

## 移動端末における QoS 保証 TCP の特性評価

安藤 玲未<sup>†</sup> 村瀬 勉<sup>††</sup> 小口 正人<sup>†</sup>

<sup>†</sup> お茶の水女子大学 〒112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1

<sup>††</sup> NEC 〒211-8666 神奈川県川崎市中原区下沼部 1753

E-mail: <sup>†</sup>remi@ogl.is.ocha.ac.jp, oguchi@computer.org, <sup>††</sup>t-murase@ap.jp.nec.com

あらまし マルチメディア通信用途に QoS 保証が可能な帯域確保型 TCP(QoS-TCP) が提案されている。QoS-TCP は、輻輳崩壊を防ぎつつ、通常の TCP に比べて帯域をより積極的に獲得する輻輳制御を搭載している。これについて、既に有線あるいは無線の固定網での評価が進んでいるが、より帯域を確保しにくいと思われる、移動端末における QoS-TCP の帯域確保特性は明らかではない。そこで、電波状況の強弱やハンドオーバーについてシミュレーションと実機により評価した。実機での通信では、様々な外乱および個体差により、シミュレーションで想定し得ない影響があり、シミュレーションとは大きな違いが出ることを明らかにした。実機実験では、QoS-TCP は、通常 TCP と比較し約 20 倍有利に帯域確保可能であることを示した。

キーワード 無線 LAN, ハンドオーバー, 公平性, QoS 保証

## Characteristics of QoS-Guaranteed TCP on Mobile Terminals

Remi ANDO<sup>†</sup>, Tutomu MURASE<sup>††</sup>, and Masato OGUCHI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Ochanomizu University Otuka 2-1-1, Bunkyo-Ku, Tokyo 112-8610 Japan

<sup>††</sup> NEC Corporation 1753 Shimonumabe, Nakahara-ku, Kawasaki, Kanagawa, 211-8666, Japan

E-mail: <sup>†</sup>remi@ogl.is.ocha.ac.jp, oguchi@computer.org, <sup>††</sup>t-murase@ap.jp.nec.com

**Abstract** 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 and in fixed wireless networks. In this paper, characteristics of QoS-TCP in mobile wireless terminal is investigated by using both simulation and experiment. Mobile wireless terminals are suffered from radio interference and handover, and capability of QoS-TCP can be weaker as it moves apart from access points. Performance evaluations by simulation show ideal results, which come from assumptions of homogeneous terminal characteristics and specifications. Results by experiment have 12 times difference from those by the simulation. One of the reasons is that real terminals have individual characteristics and specifications even by using the same equipment. In the real terminals QoS-TCP obtains about 20 times of bandwidth compared with normal TCP.

**Key words** wireless LAN, Handover, fairness, QoS guarantee

### 1. はじめに

近年、無線 LAN の普及、動画ストリームや音声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 環境におけるマルチメディア通信のための QoS (Quality of Service) 制御が大変重要となっている。本研究では、一定の帯域でのリアルタイムメディアを品質良く通信することを想定し、帯域保証を目指す。具体的な QoS 制御方法においては、各プロトコルレイヤにて、各種制御が提案されているが、VoIP などアプリレベルに特化した 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、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、比較的現実が容易であると考えられる。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]。

これらの QoS-TCP に関して、既に有線網、固定の無線網において、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確認されている。しかしながら、移動通信においては、固定の無線通信に比べて、様々な影響により帯域確保が困難になる。

そこで、本研究では、無線 LAN で通信する端末の QoS-TCP 制御が移動時においても有効であるかどうかを調査する。評価は、シミュレーションおよび実機で行う。本稿ではまず、2 章で従来研究と検討課題について述べ、3 章では計算機シミュレーションを用いた評価結果を示し、4 章では屋外と屋内で実機で行った実験結果を示す。5 章でシミュレーションと実機との評価結果を比較する。最後にまとめを述べる。

## 2. 従来研究とその課題

### 2.1 関連研究

TCP の輻輳制御を利用して帯域保証を行う QoS-TCP として、TCP-AV [1]、TCP-mg [3] などが提案されている。TCP-AV が指定した帯域の確保を試みる振舞については、次節で説明する。

