

## 無線 LAN 環境における TCP フロー間の公平性改善手法の実験評価と評価指標の提案

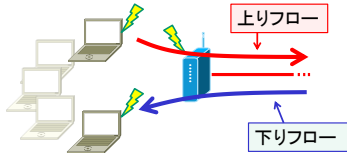
大阪大学 大学院情報科学研究科  
 ○ 橋本 匡史  
 長谷川 剛  
 村田 正幸

## 研究の背景

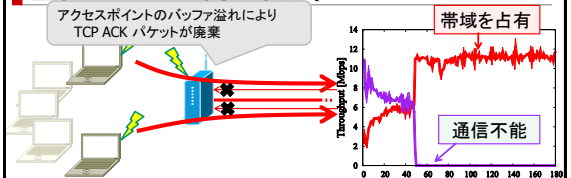
- IEEE 802.11 に基づく無線 LAN の普及
  - 公共の施設およびオフィスや家庭など
- 無線 LAN 環境の高速化
  - IEEE 802.11n では最大伝送速度が 600 Mbps
  - 利用されるアプリケーションの変化
    - 従来はメールや Web トラフィックなどの下り中心のトラフィック
    - P2P アプリケーションや VoIP などの上下トラフィックも増加
- 公共施設においてはインターネットアクセスサービスを提供する際には公平性が重要

## TCP フロー間の公平性

- 無線 LAN 環境において TCP フロー間に不公平が生じる場合がある
  - TCP の輻輳制御とアクセスポイントにおけるバッファ溢れが原因
    - 上りフロー間の不公平
    - 上下フロー間の不公平
- すべてが下りフローの場合は不公平は発生しない

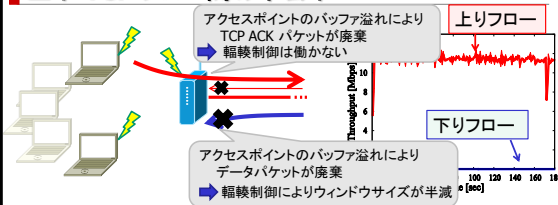


## 上り TCP フロー間の不公平



- ウィンドウサイズが小さいほど再送タイムアウトが発生しやすい
- 再送タイムアウトが発生したフローはウィンドウサイズの回復が困難
- 上りフロー間において不公平が発生

## 上下 TCP フロー間の不公平



- 下りフローのみ輻輳制御によってウィンドウサイズが低下
- 上下フロー間において不公平が発生

## 公平性の評価指標

- Jain の fairness index [12]

$$F_j = \frac{(\sum_{i=0}^n x_i)^2}{n \sum_{i=0}^n x_i^2}$$

- 各標本値が平均値からどれだけ離れているかを評価できる
  - 3人のユーザの獲得した帯域が以下の場合等はしい
    - 30 kbps, 40 kbps, 10 kbps
    - 30 Mbps, 40 Mbps, 10 Mbps
- 公平性と利用効率にトレードオフの関係がある場合に利用すると正しく評価できない

[12] D.-M. Chiu and R. Jain, "Analysis of the increase and decrease algorithms for congestion avoidance in computer networks," *Computer Networks and ISDN Systems*, vol. 17, pp. 1-14, 1989.

## 研究の目的

- 新しい公平性指標の提案
  - ボトルネックリンクの帯域利用効率を考慮した公平性指標
- 実無線 LAN 環境を利用した公平性改善手法 [11] の実験評価
  - 公平性の評価指標として提案指標を利用した評価

[11] M. Hashimoto, G. Hasegawa, and M. Murata, "Performance evaluation and improvement of hybrid TCP congestion control mechanisms in wireless LAN environment," in *Proceeding of ATNAC 2008*, pp. 367-372, Dec. 2008.

7

## 公平性指標の提案

- ネットワーク帯域の利用効率

- Fairness and efficiency index

$$F(X_n, C) = \frac{C^2}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - 2C \sum_{i=1}^n x_i + 2C^2} \left( \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{C} \right)^\alpha$$

$x_i$ : フロー  $i$  のスループット

$C$ : ボトルネックリンクのネットワーク帯域

$\alpha$ : ネットワーク帯域の利用効率の寄与度調節パラメータ

- 公平かつ利用率100%の時のスループット  $x_f = C/n$  を定義
  - ネットワーク帯域をフロー数で割った値
- 公平かつ利用率100%の時のスループットを基準にどれだけばらついているか

8

## 公平性指標の提案

- Fairness and efficiency index

$$F(X_n, C) = \frac{C^2}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - 2C \sum_{i=1}^n x_i + 2C^2} \left( \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{C} \right)^\alpha$$

