

# マルチメディア通信実現のための帯域確保 TCP を利用した QoS 制御方式の検討

理学専攻 情報科学コース 安藤 玲未

## 1 はじめに

近年、無線 LAN の普及、及びマルチメディア通信の需要の増加により、無線 LAN 環境における QoS(Quality of Service) 制御が大変重要になっている。無線 LAN 環境における QoS 制御については、様々な手法により、様々な環境において評価されており、本研究においても、固定環境、及びハンドオーバを伴う移動環境においてトランスポート層による QoS 制御を検討してきた。一方で、モバイルルータ (以下、アクセスポイント: AP) の急速な普及により、AP とモバイル端末 (以下、WLAN システム) が同時に動く環境 (以下、モバイル環境) を多く想定する必要がある。従来、AP は固定して使用されてきたが、AP 自体が任意に動くことにより、WLAN システム同士が干渉するため、モバイル環境での性能に関する特性評価を行い、QoS 制御を検討することは必須である。

本研究では、まず、モバイル環境において、干渉下での TCP/UDP や QoS-TCP についての特性評価を行う。更に、TCP において、ユーザ間に不公平が生じる問題、及び、不公平を解消する提案手法について総体的に評価を行い、提案手法により、本研究の実験環境では Fairness Index の値が最大で 0.1 改善されることを示す。

## 2 関連研究

干渉による性能劣化に対する解決策に関する研究は、マルチホップネットワークやハンドオーバを伴う無線 LAN 環境において既に行われているが、このような電波を感知して制御を行う提案手法は、固定の AP に対して効果的である。

WLAN システム同士が動く環境での評価については、MAC レベルでのシステムのキャパシティについて、シミュレーション結果が示されている。しかし、キャパシティの変動が上位レイヤプロトコルに与える影響については述べられていない。そこで、我々は実機にて評価を行い、モバイル環境下での無線 LAN の特性評価を行う。

## 3 モバイル環境における無線 LAN 特性

### 3.1 実験環境

実験環境を図 1 に示す。図 1 における、WLAN-1 と WLAN-2 は独立した WLAN システムで、それぞれの WLAN システムは 1 台の  $AP_i$  ( $i$  は WLAN システム番号)、 $AP_i$  と接続する送信端末群  $N_i$ 、 $AP_i$  と有線接続する 1 台の受信端末で構成されている。点線は、キャリアセンスドメインのイメージを示す。各無線端末は AP を介して受信端末に向けて TCP 通信を行う。無線 LAN は IEEE 802.11g を用いている。

WLAN システム間の距離がルータ間距離に応じて、互いに干渉を与えない程度に十分離れている状態を状態 1、他の無線 LAN システムと干渉し、互いのスループットに影響を及ぼす距離にある状態を状態 2、各無線 LAN シス

テムが完全に 1 つの CSMA/CA ドメインとなる程度に近距離にある状態を状態 3 とする。以上の状態 1, 2, 3 は、それぞれの WLAN システムの合計スループット及び MAC エラー率により決定する。

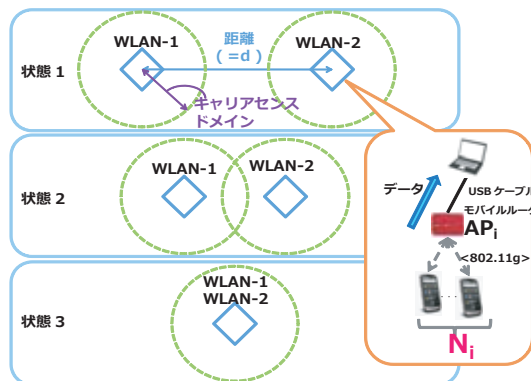


図 1: 実験環境

### 3.2 モバイル環境における CSMA/CA の振舞

無線 LAN の MAC 層は、CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) という仕組みで動いている。無線 LAN は衝突を検出できないため、各端末は通信経路が一定時間以上継続して空いていることを確認してからデータを送信する。

