

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

A Study about Fairness of Bandwidth on Real Machines in the Wireless LAN Environment and Performance Evaluation of QoS Guaranteed TCP

新井 絵美^{*} 平野 由美^{*}
村瀬 勉^{*} 小口 正人[△]

Emi ARAI Yumi HIRANO
Tutomu MURASE Masato OGUCHI

近年、マルチメディア通信の需要の高まりにより、QoS (Quality of Service) の保証が重要となっている。ここで定義するQoSとは指定された帯域を確保することである。QoS保証を実現するTCP-AVという帯域確保TCPがこれまでに提案および実装され、有線環境における評価がすでに行われてきた。しかし、無線環境においては有線環境における場合とは異なる問題が存在する。たとえば複数台の端末で通信を行ったときの送信権の制御メカニズムなどが原因となって、端末ごとのスループットに不公平が生じる場合があるといわれており、その結果TCPでの有効な帯域制御が行えない可能性がある。そこで本研究では、これらの問題について実機を用いた実験および考察を行い、無線環境においてTCP-AVを用いてマルチメディア通信を実行する際の性能を評価し、問題点を改善することによって、より良いQoS制御を行うことを目指す。

In late years, the demand for multimedia communication has been raised extensively. To guarantee the QoS is extremely important. QoS defined here means to guarantee designated bandwidth. In order to realize it, TCP-AV has been proposed and implemented, and it is achieved in a wired environment. However, wireless environment has problems different from the wired environment. When multiple terminals are communicating, unfairness of the throughput among terminals is observed caused by coordinate mechanism of the data transmission right among terminals. As a result, the bandwidth might not be controlled effectively. Therefore we investigated and considered these problems in this paper. We have used TCP-AV on wireless environment and evaluated performance of multimedia

^{*} 学生会員 お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科博士前期課程 emi@ogl.is.ocha.ac.jp

^{*} NEC システムプラットフォーム研究所 {y-hirano@hy, t-murase@ap}.jp.nec.com

[△] 正会員 お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科 oguchi@computer.org

communication, aiming at better QoS controls by resolving problems.

1. はじめに

近年、動画ストリームや音声 (VoIP) などのマルチメディア通信の需要が高まっている。そのような通信においてQoS (Quality of Service) は大変重要である。しかし一口にQoSと言ってもそこで要求される品質はメディアやアプリケーションにより異なる。そのため、マルチメディア通信のための「QoS」を定義し、これが保証される仕組みを作る必要がある。また、インターネット (TCP/IP に基づくネットワーク) の本質は「ベストエフォート」であるが、QoSが必要とされる場面が増えてきた。このような場面において、UDPを使うことも考えられるが、UDPはファイアウォールを通過できない可能性がある。そこで、TCPにQoS保証の仕組みを組込む方法が検討されてきている。この1つの例がTCP-AV[1]である。これは、ルータや端末のリンクプロトコルにQoS制御を実装するのではなく、それらで用いられているTCPをこれに載せかえて通信を行うというものである。TCP-AVでは、輻輳状態に従い、スロースタート閾値と呼ばれる輻輳ウィンドウ制御パラメータを変更する。これにより目標帯域を確保させるようなことが可能となり、ストリーミング通信などを効果的に行うQoSを実現できる。TCP-AVにより有線環境における帯域確保などのQoS保証が達成されるようになった。一方で、無線LANが広く普及したことから、無線環境において有線環境と同様に通信の品質が保証されることが望まれている。その例は、前述の動画ストリームなどである。ユーザは常に同じ品質でアプリケーションが利用可能であることを要求するが、システムにとっては無線環境において、有線環境の場合と同様に品質保証を行うことは、より困難が大きい。そこで本研究ではTCP-AVのような帯域確保型TCPが無線環境においても想定している通りに振舞うかどうかを検証する。特に実機を用いて評価を行うことにより、シミュレーションではモデル化が困難な端末ごとの機器の差異やバッファの大きさなどによる影響を明らかにし、実環境で有効なQoS手法について検討する。無線環境におけるQoS保証を実現するために、本論文では無線環境におけるQoSについての2つの重要な問題に焦点を当てる。1つは無線LANの公平性の問題であり、その中で実機における実装の差異に起因する問題を検討する。また、TCP-AVの無線LAN環境における振舞いが未確認であるため、これを明らかにしたい。無線LANの公平性の問題は端末の台数が増えたときに顕著になり[2]、すでにシミュレーションにおいて、複数のTCPフロー間におけるスループットの不公平の発生が示されている。これは、無線LAN上下リンク間、無線と有線ネットワーク間の非対称性と無線リンクにおける送信権の平等性により起こるといわれている。上記特性の下では、無線LAN AP (Access Point) のバッファにおけるTCP-ACKの破棄が不公平につながると考えられる[3]。しかし、無線上のノイズや電波干渉、デバイスドライバの構築法やOSの構成など、シミュレーションでは考慮されない点の実機に存在するため、このような不公平が実機においてどの程度起こるのかは明らかではない。例えば実機のAPのバッファサイズはメモリや装置の低価格化などの要因で変動していると考えられ、現状の実システムでバッファが問題になりうるかどうかを把握することは非常に重要である。また、本論文では無線LAN