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、シミュレーションおよ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 [4] [5]。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のが分かっている [4]。実機においては、実機特有の个体差や電波干渉などの影響で「不幸な端末」という現象が見られ、帯域確保が極めて困難になる [6]。このように、QoS-TCP の帯域確保特性が次第に明らかになってきたが、移動端末が QoS-TCP 通信する場合の帯域確保性能の評価はまだ行われていない。無線 LAN 環境における移動する端末における TCP の性能評価は、既にいくつか報告されているが [8]、帯域確保の検証を目的とした研究はまだ行われていない。移動する端末においては、地理的な位置で変化する電波干渉や反射、更に AP を切り替える HO などの影響が TCP に大きな影響を与えるため、どのような状況で帯域が確保できるのか明らかではない。

そこで、本研究では、無線 LAN 環境での移動端末の QoS 性能を、シミュレーションおよび実機環境で定量的に評価し、効果の検証を行う。

### 2.2 TCP-AV

TCP-AV [1] とはストリーミング通信の品質向上を目指して開発された、指定帯域をできるだけ維持しようと試みる輻輳制御を持つ QoS-TCP の 1 つである。TCP の基本的な輻輳崩壊回避メカニズムを保ったまま、競合する通常の TCP が過剰に

輻輳に反応する場合でも適度に反応することで、通常の TCP が利用しない帯域を利用し、その結果指定した帯域を確保することができる、という仕組みである。

### 2.3 無線 LAN における端末間のスループット不公平性

スループットにおける端末間の不公平事象について説明する。不公平とは、同じ条件で通信しているにも関わらず、端末間のスループットが極端に異なる状態を指し、一般的に起こる現象として広く知られている。公平な状態と不公平な状態を示したグラフを図 1 に示す。不公平な状態の時、スループットが極端に低い端末のことを本稿では「不幸な端末」と呼ぶ。

不公平が発生するメカニズムを説明する。この不公平は、MAC 層における送信権制御、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せられ、AP バッファでの TCP-ACK あふれが原因で発生する。無線 LAN では、CAMA/CA 方式により端末も AP も等しく送信権を持つ。従って、 $n$  台の端末が uplink 方向に通信する際、uplink フローの送信機会は  $n/(n+1)$  であるのに対し、downlink フローの送信機会は  $1/(n+1)$  である。従って、 $n/(n+1)$  の送信機会を受け取る TCP データに対して、返却される TCP-ACK は、 $1/(n+1)$  しか得られない。一般に、無線より有線の方が高速であるため、downlink 方向がボトルネックとなり、AP の downlink 側バッファで輻輳が発生する。

このようなことが原因で発生した輻輳により、AP のバッファオーバーフローで uplink フローの TCP-ACK が破棄される。TCP はデータパケットが 1 つでも破棄されると再送が行われ、輻輳ウィンドウサイズが減少してしまうが、TCP-ACK パケットが破棄された場合は、後続の ACK を速やかに受け取ることが出来れば、このようなウィンドウの減少は起こらない。輻輳ウィンドウが大きな状態の端末は、TCP-ACK が多少破棄されても、後続の TCP-ACK により、輻輳ウィンドウは増加する。従って、輻輳ウィンドウが大きい TCP フローは、ますますデータを送出し、AP は、そのデータに対する "TCP-ACK で常にあふれている" 状況になる。一方、輻輳ウィンドウが小さな状態の端末は、TCP-ACK が破棄されると、後続の TCP-ACK が届かないため、タイムアウトが起こってしまう。タイムアウト後のスロースタートにおいて再送した TCP データの TCP-ACK が破棄されると、再びタイムアウトになり、スループットは著しく低下する。以上により、不幸な端末が生まれ、不公平となる。シミュレーションのような均質な仮定ではランダムで選ばれる。

TCP-ACK があふれる度合いは、端末数に依存し、端末数が増えると発生する。また、その度合いは、AP のバッファ量にも依存する。

### 2.4 移動通信における QoS 保証制御の課題

移動通信時の帯域確保制御における検討課題について述べる。移動する通信端末が uplink 方向に動画像などのマルチメディア通信を TCP で行う状況を想定する。固定の無線 LAN 環境では、ある一定の条件で QoS 保証が可能である [5]。しかし、移動時においては、電波状況や HO 時における接続の瞬断等、様々な環境の変化が TCP-AV の帯域確保に影響を与える可能

