP が複数台通信を行った場合の振舞いの検証など、様々な検討課題が挙げられるが、今回は QoS-TCP が 2 台近付いた際の振舞い、及び干渉の影響について検証を行った。

実環境下において実験を行い、TCP 及び TCP-AV の相互干渉の影響を検証した結果、

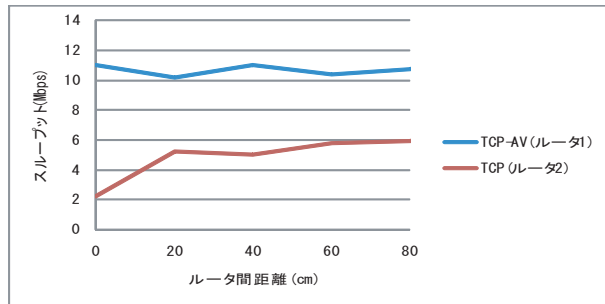


図 9 TCP—TCP-AV の相互干渉 (1 台通信時)

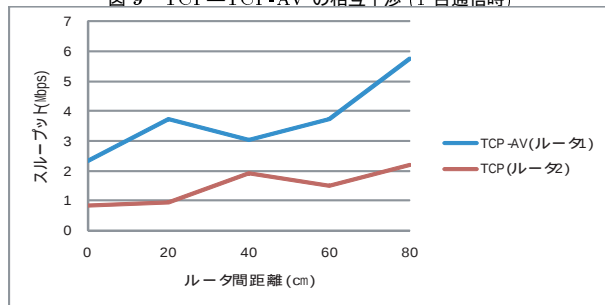


図 10 TCP—TCP-AV の相互干渉 (5 台通信時)

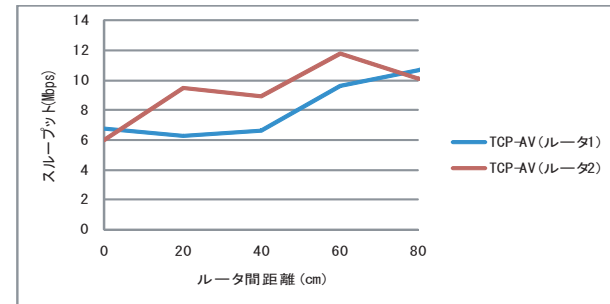


図 11 TCP-AV—TCP-AV の相互干渉 (1 台通信時)

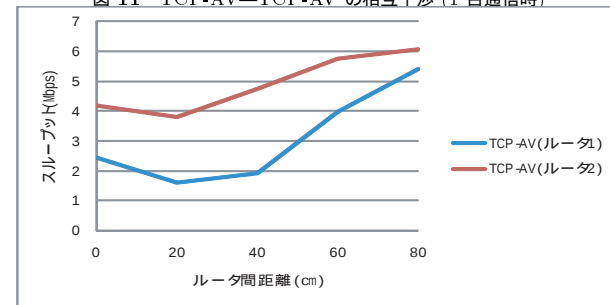


図 12 TCP-AV—TCP-AV の相互干渉 (5 台通信時)

TCP-AV は TCP より干渉には強いが、TCP-AV 同士が強い干渉下に複数台ある場合には、fair-share 程度も確保できず、効果がないことが明らかになった。一方で、ルータがあまりに近かった場合は、背景トラフィックである TCP がスループットを下げるので、QoS-TCP が帯域を取りやすい環境となることを示した。

今後は、QoS-TCP が電波干渉下においても TCP より有利であった原因を詳しく調べると共に、電波干渉がある環境においても QoS 制御できる仕組みを考えていきたい。

参 考 文 献

- 1) H.Shimonishi, T.Hama, T.Murase, "TCP Congestion Control Enhancements for Streaming Media," IEEE Consumer Communications and Networking Conference 2007, pp.303-307, Jan. 2007.
- 2) D. J. Leith and P. Clifford, "Using the 802.11e EDCF to Achieve TCP Upload Fairness over WLAN Links", WiOpt, April 2005.

- 3) 今泉 充啓, 木村 充位, 安井 一民: 重複 ACK による再送信制御方式をもつネットワークシステムのスループット, 電子情報通信学会論文誌, pp.669-675, 2008 年 6 月.
- 4) 岸田 朗, 平栗 健史, 小川 将克, 永田 健吾, 梅内 誠: 無線 LAN と WiMAX の近接環境下における干渉回避スケジューリング方式, 信学技法, Vol.109, no.22, pp.167-172, 2009 年 4 月.
- 5) 赤瀬謙太郎, 村瀬勉, 平野由美, 石田賢治, 小畑博靖: 無線 LAN 環境における帯域確保を目指した TCP 輻輳制御方式, 信学技法, vol.108, no.342, pp.1-6 2008 年 12 月.
- 6) 新井絵美, 平野由美, 村瀬勉, 小口正人: 無線 LAN 環境における実機特有の帯域公平性についての検討と QoS 保証 TCP の性能評価, 2009 DEIM Forum, D3-5, 2009 年 3 月.
- 7) 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.
- 8) 安藤玲未, 村瀬勉, 小口正人: 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, 情報処理学会第 73 回全国大会, 1V-5, 2011 年 3 月.

- 9) 安藤玲未, 村瀬勉, 小口正人: 無線 LAN の様々な条件における帯域公平性の検証と QoS 保証 TCP の性能評価, DICO2010, 8E-3, 2010 年 7 月 .
 - 10) Aterm WM3500R: <http://121ware.com/product/atermstation/product/wimax/wm3500r/>
 - 11) Nexus One: <http://www.google.com/phone/detail/nexus-one>
-