インタフェースの構成方法に起因する実機特有の不公平に関しても考察する。これらの実験により実機の無線環境における課題を議論した上で、有線環境においては品質保証を実現することができるTCP-AVが実機の無線環境で期待通りの働きができるかについて検証を行った。

2. 無線環境における公平性

2.1 不公平の定義

無線LAN環境におけるTCPフローのスループットの公平性の問題とは、同じ条件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ことである。これはつまり複数の無線端末から同時に有線端末にデータを送信するときに、ある端末はほとんどスループットが上がらず（0Mbpsに近い）、ある端末は全帯域をすべての端末で均等に分けた値よりも高いスループットが出るという状態である。このときの一般的なスループットの特徴を表すグラフの例を図1に示す。横軸に端末番号、縦軸にスループットをとった。左のグラフがここで定義する公平な場合のグラフであり、右のグラフが不公平な場合を示している。

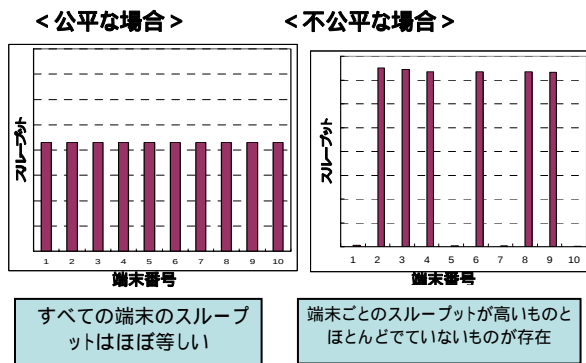


図1 公平および不公平なスループット
Fig.1 Fair and unfair cases of throughput

2.2 不公平の原因

シミュレーションで示されている不公平の原因についての議論を紹介する。シミュレーション環境において、この原因の1つはAPのバッファにおけるACKのあふれであると述べられている[3]。これは端末の台数が増えたときに特に問題となる。例えば、10台の無線端末からAPを経由して1台の有線端末にデータを送信する場合を考える（図2参照）。

このとき、データの送信速度は高々11Mbps（11bモードの場合）であるのに対し、ACKは100Mbpsの速さでAPのバッファにたまる。APは無線の端末にACKを返したいが、CSMA/CA（Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance）制御においてAPも無線端末のひとつとして送信権を得なければならない。（図3参照）しかし、10台分のACKを1/11の確率でしか送信できないため、有線リンクの速さとの相乗効果によってAPのバッファにどんどんACKがたまっていく。その結果バッファに入りきらないACKは破棄される。このACKの破棄がウィンドウサイズの違う端末に影響を与え、スループットの不公平を招く。この、ウィンドウ制御によるトランスポート層が招く不公平について以下で説明する。はじめに、ウィンドウサイズについて説明する。TCPにおいて1セグメントごとに確認応答を行った場合、RTT（Round Trip Time）が大きくなったときにスループットが低下してしまう。そこで、確認応答を待たずに複数のセグメントを送信でき

るようにすることで性能を低下させないようにしている。このとき確認応答を待たずに送信できるデータの大きさをウィンドウサイズという。ウィンドウ制御をするときに確認応答（ACK）が失われてしまった場合、データは届いているので再送する必要はない。そのため、ウィンドウサイズがある程度以上の大きさがある場合には少しぐらい確認応答が失われても再送処理は行わず、次のACKパケットでデータの到着が確認される。例えば、ウィンドウサイズが10で通信している端末は10のうち1以上のACKが返ってくれば、ウィンドウサイズを少し大きくして、さらに、そのまま通信を続けることができる。しかし、ウィンドウサイズが1で通信している端末は、その1つのACKが返ってこなければデータは再送となり、ウィンドウサイズを増加させることができず、なかなかウィンドウサイズが大きな値にならない。その結果タイムアウトが起こるとウィンドウサイズが最小値に設定される。単純に述べると、前者は、後者に比べて10倍有利に通信をすることができる。このように同じACKのロスでもウィンドウサイズによって影響が異なる。すなわちウィンドウサイズが大きい端末は、ACKロスの影響をほとんど受けることなく、ウィンドウを増加させ、スループットを高くすることができるが、ウィンドウサイズが小さい端末はいつまでもデータの送信ができず、スループットをあげることができない（図4参照）。