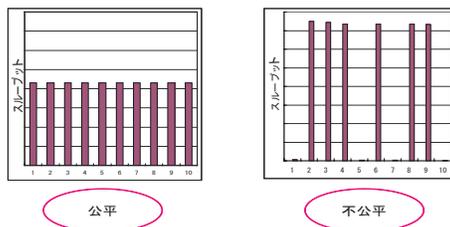


図 1 公平・不公平な状態

性があると予想される．そこで，前述の関連研究および不公平現象および不公平を生むメカニズムを考慮し，本研究では以下の 2 つの課題について検証を行った．

(1) 移動通信時に，AP からの距離が通常 TCP のスループットおよび TCP-AV の帯域確保性能に及ぼす影響の調査

(2) HO に伴うリンク切断からのスループット回復に関して，通常 TCP と TCP-AV の性能調査

(1) について詳しく述べる．HO 後，移動端末は接続先 AP で既に通信している端末より電波的に不利であるため，どの程度の電波状況で帯域確保できるかを明らかにするために，電波状況の変動がある状況での評価を行う必要がある．また，移動先が公平な場合と不公平な場合とでは移動端末の割り込み具合も異なると考えられる．固定状況においても不公平な状態に割り込むのは困難なため，移動する状況において不公平な状態に割り込むことはより困難であると予想される．

以上についてシミュレーション，実機環境にて TCP-AV を通常 TCP と比較することで検証を行う．

### 3. 計算機シミュレーションを用いた評価

まずシミュレーション環境で，TCP-AV が移動する際の帯域確保特性について ns-2 [9] を用いて評価する．

#### 3.1 シミュレーション環境とパラメータ設定

シミュレーション環境を図 2 に示す．後述の実機実験と比較することから，パラメータ決定のため，AP のバッファサイズと公平・不公平になる端末の台数について実機で予備実験を行った．

不公平になる端末台数を決める要因である AP のバッファサイズは重要であるものの，一般には公開されていないため，実機実験で使用する AP (Planex CQW-MR500) のバッファサイズを [6] と同様の手法で独自に測定した．その結果，この AP のバッファサイズは約 265.5 パケットであることが分かった．これは著者らがこれまで使用した市販 AP [6] の中でも最も大きい部類に入るが，一般的な大きさであると言える．

このバッファサイズでは，固定状態では 6 台までが公平な状態，7 台以上が不公平な状態になる [6] 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．1 台の端末から 1 フローの TCP が送出される．送出元は無線 LAN 端末，送出先は，AP を通じて有線接続されている端末である．また，無線 LAN は 802.11g，伝送レートは 802.11g の最大伝送レートである 54Mbps 固定と

した．TCP-AV の指定帯域は，TCP のペイロードで 10Mbps のスループットとした．これは，802.11g の実効的な容量 (単独使用時の最大スループット) が，パケット長が 1500 バイトの時に，TCP で 24Mbps 程度であり，これを 3 台以上の端末で分割使用したときに，帯域を均等に分ける (fair-share) ([5]) 値 (=8Mbps) よりも大きくするためである．

以上より，シミュレーションモデルは図 2 に示したような構成とした．全長 20m の所をほぼ歩く速度である秒速 1m で移動し，中間地点で HO を行う．AP1 には 2 台の背景端末 A と B，AP2 には 5 台の背景端末 C ~ G が接続され，uplink 方向に TCP 通信を行っている．移動端末は uplink 方向に TCP 通信しながら，AP 間を結ぶ直線に対して平行に 5m 離れたところを AP1 から AP2 に向けて移動する．

