

無線 LAN 環境における帯域公平性の検討と QoS 保証 TCP の実環境における性能評価

新井 絵美 (指導教員:小口 正人)

1 はじめに

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. これを実現する TCP-AV[1] という帯域確保 TCP がこれまでに提案, 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, 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 [2], その結果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, この不公平に関し実機を用いて実験および考察を行う. さらに, 無線環境において TCP-AV を用いた際の性能を評価する. これらの問題点を改善することによって, より良い QoS 制御につながると考えられる.

2 実験システム

無線 LAN 環境における QoS 実現に必要な要素技術の評価するための実験環境を図 1 に示す. 本実験環境は, 通常データ配信などは逆向きで各端末からデータを送信することが特徴である. 図のように, 5 台の送信端末と 1 台の受信端末を用いた. OS として WindowsXP と LinuxOS を, 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 (BUFFALO WLI3-TX1-G54 802.11g) を用いた. 送信端末からアクセスポイント (BUFFALO WZR-AMPG300NH), Dummynet (遅延装置) を経由して受信端末にデータを送信する. Dummynet では遅延時間を 2.5 ミリ秒とした.

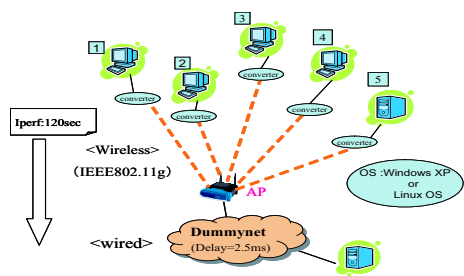


図 1: 実験環境の概要

3 無線 LAN 環境における帯域公平性の検討

3.1 評価概要

本実験では Iperf を用いて, 120 秒間のスループット測定を 10 回行う. 5 台の送信端末のスループットを比較し, 不公平が観測されるか調べる.

ここで, 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について説明する. 本研究にお

ける不公平とは, 同じ条件で通信しているにも関わらず端末間でスループットが著しく異なることである. これはつまり上記の様な環境でデータを送信する際, 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 (fair-share) よりも高いスループットが出るという様に極端にスループットの違いが現れる状態である. 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 2 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.

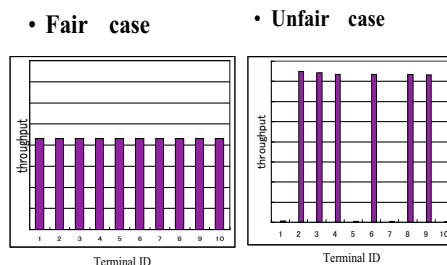


図 2: 公平と不公平の定義

3.2 実験結果

5 台の送信端末の組み合わせを様々に変えて実験を行った. 図 3 はその結果の一つである. 10 回の測定, すべてにおいて不公平が観測された. 他の実験結果もほぼ同様の傾向であった. 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, アクセスポイント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.

一方, シミュレーション環境における結果においては, 毎回違う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同じ端末が不公平になった. しかし, 端末の組み合わせや無線 LAN クライアントの配置などを変えて実験を行ったため, 端末のスペックや電波の強度などの環境が要因でないと考えられる. なぜなら, 無線 LAN クライアントはアクセスポイントからほぼ等距離となるように配置したため, 電波の強度が原因ではないと考えられる. また, 端末の OS による多少のスループットの違いは見られるが, 上記のような極端な違いではない. これらのことから, イーサネットコンバータタイプ独特の制御の問題などにより, 本実験環境では実機特有の不公平が起こると考えられる.

ここで, イーサネットコンバータタイプ無線 LAN において, TCP の ACK ロスが不公平を招いていることを示す実験を紹介する. まずは, 図 1 と同様の環境におい

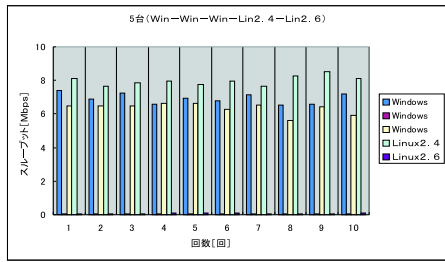


図 3: 公平性の検証

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、アクセスポイントのバ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、通常データ配信などに用いる環境を想定する。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 のバッファあふれが考えにくい。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。アクセスポイントにおける 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 QoS-TCP (TCP-AV) の性能評価

4.1 評価概要

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、再送クライアントの受信バ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である。

ここで本実験のために、EB (Effective Bandwidth), fair-share を定義する。EB は実際の最大の帯域幅のことであり、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 NRT を送信端末の台数で割った値であり、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。

図 1 と同様の環境において、無線 LAN 環境における TCP-AV の AVR を調べる実験を行う。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。その代わりに 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。その他の端末のフローは既存の TCP-Reno を用いて通信を行う。

評価指標として、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

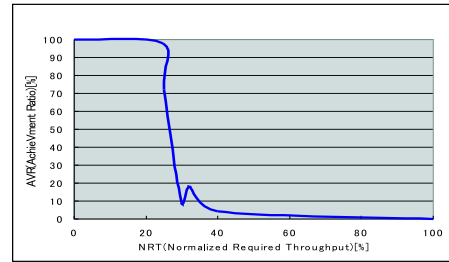


図 4: AVR による TCP-AV の評価

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。

4.2 AVR による評価

前節で不公平が示された環境において、TCP-AV の振舞いを検証した。結果を図 4 に示した。本実験における fair-share は NRT の 20% である 5Mbps である。横軸は NRT を、縦軸は AVR を表している。TCP-AV の積極的な帯域確保制御により、fair-share を超えた帯域であっても指定した帯域をある程度確保することができた。これにより、不安定な無線 LAN 環境においても TCP-AV を用いれば端末が不公平に陥らずに、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。

5 まとめと今後の課題

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。無線 LAN 環境における公平性の検証として、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すことができた。また、QoS 保証 TCP である TCP-AV の性能評価を行い、不安定な無線 LAN 環境においても要求された帯域の QoS を確保できることを示した。

今後は、シミュレーションにおける結果との比較や実際にストリーミングデータを流した際の検証など、本環境とは異なる環境での TCP-AV の評価を行いたい。

参考文献

- [1] H. Shimonishi, et al., "Congestion Control Enhancements for Streaming Media," IEICE Transaction on Comm., Vol. E89-B, No. 9, pp. 2280-2291 Sep. 2006.
- [2] Anthony C.H. NG, David Malone, Douglas J. Leith: "Experimental Evaluation of TCP Performance and Fairness in an 802.11e Test-bed," ACM SIGCOMM 2005, pp. 17-22 Aug. 2005
- [3] 新井絵美, 平野由美, 村瀬勉, 小口正人: 無線 LAN 環境におけるトランスポート層プロトコルの相違による帯域公平性の検討, DICOMO2008, pp. 304-316, Jul. 2008