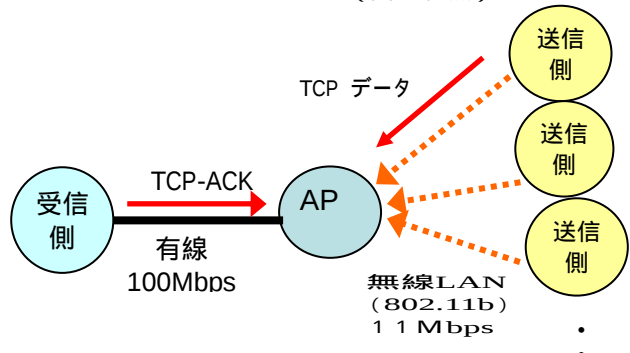


図2 既存研究におけるTCPフローの不公平
Fig.2 Unfairness of TCP flow in existing study

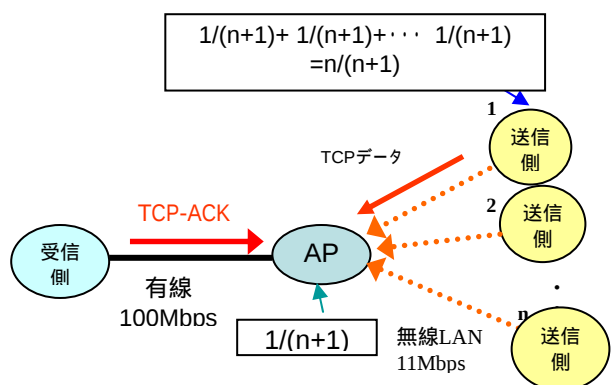


図3 MAC層の制御による不公平
Fig.3 Unfairness caused by MAC layer control

ここで、既存研究について紹介する。図2のように、複数の無線端末から有線の端末にデータを送信する環境において実験を行う。図5にシミュレーション環境における結果のスループットを示した。このとき、不公平が起こって

いることがわかる。また、実機環境において、CardBusタイプの無線LANを用いて同様の実験環境において実験を行った結果は図5と同様の傾向となり、実機の環境においても不公平が示されている[4]。

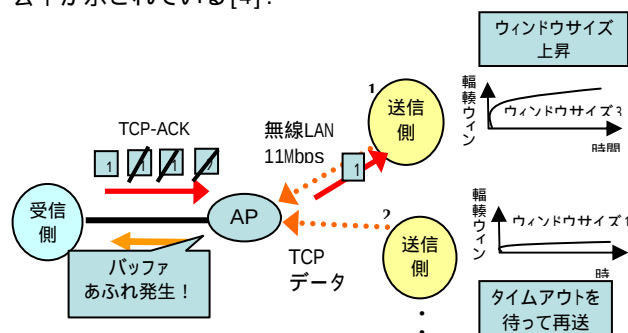


図4 トランスポート層の制御による不公平

Fig.4 Unfairness caused by transport layer control

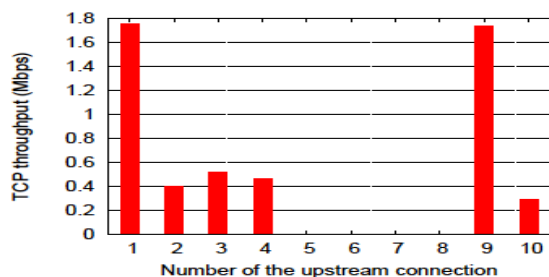


図5 シミュレーション環境におけるスループット不公平性

Fig.5 Throughput in simulation environment

2.3 APのバッファにおけるTCP-ACKのあふれの測定

ここで、本実験環境における無線LAN APのバッファサイズを求めた。本実験環境で使用する機器と同様に、無線LAN APとして、BUFFALO WZR-AMPG300NH [5]を、無線LANクライアントとして、BUFFALO WL13-TX1-G54 [6]をIEEE802.11g [7]でを使用した。1台の有線端末から番号を付加したUDP (User Datagram Protocol) パケットをAPを経由して、無線端末に送り出す[8]。これを受信した無線端末において、受信回数と送信端末で付加された番号を比較する。受信回数と番号が一致していれば、パケットがロスすることなく通信が行われているといえる。しかし、番号が飛んでいる場合、その間のパケットはロスしていると考えられる。このようなネットワーク構成の場合、パケットロスの原因は有線側のAPのバッファあふれであるといえる。APのバッファサイズの測定を10回行った。その結果基にAPのバッファサイズを推察したところ、約300パケットとなり、シミュレーションで用いられる値とほぼ同じ程度の結果となった。このことから本実験環境においてもシミュレーション同様APのバッファにおけるTCP-ACKのあふれによる不公平が起これらと推測される。