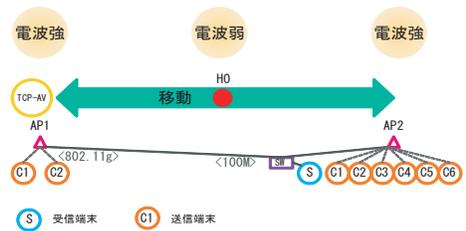


図 2 シミュレーションモデル

#### 3.2 評価結果

AP からの距離に対して，TCP-AV が得たスループットの評価結果を図 3 に示す．

移動端末が AP1 に接続して，移動端末を含めて 3 台で通信を行っている際は公平となる端末の台数であるため，TCP-AV は，AP1 の近くでは，帯域を確保することに困難は無い．しかし，AP1 から離れるに従って，電波減衰・電波干渉などに伴うパケットロスが増加するため，スループットが低下してしまう．HO 後，移動先の AP2 では，公平となる端末の最大値の台数である 6 台で背景端末が通信を行っており，そこに移動端末が入ることで不公平な状況を生み出す．移動端末は，既存の背景通信に割り込めておらず，前述の不幸な端末となってしまう．新規参入端末の TCP フローは，スロースタートで通信を始めるため，前述の不公平が起こるメカニズムにより，バッファオーパフローの影響を強く受け，不幸な端末に極めてなりやすい．移動端末は，AP から遠いところから通信を行うため，パケットロスの影響が加わり，他の端末に比べて著しく不利な状況になり，不幸な端末になる可能性がさらに高まる．TCP-AV もスロースタート時の振る舞いは通常 TCP と同じであり，上記理由のため，TCP-AV も通常 TCP もスループットを上げることが同様に困難である．

シミュレーションでは，全て均質な特性の端末および通信状況を仮定しているため，上記のように帯域を確保するよう試みる TCP-AV でも，スループットがほとんど 0Mbps になるような結果になる．しかしながら，実際の端末では，均質ということとはあり得ず，端末毎の固有の特性により，シミュレーションとは異なる結果が得られるはずである．特に [7] で紹介されているように，偶然ではなく必然的に有利・不利になる端末が発

生する．このことを考慮して，実機では TCP-AV が帯域を確保できる場合があることを示す．

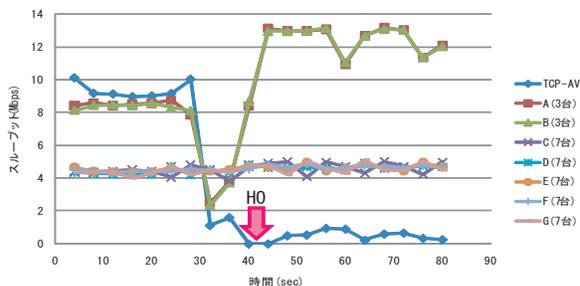


図 3 評価結果

#### 4. 実機を用いた評価

本章では，実機を用いて帯域確保の可能性を検証する．評価においては，電波環境および機器固有の仕様・特性を除いて，シミュレーションと同等の設定パラメータになっている．今回は屋外と屋内の両方の環境で実験を行った．これは，電波減衰および電波干渉の影響の違いを見るためであり，屋内では，外部（見通し外）からの電波の影響を比較的受けにくく，理論に近い電波減衰が起こるはずである．一方，屋外では，他の電波の干渉を受けやすく，理論よりもさらに減衰が強まり，干渉による S/N の劣化が強くなる．従って，屋外は，屋内に比べて，AP からの距離が大きくなるほど，背景トラフィックに対して，相対的に得られる帯域が小さくなるはずである．

##### 4.1 屋外実験

###### 4.1.1 実験環境

屋外実験場所にはお茶の水女子大学のグラウンド（図 4）を使用した．同グラウンドは，約 100m × 100m の広さがあり，周囲には，民家および同大学の建物が隣接している．つまり，隣接の建物から発射された電波は，遮られることなくグラウンドに到達するため，電波環境的には非常に干渉が強い状況である．実験には市販の端末，AP(Planex CQW-MR500)を使用した．無線子機には，イーサネットコンバータ (EC, Planex GW-EC300NAG5P) を使用し，Linux など USB タイプや内蔵の無線 LAN インタフェースが使用できない端末を想定した．

また，屋外実験においては，電波干渉の影響により 5 台までが公平，6 台以上が不公平な状態となった．そのため，実験環境（図 2 参照）において，AP1, AP2 での背景トラフィックをそれぞれ 2 台，5 台とし，移動端末が加わることでそれぞれ 3 台，6 台となり，公平・不公平な状態になるような構成で実験を行った．

AP1 と AP2 間は 100m で，シミュレーションと同様に AP1 から AP2 を結んだ直線から 5m 離れた直線上を秒速 1m にて端末を移動させ，uplink 方向に TCP 通信を行う．今回は実験を行うグラウンドの各所で電波状況を測定し，AP1 と AP2 の電波強度がほぼ等しいと考えられる地点で HO を行った．詳しい電波状況については後述する．