- Jain の fairness index

$$F_j = \frac{1}{1 + COV^2}$$

- 提案指標

$$F(X_n, C) = \frac{1}{1 + g(X_n, C)^2}$$

変動係数

$$COV = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

■  $\bar{x}$ : 平均スループット

$$g(X_n, C) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_f)^2}$$

■  $x_f$ : 公平かつ利用率100%の時のスループット

9

## 公平性指標の提案

- Fairness and efficiency index

$$F(X_n, C) = \frac{C^2}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - 2C \sum_{i=1}^n x_i + 2C^2} \left( \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{C} \right)^\alpha$$

$x_i$ : フロー  $i$  のスループット

$C$ : ボトルネックリンクのネットワーク帯域

$\alpha$ : ネットワーク帯域の利用効率の寄与度調節パラメータ

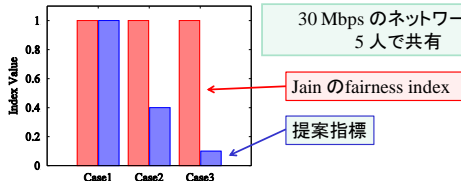
- ネットワーク帯域と合計スループットが等しい場合

$$F(X_n, \sum_{i=0}^n x_i) = \frac{(\sum_{i=0}^n x_i)^2}{n \sum_{i=0}^n x_i^2} = F_j \quad C = \sum_{i=0}^n x_i$$

- 提案指標と Jain の fairness index は等しくなる

10

## 公平性指標の比較の一例



- Case1: すべてのユーザが 6 Mbps ずつ獲得
- Case2: すべてのユーザが 3 Mbps ずつ獲得
- Case3: すべてのユーザが 1 Mbps ずつ獲得

11

## 公平性改善手法

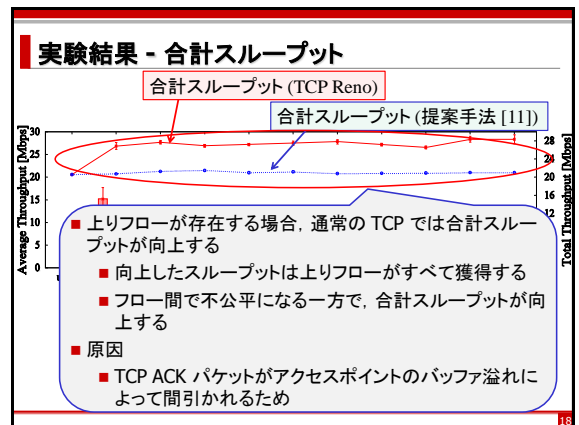
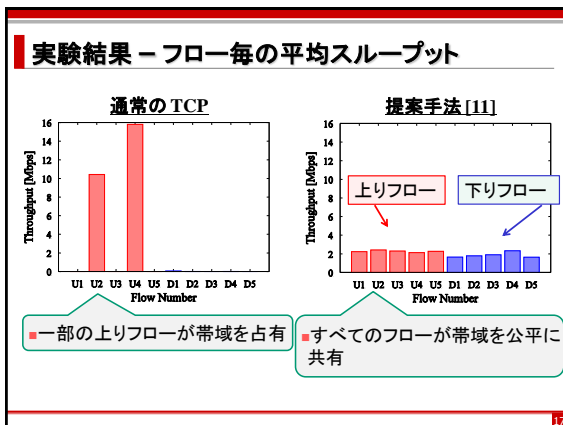
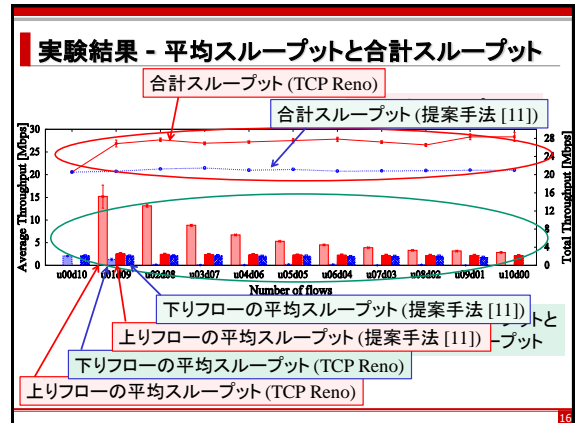
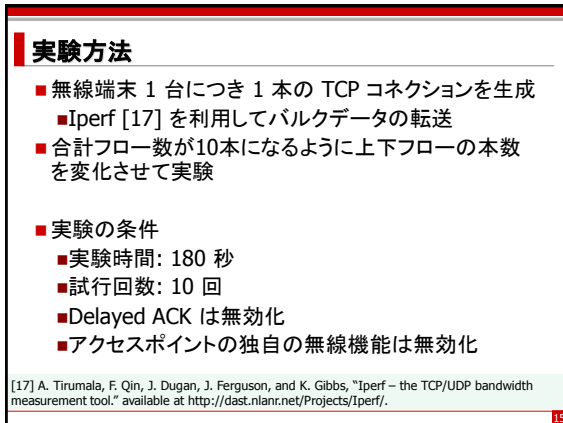
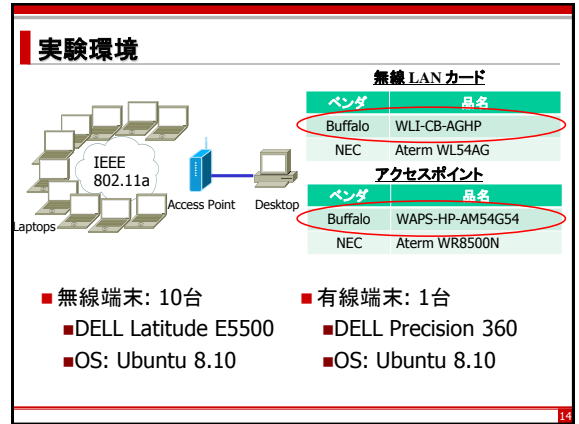
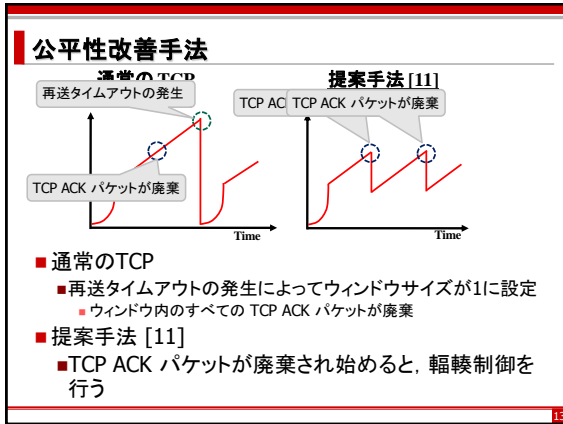
- TCP フロー間の公平性改善手法 [11]