3. 無線環境におけるTCPフローの公平性の評価

TCP-AVの無線LAN環境における振舞を確実なものにするために、TCPの公平性について調べる。シミュレーション環境

およびCardBusタイプの無線子機においてはTCPフロー間でスループットの不公平が起これることが示されている[2] [4]。そこで、本実験環境においても不公平が起これるかどうか検証した。

3.1 無線LAN環境におけるTCPフローの公平性

3.1.1 実験概要

本実験環境においては、無線LANクライアントとしてイーサネットコンバータタイプを用いる。これを用いることにより、端末に特別なドライバなどをインストールすることなく無線LAN環境を構築できる。従って、TCP-AVを無線LAN環境において使用する際、端末の実装を変更する必要がないため便利である。しかし、イーサネットコンバータタイプ無線LANを用いた環境において、不公平が起これるかどうか明らかではない。スループットの測定にIperf [9]を用いて、120秒間測定を行った。これを10回行い、平均を取った。パラメータは片道遅延2.5ミリ秒とした。このとき送信端末の台数を2~6台とした。実験環境を図6に示す。ただし、この図は送信端末が5台の場合を示している。端末のOSの組み合わせを様々に変えて実験を行った。また、図中の楕円はイーサネットコンバータタイプ無線LANを表している。

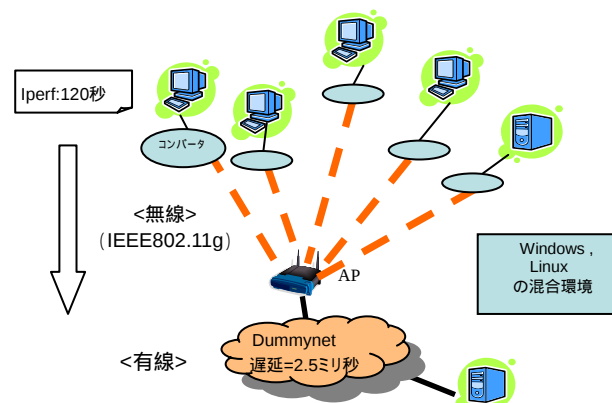


図6 公平性の検証のための実験環境

Fig.6 Experimental environment for examination of fairness

3.1.2 実験結果

図7~図11に結果のグラフの1つをそれぞれ示した。縦軸はスループットを示している。横軸に1~10回の結果を折れ線グラフを用いて示した。それぞれの回には、端末ごとのその回のスループットを点で示している。これを見ると、2台~4台の場合はほぼ公平であり、5台~6台の場合は不公平が観測された。他の組み合わせにおける実験もほぼ同様の傾向であった。不公平になった際の様子を具体的に述べると、5台の時、2台目のWindowsの端末と5台目のLinux2.6の端末のスループットが低い不公平が見られた。6台の時、5台目のLinux2.6の端末が10回を通してスループットが低く、3台目のWindowsの端末及び6台目のLinux2.6の端末は実験の途中からスループットが低くなった。無線LAN環境において、通常はMAC層の制御などにより、公平になると考えられる。しかし、APのバッファあふれとMAC層における送信権制御、および、トランスポート層における輻輳ウィンドウ制御が合わさった原因から不公平が観測されたと考えられる。

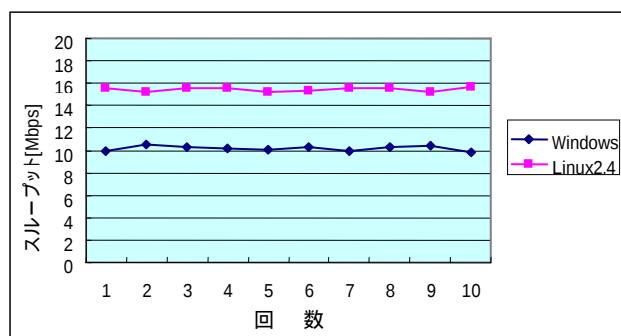


図7 10回の測定の結果(2台)