また，AP と EC の伝送レートを IEEE802.11g の最大伝送

レートである 54Mbps 固定にし，AP のチャンネル番号は AP1 を 1, AP2 を 13 と固定にした．これは，AP1 と AP2 の電波干渉はもとより，他の干渉電波に最も影響を受けにくいであろうと思われるチャンネルを選択したためである．HO の手法については，最適な HO 位置や複数の無線インタフェースを用いたシームレス HO など様々提案されているが [8]，いずれも，特殊な計測や追加機能が必要になる．市販の実機を改造せずに HO する方法は少なく，現状の実機では，手動で接続先 AP を変更することで HO を行うことが最も現実的である．今回の実験では，この手動による HO を行った結果，AP1 の切断から AP2 の接続確立まで約 10 秒掛かり，この HO 期間は，どの AP にも接続されていない状態であるため，通信は切断となる．



図 4 お茶の水女子大学グラウンド

###### 4.1.2 予備実験

まず，予備実験として各所における電波状況と端末 1 台でのスループットを測定した．電波状況と実際のスループットを測定することで，実験場所のおおよその通信環境が把握できるからである．電波状況の測定には Wifi Analyzer [10] を使用した．キャプチャ画面は AP1, 2 付近と HO する点の 3 箇所のチャンネル毎の電波状況を示している．実験に使用している AP 以外の AP の電波が数多く存在し，どのチャンネルでも干渉が起こっている．スループット計測結果を図 5 に示す．横軸が AP からの距離を表しており，AP1 の設置点を距離 0m にし，AP2 を 100m に設置，中間地点で HO している．AP から数 m 離れるとスループットが急激に落ちていくことが分かる．

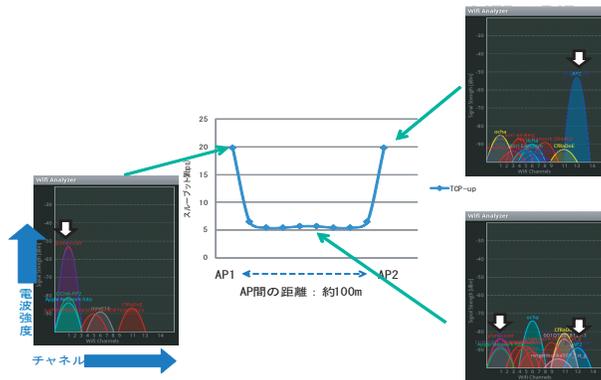


図 5 各所の TCP スループットと電波状況

###### 4.1.3 屋外実験結果

屋外において，TCP を移動させた結果と TCP-AV を移動させた時の結果を図 6 に示す．予備実験でも確認されたが，TCP, TCP-AV 共に AP から約 5m 離れた所からスループットが急

激に落ち始め、HO 先の AP に近づいた所でスループットがようやく上昇し始める、といった結果が得られた。今回の屋外実験環境のような電波干渉の多い環境では、そもそも 1 台の端末でも、スループットが十分に得られないため、TCP-AV の特徴である輻輳に強いという性質を活かすことができない。つまり、スループットは、TCP と TCP-AV でほとんど差は出ず、AP との距離のみに依存することが明らかになった。

また、このような環境においては、シミュレーション評価とも全く異なる結果となっているため、例えば図 5 の結果をもとに、シミュレーションの電波減衰モデルを実際の環境に合わせて考慮し直す必要がある。

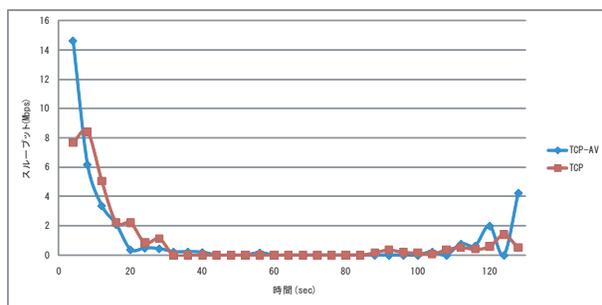


図 6 移動 TCP と移動 TCP-AV の比較

## 4.2 屋内実験

### 4.2.1 実験環境

屋内実験は同大学の会議室 (20m × 5m) にて行った。AP のパッファサイズにより決定する公平・不公平の端末の台数は、屋内実験においては固定状態と同様、6 台までが公平な状態、7 台以上が不公平な状態になることを予備実験で確認したため、実験環境 (図 2 参照) において、AP1、AP2 での背景トラヒックをそれぞれ 2 台、6 台とした。