WLAN システム間距離の変化による 3 状態の CSMA/CA の振舞は図 2 と予想される。これらを、次節により検証する。

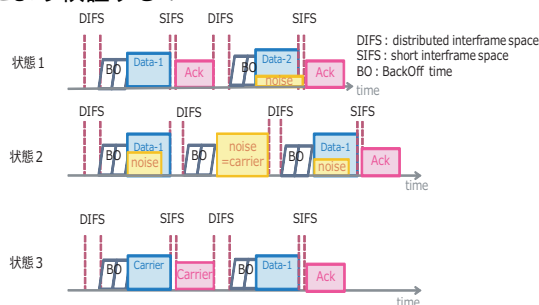


図 2: 3 状態における CSMA/CA の振舞

### 3.3 スループット評価

この 3 状態について、図 1 に示した実験環境のもと、以下の 3 つのモデルでスループット特性を評価した結果を図 3 に示す。図 3 は、それぞれのフロー 1 本あたりのスループットの測定結果である。

- model A:  $N_1=N_2=5$ , において、TCP 通信
- model B:  $N_1=2, N_2=8$ , において、TCP 通信
- model C:  $N_1=2, N_2=8$ , において、UDP 通信

本実験において、パケット解析も併せて行ったところ、モバイル環境において、状態 1, 2, 3 を確認することができた。また、model B, model C の結果より、WLAN システム間に接続端末数の偏りがある時は、WLAN 間で不公平が生じることが明らかになった。次章より、この不

公平の度合い、及び提案手法による改善度合いを総合的に評価し、本研究の提案手法により、WLAN システム間の Fairness Index の値が上昇することを示す。

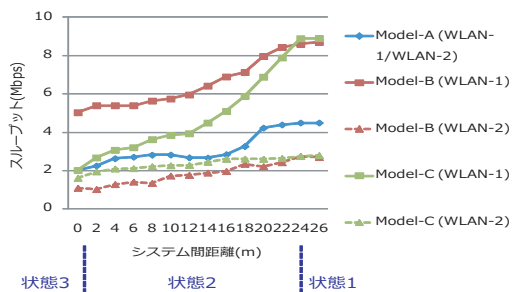


図 3: 3 状態のスループット特性

## 4 モバイル環境下における不公平

### 4.1 不公平

本稿における「不公平」について述べる。ここで、本研究では、1 人のユーザが 1 つの AP を使用することを想定している。各 AP に接続している送信端末数に偏りがある時、システムごと、つまりユーザ間のトータルスループットに不公平が起こる。例えば、 $N_1=2$ 、 $N_2=8$  の送信端末が接続している際、各 WLAN システムのトータルスループットは、状態 1 の時、それぞれ 11g の実効スループットである 20Mbps 程度だが、状態 3 になると、WLAN-1、WLAN-2 のシステムのトータルスループットの合計が 20Mbps となる。CSMA/CA の仕組みで考えると、システム同士が最も近づいた状態である状態 3 では、10 台全てが等しい送信権を持つことになるため、WLAN-1 は 2 台から 10 台へのスループット変化、WLAN-2 は 8 台から 10 台へのスループット変化となる。しかし、TCP においては、TCP-ACK が AP にたまることで、端末数の多い方が RTT が大きくなるため、端末数の少ない方がトータルスループットが高くなる。このように、ユーザ間でスループットの高低がある状態を不公平とよぶ。

公平性を測る指標として、Jain の Fairness Index を用いる。FI の値 ( $fi$ ) は、以下のように定義される。

$$fi = \frac{(\sum_{i=1}^k x_i)^2}{k \sum_{i=1}^k x_i^2} \quad (1 \leq i \leq k)$$

