

無線環境および有線環境を考慮した公平性の評価指標に関する考察

松野 瑛南† 山口 実靖†† 神山 剛††† 小口 正人†
 †お茶の水女子大学 ††工学院大学 †††長崎大学

1 はじめに

近年、無線環境の高速化に伴い、スマートフォンなどの無線端末の使用台数が急増している。また、端末の高性能化により、大容量データ通信も気軽に通信可能になった。しかし、ネットワークトラフィック量が増加し、通信が集中すると輻輳が発生する。さらに、無線側、有線側それぞれボトルネックとなり輻輳が発生する事例も発生している。

先行研究 [1] では、輻輳回避するために ACK パケットの蓄積を回避する協調的制御手法が提案、実装された。本研究では、無線環境の高速化に伴い実験環境が変化したため、本実験環境下でも先行研究のツールが動作するか実験を行った。実験結果から、既存の公平性指標に問題が発生したため、改良版指標を提案し評価を行った。

2 先行研究

2.1 輻輳制御ミドルウェア

このミドルウェア [1] は、無線 LAN アクセスポイント (AP) における ACK パケットの蓄積を回避するために開発され、スマートフォン端末向けに提案、実装された。このミドルウェアは、Android 端末を連携し各端末の通信状況を把握することで、輻輳ウィンドウ (CWND) の上限値を設定する。これによって、合計通信速度と公平性の向上を可能にした。

しかし、無線環境の高速化などにより通信環境が変化している。一つ目は、端末がより高性能になったことにより、ヘテロな環境が発生した。二つ目は、無線側と有線側双方がボトルネックになり得る事例が発生した。本研究では、以下二つの環境変化に着目し、ミドルウェアの動作調査を行い、合計通信速度と公平性の二つの指標の向上を目指す。

3 実験

3.1 実験概要

本稿では、複数端末の同時通信を行い合計通信速度と公平性の観点から先行研究のミドルウェアが適切に機能するか評価を行う。公平性を評価する評価指標として、Jain の Fairness Index を使用した。次式で定義されており、 x は取得したスループット、 n は端末数である。

$$\frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n \sum_{i=1}^n x_i^2} (1 \leq i \leq n)$$

A Study of Fairness Index Considering Wireless and Wired Environments

†Ena Matsuno ††Saneyasu Yamaguchi †††Takeshi Kamiyama
 †Masato Oguchi
 †Ochanomizu University
 ††Kogakuin University
 †††Nagasaki University

3.2 実験環境

本稿では、AP とサーバ間の有線環境に転送速度 100Mbps のスイッチングハブを設置し、通信速度の異なる通信環境を構築した (図 1, 表 1)。Android 端末とサーバ間で iperf 通信を行った。本稿では、Pixel4 はスマートフォン 1, Pixel5 はスマートフォン 2, Nexus7 の二台のタブレット 1, 2 と記す。

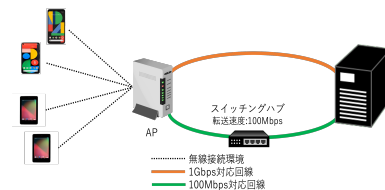


図 1: 実験環境

表 1: 実験機器の性能

Android	Model number	Pixel4	Pixel5	Nexus 7(2013)
	OS	Android 10	Android 11	Android6
	CPU	Snapdragon 855	Snapdragon 765G	Snapdragon S4 Pro
	Memory	6 GB	8 GB	2 GB
	WLAN	Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac	Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac	Wi-Fi 802.11 a/b/g/n
Server	OS	Ubuntu 20.04 LTS		
	CPU	Intel(R)Core(TM) i7-10400		
	Main Memory	32GB		
AP	Model	WSR-2533DHP2		
	Support Format	IEEE 802.11a/b/g/n/ac		
	Frequency Band	5 GHz		

4 基礎実験

本研究で用いる Android 端末の通信性能を測定した。図 2 に 100Mbps 環境での通信性能を、図 3 に 1Gbps 環境での通信性能を示した。スループット値がスマートフォン二台とタブレットで大幅な差があり、主な理由として無線規格、AndroidOS が異なるためと考えられる。

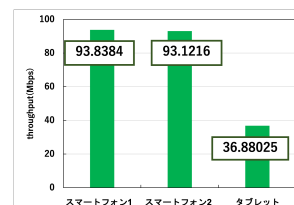


図 2: 有線環境 100Mbps

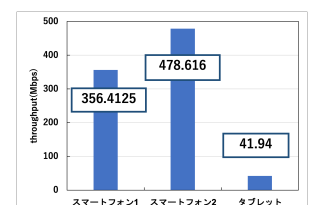


図 3: 有線環境 1Gbps

5 輻輳制御ミドルウェアの性能評価

端末四台での同時通信を実験した。また、合計通信速度と公平性を散布図で評価した。図 4,6 は 100Mbps, 図 5,7 は 1Gbps での実験結果を示す。実験結果から輻輳制御ミドルウェアの制御は、有線環境が 100Mbps で