屋内では、スペースの都合で、これまでとは異なるパラメータでの実験となっている。AP1 と AP2 間はこれまでより小さく、20m である。そのために、電波が十分減衰するよう AP の電波出力はこれまでの実験の 10% とした。また AP1 から AP2 を結んだ直線上を端末を移動させた。これ以外のパラメータはこれまでと同じである。電波状況を測定し、AP1 と AP2 の電波強度がほぼ等しいと考えられる所で HO を行った。

### 4.2.2 予備実験

屋外実験の時と同様、各所における電波状況と端末 1 台でのスループットを測定した。スループット計測結果とチャンネル毎の電波状況を図 7 に示す。スループットは、HO 前まで緩やかに単調減少して、HO 後に緩やかに単調増加する (TCP・UDP の uplink・downlink の計 4 種類のスループットをそれぞれ計測)。このことから、屋内実験の環境は、屋外実験の環境に比べて、電波干渉は非常に小さく、理想に近い環境になっていると思われる。

### 4.2.3 実験結果

#### 結果 1: 移動 TCP と移動 TCP-AV の比較

実験結果を図 8 に示す。TCP では、HO 後に、帯域がとれず、不幸な端末になってしまっている。一方、TCP-AV では、

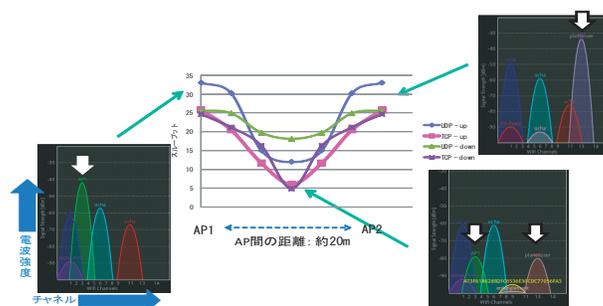


図 7 各所のスループットと電波状況

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、ある程度の帯域を確保できている。TCP-AV は可能な限り帯域を確保し、不幸な端末にはならず、TCP に比べて平均約 20 倍有利に帯域を確保できていた。

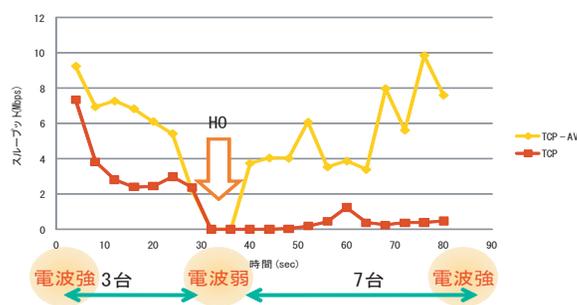


図 8 移動 TCP と移動 TCP-AV の比較

#### 結果 2: 移動 TCP-AV と背景トラヒックの比較

前述のように TCP-AV が不幸な端末とならなかったため、背景トラヒックの中に不幸な端末が生じたはずである。TCP-AV と背景トラヒックのスループットを比較した結果を図 9 に示す。TCP-AV は、HO 前は端末 G、H の 3 台で AP1 と、HO 後は端末 A~F の 7 台で AP2 と接続している。

TCP-AV が入ってきたことで、背景端末 H が「不幸な端末」となっている。特に TCP-AV の効果が顕著なのは HO 後で、背景トラヒックの帯域を奪い、最大で、総帯域の約 30% 確保できている。これは fair-share の約 2 倍にあたる。

以上の実験より、TCP-AV は TCP と比較すると、HO による品質劣化も最小限にできていると言える。



図 9 移動 TCP-AV と背景トラヒックの比較

## 5. シミュレーションと実機との評価結果比較

シミュレーションと屋内実機実験の比較結果を表すグラフを図 10 に示す。実機環境では電波状況により HO の位置を決定するため、今回行ったシミュレーション結果とは HO 位置に約 8m のずれがある。

シミュレーション評価と実機実験とは、ほぼ同様のパラメータ設定で行ったにも関わらず、HO 後のスループット結果に約 12 倍のずれが生じていることが分かった。この原因の 1 つが、シミュレーションでは実機特有の特性を網羅できず、特に通信開始時からスループットは端末ごとにほぼ等しくなっているという特性を持つことである。