Fig.7 Result of ten times measurement (Two nodes)

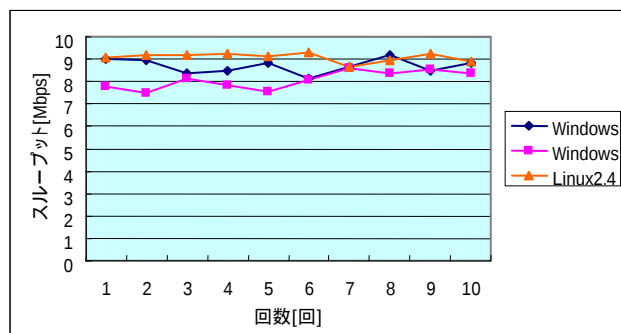


図8 10回の測定の結果(3台)

Fig.8 Result of ten times measurement (Three nodes)

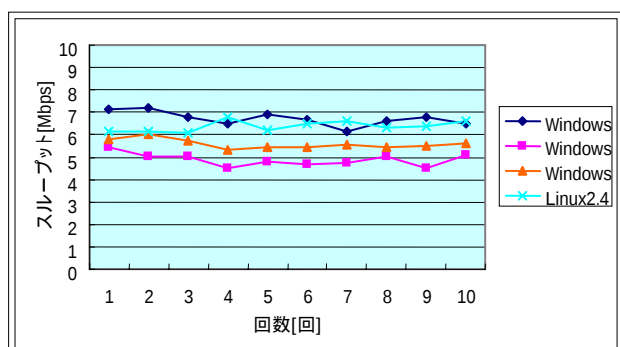


図9 10回の測定の結果(4台)

Fig.9 Result of ten times measurement (Four nodes)

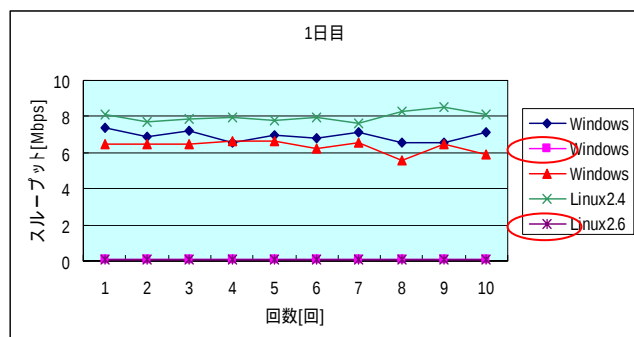


図10 10回の測定の結果(5台)

Fig.10 Result of ten times measurement (Five nodes)

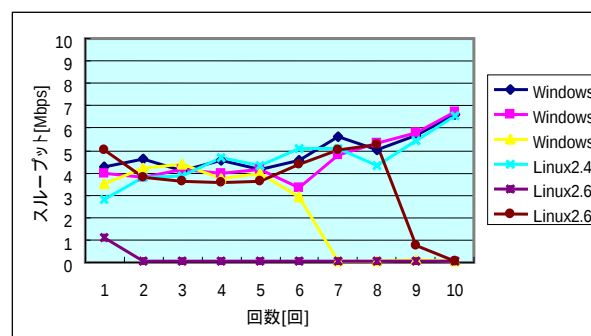


図11 10回の測定の結果(6台)

Fig.11 Result of ten times measurement (Six nodes)

3.2 不公平の傾向

シミュレーション環境における結果では、毎回異なる端末が不公平になるといわれているが、本実験では一度の測定中はほぼ同じ端末が連続して不公平になった。ただし、本実験では実験の前に端末及び無線LANクライアントなどの機器に故障がないことを確かめている。また、無線LANクライアントの配置はほぼ等間隔としているため、電波の強度はほぼ一定と考えられる。さらに、端末のスペックによるスループットの差は、図7のように多少あると考えられるが、本実験で定義する不公平のように極端なものではない。これらのことからスループットが極端に低い端末は性能的に劣っているわけではないといえる。従って、イーサネットコンバータタイプ独特の制御の問題など、実機特有の不公平が本実験環境では起こっている可能性が考えられる。そこで、このような実験を繰り返し行った場合、不公平にある一定の傾向が見られるのか、または、シミュレーション環境同様、異なる端末が不公平になるようなランダムな不公平が見られるのか検証を行う。実験環境は図6と同様である。端末の台数ははじめに不公平が見られた5台とした。この実験をさらに10回ずつ日を変えて行った。結果は、図12に2日目の10回分を、図13に3日目の10回分を示した。また、1日目の結果は先ほどの結果(図10)とする。

