

# モバイルルータ近接時の無線LAN特性評価とユーザ間公平性の制御方法の提案

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<sup>‡</sup>NEC

## 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、様々な環境において評価されてきたが、モバイルルータの急速な普及により、モバイルルータとモバイル端末(以下、WLANシステム)が同時に移動する環境(以下、モバイル環境)についても想定する必要がある。従来、アクセスポイント(AP)は固定して使用されてきたが、AP自体が任意に移動することにより、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うことは必須である。

本研究では、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ってきた。本稿では、TCPにおいて、ユーザ間に不公平が生じる問題、及び、この解決策について、総体的に評価を行い、接続端末数の多いWLANシステムに1台、強いTCPを入れるとFairness Indexの値が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は、シミュレーションにて示されている。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の特性評価を行ってきた[1]。

[1]では、モバイル環境において、ルータ間距離に応じて、状態1:互いに干渉を与えない、状態2:他のWLANシステムと干渉し、互いのスループットに影響を及ぼす、状態3:各WLANシステムが完全に1つのCSMA/CAドメインとなる、という3つの状態モデルがあることを

明らかにし、各状態のフローレベルでのスループット特性について検証を行った。また、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を示した。本稿では、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体的に評価し、本研究の提案手法により、WLANシステム間のFairness Indexの値が最大で0.1上昇することを示す。

## 3. モバイル環境下における不公平

実験環境は図1に示すように、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台のモバイルルータ $AP_i$ ( $i$ はシステム番号)、 $AP_i$ 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。モバイル環境下において、各WLANシステムの接続端末数に偏りがある場合、ユーザ間で不公平が起こることが既に分かっているが、以下、これについて詳細に評価を行う。

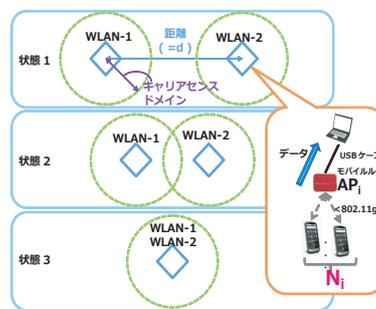


図1: 実験環境

### 3.1 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。各モバイルルータ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、WLAN-1のシステムには2台、WLAN-2のシステムには8台の送信端末が接続している際、各無線LANシステムのトータルスループットは、状態1の時、それぞれが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、それぞれ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

Evaluation of characteristics of WLAN and method of flow control with user fairness when the mobile router come close together

<sup>†</sup> Remi Ando, Masato Oguchi

<sup>‡</sup> Tutomu Murase

Ochanomizu University (<sup>†</sup>)

NEC Corporation(<sup>‡</sup>)

2台から10台のスループット変化, WLAN-2は8台から10台のスループット変化となる. しかし, TCPにおいては, TCP-ACKがルータにたまることで, 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いことが分かっている[1]. 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( $f_i$ )は, 以下のように定義される.

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

ここで,  $k$ は考慮している無線LANシステムの個数,  $x_i$ は各無線LANシステムのスループットを表す.  $f_i$ の値は0.0から1.0の間で,  $f_i=1.0$ の時, 全ての無線LAN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.

### 3.2 不公平の度合い

端末の偏りと不公平度合いとの関係を調査するため, 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. スループット結果及び $f_i$ の変化をそれぞれ図2, 図3に示す.

このように, 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, ユーザ間で不公平であることが分かる.

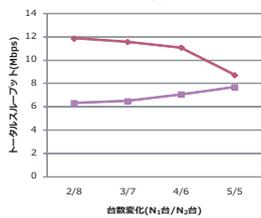


図2: スループットの偏り

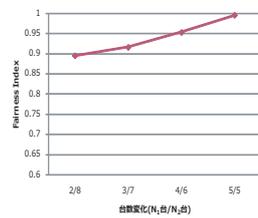


図3: Fairness Index

## 4. 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.

### 4.1 TCPとTCP-AV

TCP-AV[2]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, ルータ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TCPにおいて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, 高いスループットを得ることができる. 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.

### 4.2 改善策の評価

改善策では, 図4に示すように, 接続端末数に偏りがある時は $f_i$ 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 $N_1/N_2=2/8$ 台の時は, 0.88から0.98に上昇している. この際, TCP2台の代わりにTCP-AVを2台入れても,  $f_i=0.99$ 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 $f_i$ が低下するため, 1台で十分であると考えられる.

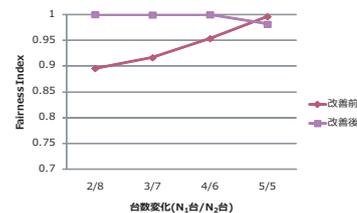


図4: Fairness Index

## 5. 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] 安藤玲未, 村瀬勉, 小口正人: モバイルルータ近接時の公平性のためのフロー制御方法の提案, 電子情報通信学会CQ研究会, CQ2011-55, pp.67-72, 2011年11月.
- [2] H. Shimonishi, et al., "Congestion Control Enhancements for Streaming Media," IEICE Transactions on Communications, Vol. E89B, No.9, pp.2280-2291, Sep.2006.