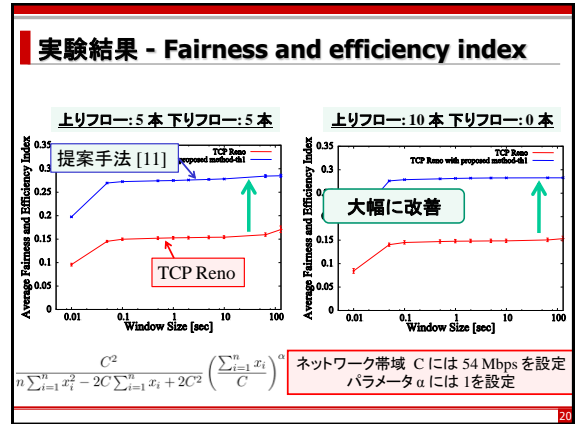
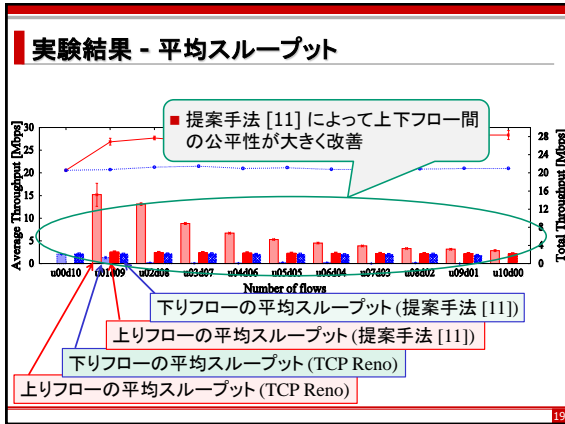
- トランスポートレイヤにおける改善手法
- アクセスポイントにおけるバッファ溢れによって、大量の TCP ACK パケットが廃棄される点に注目

- 概要

- TCP 送信側が受信した TCP ACK パケットのシーケンス番号を監視し、TCP ACK パケットの損失を検出
- 1 RTT 内に廃棄された TCP ACK パケット数が閾値を越えると、ウィンドウサイズを半減

12





### まとめと今後の課題

まとめ

- 新しい公平性指標の提案
  - ネットワーク帯域を考慮した指標
- 実無線 LAN 環境における TCP フロー間の公平性改善手法の実験評価
  - 上りフローが存在する場合には、通常の TCP は公平性を著しく損ねるかわりに、合計スループットが向上
  - 提案指標を利用した評価により、提案手法 [11] は大幅な改善効果がある

今後の課題

- 提案手法を利用した場合の合計スループットの改善