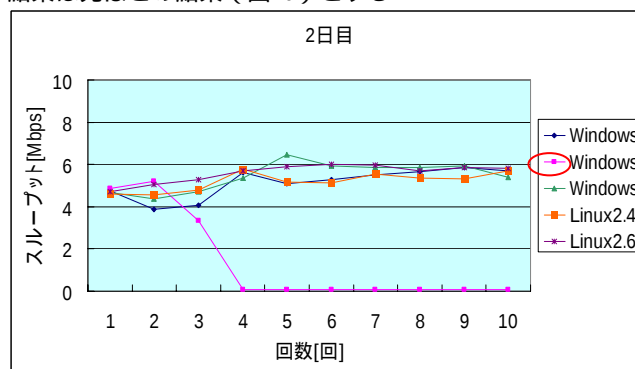


図12 10回の測定の結果2(5台)

Fig.12 Result of ten times measurement 2 (Five nodes)

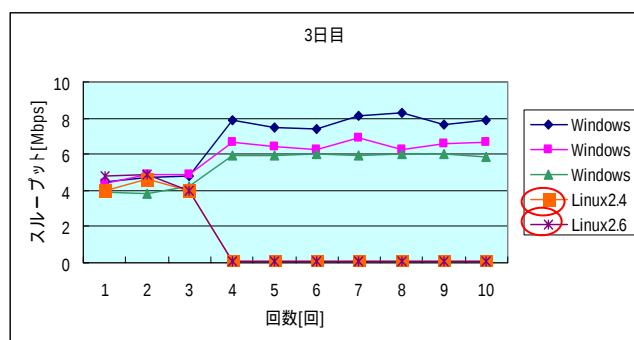


図13 10回の測定の結果3(5台)

Fig.13 Result of ten times measurement 3 (Five nodes)

これらと図10を見てみると、図10では、2台目のWindowsの端末と5台目のLinux2.6の端末が、図12では、2台目のWindowsの端末が、図13では、4台目のLinux2.4の端末と5台目のLinux2.6の端末が、不公平になっていることがわかる。さらに様々な組み合わせで実験を行った結果、一度不公平になった端末が連続して不公平になることがわかったが、それ以外には多少偏りがあっても特に傾向がないようである。このことから、OSや無線LANクライアントの位置、組み合わせなどによる差が多少みられても実験を重ねていくと不公平になる端末が変わっており、これはシミュレーションの傾向に近づいていると考えられる。つまり、実機を用いた環境においてもシミュレーション同様理論的に不公平になっていると考えられる。また、イーサネットコンバータタイプの無線LANを使うと、端末がどのようなOSを使用するかによる影響が小さいということもわかった。

3.3 不公平の原因の検証

実機における不公平がシミュレーションに近いという傾向がみられたため、ACKロスがイーサネットコンバータタイプ無線LANを用いる環境において不公平を招くことを示す実験を行った。まずは、図6と同様の環境においてUDPを使用する実験を行う。UDPはACKを使用しないため、このような環境において公平であった場合、不公平にACKが関係していると考えられる。端末の台数を2~5台と変えてスループットの測定を行なった。結果はほぼ公平となった。このことから不公平の原因にACKが関係していると思われる。さらに、APのパッファあふれによるACKのロスが本実験環境における不公平の原因の1つであることを示すために、本実験環境の逆向き、すなわち、通常のデータ配信などに用いるAP側から無線LAN端末方向へのデータ送信環境において評価を行った。この環境の場合、ACKの向きが遅いリンクから速いリンクとなるため、無線から有線の向きにおけるAPのパッファあふれが起こりにくい。スループットの測定を行った結果、ほぼ公平となった。これは、MAC層のCSMA/CAの送信権の平等性から公平となったと考えられる。APにおけるACKのあふれが考えられない環境においては公平となるため、ACKのロスが不公平の原因の1つであると考えられる。