ここで、 $k$  は考慮している WLAN システムの個数、 $x_i$  は各 WLAN システムのトータルスループットを表す。 $fi$  の値は 0.0 から 1.0 の間で、 $fi=1.0$  の時、全ての WLAN システムは同じトータルスループットであることを示す。

### 4.2 不公平の度合い

端末の偏りと不公平度合いとの関係を検証するため、全端末数 (10 台) を、 $N_1/N_2=2/8$ 、 $3/7$ 、 $4/6$ 、 $5/5$  と偏り具合を変化させた。

その結果、偏りがあればあるほど、端末数の少ない方がトータルスループットが大きく、ユーザ間で不公平があるという結果が得られた。結果を図 4 に示す。

## 5 不公平の改善策

この不公平を改善するため、それぞれのシステムがお互いの合計端末数を知っているという仮定のもと、端末数の多い方に、1 台、TCP の代わりに強い TCP (今回は TCP-AV) を入れる。この手法により、不公平が緩和される。以下、詳細を述べる。

### 5.1 TCP と QoS-TCP

TCP-AV[1] は、TCP-Reno をもとに改良された QoS-TCP の 1 つであり、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仕組みになっている。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よう TCP を変更している。

無線 LAN における TCP スループットは、帯域を分け合う端末数、輻輳制御の振舞、AP のバッファにおける TCP-ACK のロス、バッテリー節約のための NIC や OS の振舞など、多くの要素によって決まる。TCP は、ACK 待ち、タイムアウトやバックオフ状態、NIC や OS がスリープモードになると TCP-ACK が返ってくるまでデータ送信を待機しなければならない。

もし  $N_p$  台の端末が以上の理由によりデータを送信できない場合は、 $N$  台の送信端末が持っているチャンネルのトータルスループットを  $N = \sum_{i=1}^n N_i - N_p (1 \leq i \leq n)$  台の送信端末で分け合うことになる。一方で、TCP-AV はこのような状況でも、データを送信し続けることができる。

以上の理由から、TCP-AV は TCP よりも多くの送信機会を得ることができ、スループットを確保することができる。なお、今回は TCP-AV を用いたが、TCP-AV のように強い TCP を用いれば、同様の効果が得られると考えられる。

### 5.2 改善策の評価

改善策を用いると、図 5 に示すように、接続端末数に偏りがある時は  $fi$  が上昇していることが分かる。特に、不公平度合いが一番大きかった  $N_1/N_2=2/8$  台の時、0.88 から 0.98 に上昇している。この際、TCP 2 台の代わりに TCP-AV を 2 台入れても、 $fi=0.99$  となり、TCP-AV は 1 台でも 2 台でも効果にあまり差がない。しかし、TCP-AV を 2 台使用すると、個人のシステム内での  $fi$  が低下するため、1 台で十分であると考えられる。

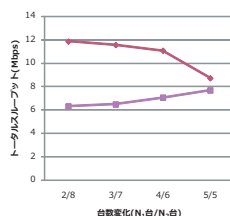


図 4: スループットの偏り

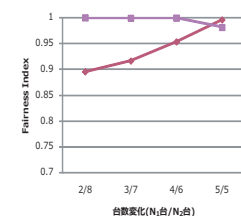


図 5: Fairness Index

## 6 おわりに

モバイル環境にて、ユーザ間の接続端末数に偏りがある際、TCP 通信では、トータルスループットの点で不公平が起こる。この不公平の解消について、トータルスループットの小さい方に強い TCP (今回は TCP-AV) を 1 台入れることで、システム間の Fairness Index の値が向上することを示した。

謝辞 本研究は一部、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を支えるネットワーク仮想化基盤技術の研究開発・課題ウ 新世代ネットワークアプリケーションの研究開発」によるものである。

### 参考文献

- [1] H.Shimonishi, et al., "Congestion Control Enhancements for Streaming Media," IEICE Transactions on Communications, Vol.E89B, No.9, pp.2280-2291, Sep.2006.