実機環境においては、一度不幸な端末となってしまうと全端末を再起動しない限り同じ端末が不幸な端末となり続ける現象が報告されている [6]、[7]。実機においては機器固有の特性により通信開始時から多少のスループットの差が生じる。そのうちスループットがやや低めの端末は、TCP-AV のような強い TCP が割り込んでくると更にスループットを下げてしまい、代わりにこの端末が取っていた帯域を TCP-AV 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。

これらのことから、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、実機特有の振る舞いおよび電波干渉などを考慮した評価が出来ない。今回は、実機実験と比較して、12 倍ものスループット差を生じた。無線 LAN においては、シミュレーション評価結果は、さらなる妥当性検証を要すると言える。また、実機実験においても、環境が異なると全く異なった結果を得るため、屋外実験と屋内実験では、TCP-AV が獲得できた帯域に極めて大きな差が出た。屋外では、ほとんど帯域を獲得できず、逆に屋内では、最大で総帯域の 30% もの帯域確保に成功している。

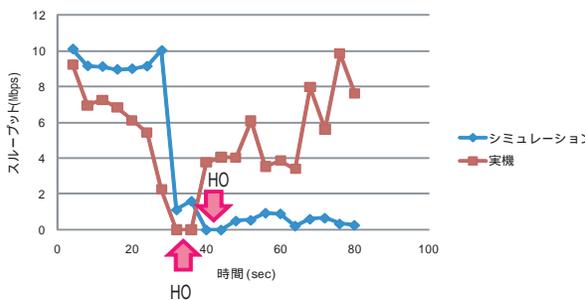


図 10 比較結果

## 6. おわりに

移動端末において、帯域確保型 TCP が有効であるかどうかを検討した。移動端末においては、アクセスポイント (AP) からの距離による電波減衰や電波干渉、およびハンドオーバー (HO) 時の AP の切り替えによる通信断などが、帯域確保型 TCP の制御に影響を与える。また、HO 先が既に輻射している場合に、

後から割り込んで帯域を確保できるかどうかを検証する必要がある。また、無線機器には、個体差が大きいため、シミュレーションのような均質の環境ではなく、個体差が現れる実機環境での評価も必要である。

そのため、評価は、シミュレーション、屋外実機実験、屋内実機実験の 3 通りを行った。シミュレーションでは、電波減衰の影響と TCP の不公平性特性により、HO 先が既に輻射している場合に、後から割り込んで帯域をほとんど確保できないという結果が得られるが、屋内実機実験では、帯域が確保できており、この差は、12 倍もあった。実機でもシミュレーションでも通常 TCP は HO 後にスループットがほぼ 0Mbps になる「不幸な端末」となってしまうが、実機では、帯域確保型 TCP は帯域を確保できており、帯域確保型 TCP は移動通信においても帯域確保において通常 TCP に比べ約 20 倍有利に帯域確保できた。このとき確保できた帯域は最大で総帯域の 30% 相当であった。一方で、屋外実験では、干渉電波のため、電波減衰が非常に強く、そもそも十分なスループットが得られない。このような環境での QoS 制御は、別途考慮する必要がある。

今後は、移動端末における、より効果的な TCP-AV の利用法の提案・実証をしていきたい。

謝辞

本研究において、シミュレータの開発にご協力頂きました、広島市立大学 石田賢治先生、小畑博靖先生、内藤成文氏に感謝致します。また、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的研究の一環としてなされた。

## 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. Yamanegi, G. Hasegawa, and M. Murata, "Congestion Control Mechanism of TCP for Achieving Predictable Throughput," Proc. of ATNAC 2006, pp. 117-121, 2006.
- [3] D. J. Leith and P. Clifford, "Using the 802.11e EDCF to Achieve TCP Upload Fairness over WLAN Links", WiOpt, April 2005.
- [4] 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 輻射制御方式, 信学技法, vol. 108, no. 342, pp. 1-6 2008 年 12 月.
- [5] 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.
- [6] 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, 2010 年 7 月.
- [7] 安藤玲未, 村瀬勉, 小口正人: IEEE802.11g 無線 LAN における帯域公平性の問題の検討, SWoPP2010, 2010 年 8 月.
- [8] K. Tsukamoto, T. Yamaguchi, S. Kashiwara, 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.
- [9] ns2: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [10] Wifi Analyzer: <http://jp.androlib.com/android.application.com-farproc-wifi-analyzer-jFCm.aspx>