4. TCP-AV の評価

4.1 実験概要

TCP-AVはストリーミング通信の品質向上を目指して提案された。目標帯域を確保するための制御を行っている。既存

のTCPの輻輳制御方式を拡張し、パケットのバーストロス耐性を向上する再送制御方式を採用している。具体的には、再生クライアントの受信パッファを枯渇させない輻輳ウィンドウ制御、一時的な輻輳発生時の通信速度減少を抑える再送制御などである。ここで、本実験で用いる言葉を定義する。EB (Effective Bandwidth), fair-shareを定義する。EBは最大の帯域幅のことである。本研究ではIEEE802.11g無線LANを使用するため最大帯域幅は54Mbpsとなる。しかし、これは理論値であるため実際の帯域幅を測定する必要がある。この実際の最大帯域幅をEBとする。実際に実験環境においてフロー1本あたりのスループットを測定すると最大で約25Mbpsとなったため、この値を本研究のEBとする。fair-shareとはEBを送信端末の台数(5台)で割った値であり、実効的に使える最大帯域を全送信端末で均等に分けたときの1台あたりの帯域幅であるとする。さらに、評価基準として、NRT (Normalized Required Throughput), AVR (Achievement Ratio)を定義する。NRTは指定した帯域がEBの何割にあたるかとする。つまり理論値ではなく実際の帯域の正味何割を指定したかを表す。AVRは、指定した帯域を確保できた時間帯が全実行時間のうちのどのくらいあるかという比率を示す。今回の実験では120秒の測定を5秒ごとに分割した。ただし、投入順序による差が見られる最初の5秒間は除き、全部で23区間とする。23区間のうち何区間目標帯域を達成できていたかをカウントして、10回測定した平均を取った。無線LAN環境におけるTCP-AVの性能を評価するための実験環境を図14に示す。ここで、端末番号1のフローはTCP-AVのフローとするが、送信端末のTCPの実装は変更しない。その代わりTCP中継器(TCP-Proxy)を端末とイーサネットコンバータの間に設置し、TCPをTCP-AVに載せかえる。その他のフローは既存のTCP-Renoを用いて通信を行う。その他の条件は図7と同様である。TCP-AVの積極的な帯域確保制御により、fair-share (NRTの20%: 5Mbps)以上の帯域を確保できることが期待される。

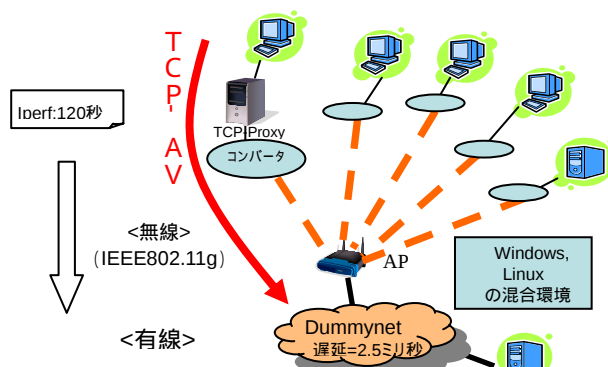


図14 無線LAN環境におけるTCP-AVの評価

Fig.14 Evaluation of TCP-AV in the wireless LAN environment

4.2 実験結果に関する考察

結果を図15に示す。設定帯域をfair-share程度とした場合、つまりNRTが20%程度まではAVRは100%である。これはつまり全実行時間、設定した帯域で通信可能であったということである。fair-shareを超えて設定帯域をfair-shareの125%とすると、AVRは70%となる。このとき、目標帯域以上で通信できていた時間は全実行時間のうち7割ということ

とになる。さらに設定帯域をfair-shareの200%以上とするとAVRは1割以下となった。これらにより、不安定な無線LAN環境においてもTCP-AVを用いれば不公平な端末に陥らずに、要求帯域の品質保証が可能であることがわかった。また、端末台数がこれより少ない場合および6台の場合も同様の傾向であった。