は制御に効果があったが、1Gbpsでは制御されていないことが分かった。そこで評価に使用した指標それぞれを重視した場合でのチューニングを行う。

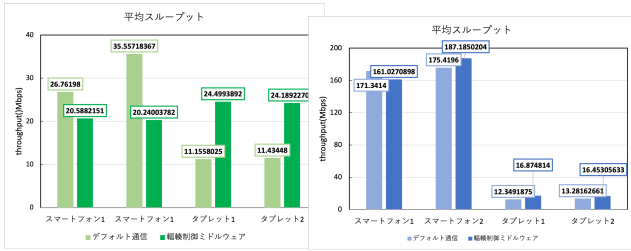


図 4: 100Mbps 通信速度

図 5: 1Gbps 通信速度

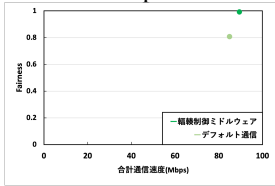


図 6: 100Mbps 合計通信速度と公平性の評価

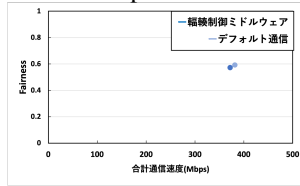


図 7: 1Gbps 合計通信速度と公平性の評価

6 改良版 Fairness Index の提案

6.1 各評価指標に基づいた実験

6.1.1 合計通信速度重視

合計通信速度を高めるために、通信性能の低いタブレット二台の CWND の値を三段階で変化させ実験を行った。図 8 では、青い点はデフォルト通信を行った結果、オレンジの点は先行研究のミドルウェアを用いた結果、緑の点は TCP チューニング変更を行った結果を示す。またマークによって、CWND の値 10, 50, 100 を区別する。結果として、CWND を低くするとスマートフォンの通信速度が速くなった。しかし、縦軸の公平性の値が低く、良い制御とはいえない。

6.1.2 公平性重視

公平性を向上させるために、通信性能の高いスマートフォン二台の CWND を下げ、チューニングを行った(図 9)。色によって、デフォルト通信、先行研究のミドルウェア、輻輳ウィンドウ変更を区別する。またマークによって、CWND の値 100, 500, 1000, 1500 を区別する。公平性を重視するためにスマートフォン二台の CWND を変更した。CWND を減少すると、緑の点は徐々に左上に移動し、公平性は向上した結果となった。しかし、合計通信速度が 300Mbps 以下と使用可能な帯域の半分未満になり、両指標を考慮する必要がある。

6.2 既存公平性指標の問題点

既存の公平性指標は、本実験環境で使用する場合に問題点が発生した。本研究では、様々な端末が混在する環境において、端末ごとに最適な通信速度を取得できること目標としている。前提として、各端末ごとに最大通信速度が異なる(図 3 参照)。そのため、本実験

環境で同時通信した場合に同等の通信速度にならないのは明白である。

以上のことから、混在環境において既存指標が適さないため、公平性指標を再定義し直す必要がある。そこで、本研究では性能差ある端末の混在環境においても適応する指標を提案する。

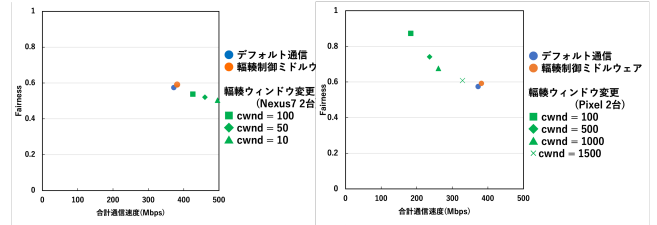


図 8: 有線環境 100Mbps

図 9: 有線環境 1Gbps

6.3 提案

前節から、本実験環境にも適応する改良版の公平性指標を提案する。この指標は、通信性能に重みをつけ各端末の比率から公平性を算出する。各端末の最大スループットの値は図 3 を使用した。この指標は既存の Fairness Index の式に取得したスループット値ではなく、取得したスループットを最大スループットの値で割った値を代入する。Max を各端末の最大スループット値とした場合、改良版指標は下記の式のようになる。

$$\frac{\left(\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{Max_i}\right)^2}{n \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{Max_i}} \quad (1 \leq i \leq n)$$

6.4 評価結果

図 10 の実験結果を用いて、改良版指標の評価を行った。図 10 は、合計通信速度と改良版指標による公平性の評価を行った。薄青色の点は既存指標、青い点は改良版指標を用いた結果を示す。この図から、改良版指標の値が高くなっていることから、適切に公平性を評価できたと考えることができる。

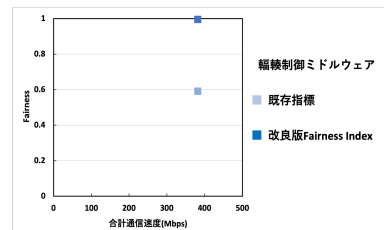


図 10: 改良版指標を用いた場合の評価結果

7 まとめと今後の予定

本稿では、複数台端末の同時通信を行い、実験結果から公平性の既存指標の問題点を発見した。解決するためにチューニングを行い、改良版指標を提案、評価を行った。

今後の課題は、改良版指標を基に合計通信速度と公平性を向上する制御を行っていきたい。

参考文献

[1] Ai Hayakawa, Saneyasu Yamaguchi, and Masato Oguchi. Reducing the TCP ACK Packet Backlog at the WLAN Access Point. Proc. ACM IMCOM2015, 5-4, January 2015.