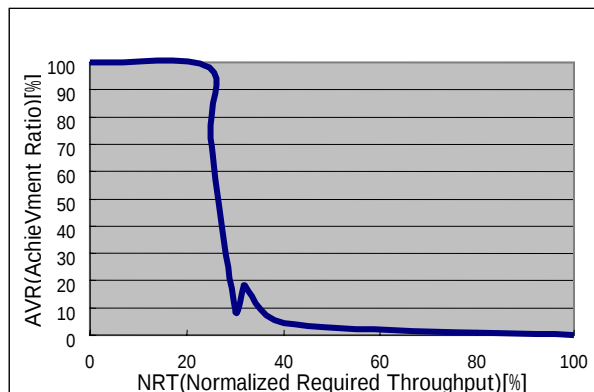


図15 AVRによるTCP-AVの評価結果

Fig.15 Evaluation result of TCP-AV with AVR

5. まとめと今後の課題

5.1 まとめ

本研究では、無線環境におけるQoS実現のために実機を用いて実験を行った。1点目は、無線LAN環境におけるスループットの公平性の検証である。はじめに、APのバッファサイズの検証を行い、本実験環境においても不公平が起こりうることを示した。その上で、イーサネットコンバータタイプ無線LAN(802.11g)を用いた際の不公平を示した。その際にシミュレーションとは異なり、同じ端末が連続して不公平になるという傾向が見られた。しかし、端末の組み合わせを変えて実験を行い、不公平になりやすい端末があるか検証した結果、特に偏った傾向がみられなかったためシミュレーション同様確率的に不公平が起こると考えられる。さらに、UDPフローを流す実験及び本実験環境とは逆向きであるAPにおけるACK破棄が起こりにくい環境で実験を行うことで、シミュレーション同様APのバッファあふれによるTCP-ACKの破棄が不公平の原因のひとつとなりえることを示した。2点目として、有線環境においてQoS保証を可能にしたTCP-AVを、無線環境においてAVRという新たな基準を用いて評価を行った。その結果、TCP-AVはfair-shareを超えた帯域(今回の実験では、実効帯域の30%以上の帯域)を確保することができた。これより、TCP-AVは、実機環境でも、目標帯域に近い通信を長時間行うことができ、不安定な無線環境においても要求された帯域のQoSを確保することができたといえる。

5.2 今後の課題

不公平性の問題に関しては、イーサネットコンバータタイプ無線LANの挙動の詳しい分析を、電波の受信具合やWindows端末の無線LANドライバによる制御なども考慮にいて考えたい。また、さらに台数を増やした場合の公平性の変化なども検証したい。QoS保証に関しては、実際にストリーミングを流してTCP-AVの有用性を視覚的に確認したい。また、他のQoSプロトコルを使用した際の挙動、TCP-AVを他の無線子機を使用したときの振舞や高遅延や高負荷をはじめ

めとする様々な無線環境におけるTCP-AVの評価をしていきたい。これらのことからTCP-AVの改良などを含め、無線環境におけるより良い品質保証の提案を進めていきたい。

【謝辞】

本研究にTCP-AVプロトコルの提供と適切なアドバイスを頂いたNECシステムプラットフォーム研究所の藤田範人氏と浜崇之氏に感謝致します。

【文献】

- [1] H.Shimonishi, et al., "Congestion Control Enhancements for Streaming Media," IEICE Trans. on Comn., Vol.E89 B, No.9, pp.2280-2291, September 2006.
- [2] D.Leith, et al., "Using the 802.11e EDCF to Achieve TCP Upload Fairness over WLAN ling," IEEE WiOpt 2005, April 2005.
- [3] S.Pilosof, R.Ramjee, Y.Shavitt, P.Sinha, "Understanding TCP fairness over Wireless LAN" INFOCOM 2003, April 2003.
- [4] Anthony C.H. NG, David Malone, Douglas J.Leith, "Experimental Evaluation of TCP Performance and Fairness in an 802.11e Testbed," ACM SIGCOMM 2005, pp.17-22, August 2005.
- [5] BUFFALO wireless LAN BB router AirStation NFINITI GIGA 300Mbps 11n conformity (WZR-AMPG300NH): <http://buffalo.jp/products/catalog/network/wzr-ampg30nh/>
- [6] BUFFALO 2.4GH 54Mbps wireless LAN Ethernet conversion media converter (WLI3-TX1-G54): <http://buffalo.jp/products/catalog/item/w/wli3-tx1-g54/>
- [7] IEEE802.11 wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specification, 1999.
- [8] Perl program of inspect the size of buffer: <http://x68000.q-ed.net/~68user/net/udp-2.html>
- [9] Iperf: <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>

新井 絵美 Emi ARAI

2009年お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科博士前期課程修了, 理学修士。2007年同大学理学部情報科学科卒業。無線LANの研究に従事。現在は野村総合研究所に勤務。

平野 由美 Yumi HIRANO

NECシステムプラットフォーム研究所研究員。理学修士。2004年NEC入社。無線LANにおけるQoS制御、省電力制御、TCPを考慮した帯域制御の研究に従事。IEEE、電子情報通信学会、各正会員。

村瀬 勉 Tutomu MURASE

NECシステムプラットフォーム研究所主任研究員。2004年大阪大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。博士(情報科学)。QoS制御、オーバーレイネットワーク、無線LANに関する研究に従事。IEEE、電子情報通信学会各正会員。

小口 正人 Masato OGUCHI

お茶の水女子大学人間文化創成科学研究科教授。1995年東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程修了, 工学博士。ネットワークコンピューティング・ミドルウェアに関する研究に従事。IEEE, ACM, 日本データベース学会, 情報処理学会, 電子情報通信学会各正会員。