
複数リンクを経由する場合の 輻輳制御アルゴリズムの公平性分析

原田香子 上山憲昭
立命館大学 情報理工学部

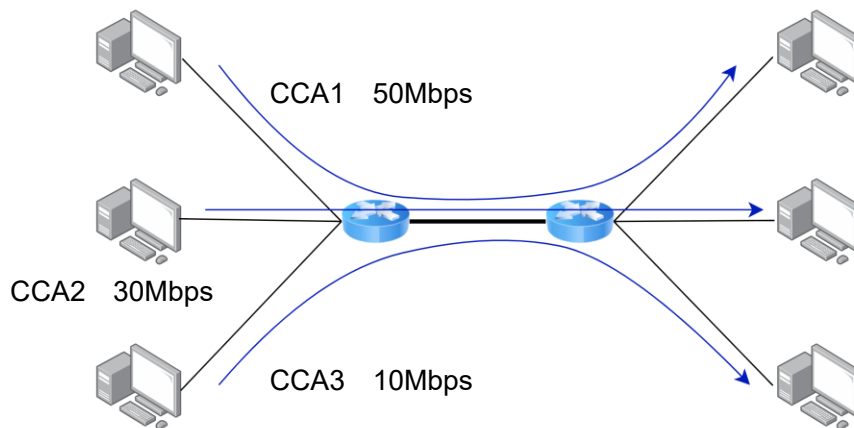
インターネットの輻輳制御

- 輻輳制御アルゴリズム (CCA: Congestion Control Algorithms)
 - ネットワーク混雑による遅延・損失を防ぐため送信レートを調整するアルゴリズム
- OS・アプリケーションは既定のCCAを利用
 - 例) Youtube, Google Drive: BBR
- ユーザや開発者が自由に選択可能
- ネットワーク上には様々なCCAが共存
 - 代表例: TCP Reno, TCP Cubic, BBRなど

輻輳制御アルゴリズムの問題

■ 問題

- 複数のフローが同一リンクを経由する際、そのリンクの伝送帯域を奪い合う
- 各フローにおいて、送信ホストは各々の輻輳制御アルゴリズムに従いパケットの送信レートを動的に調整
 - CCAの種類により帯域配分の不公平が生じる可能性
 - CCA間で帯域配分の公平性の実現が課題



既存研究と問題点

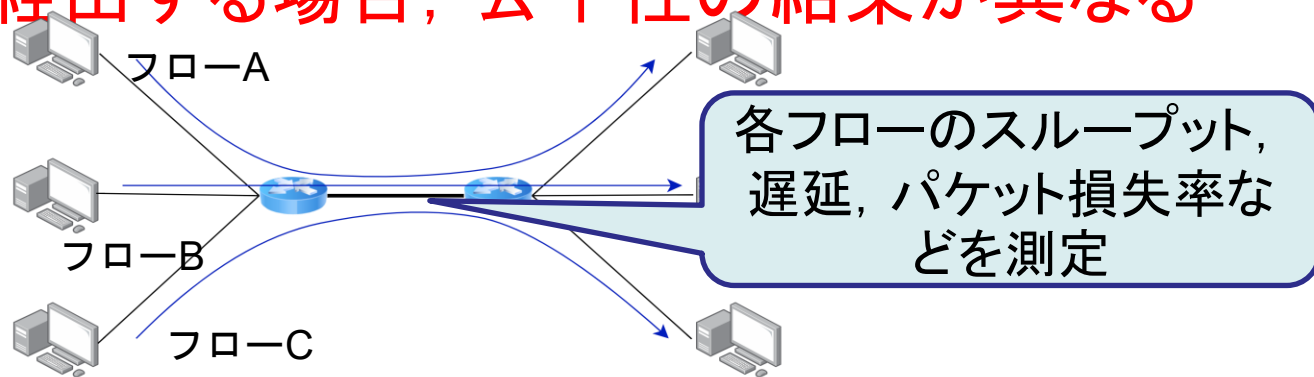
■ 主な知見

- BBRがスループットを約80%占有し, 他のCCAのスループットが著しく低下

■ 単一ボトルネックリンクを考慮した評価*1

- 実際のインターネットは**多数のリンク**を経由
- 経路の途中で競合相手が変化

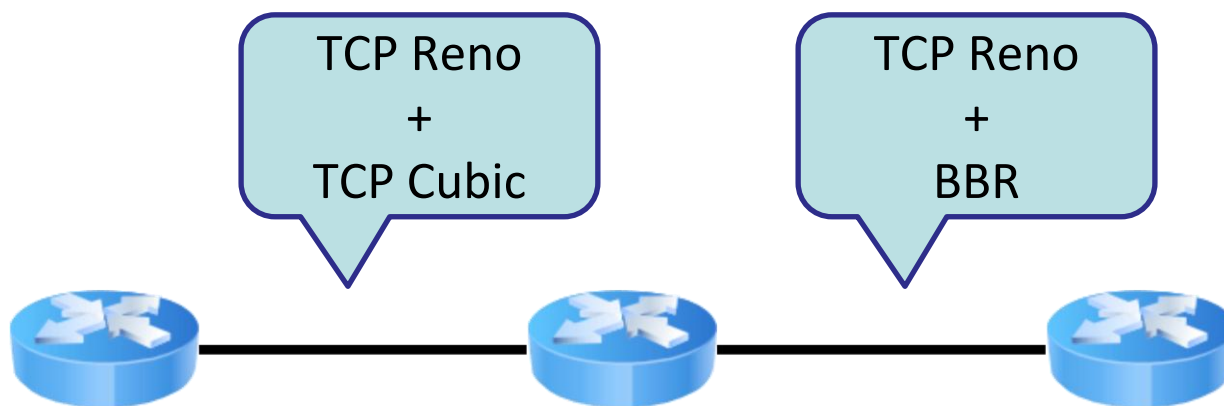
■ 複数リンクを経由する場合, 公平性の結果が異なる可能性あり



*1 A. Philip, et al., "Prudentia: Findings of an Internet Fairness Watchdog", ACM SIGCOMM 2024

本発表の目的

- 複数リンクを経由するフロー間のCCAの公平性が、単一リンクを経由する場合の評価結果と異なるかを分析
- リンクごとに異なるCCA多重パターンを想定
 - 経路リンクごとに異なるCCAフローと競合する状況を考慮

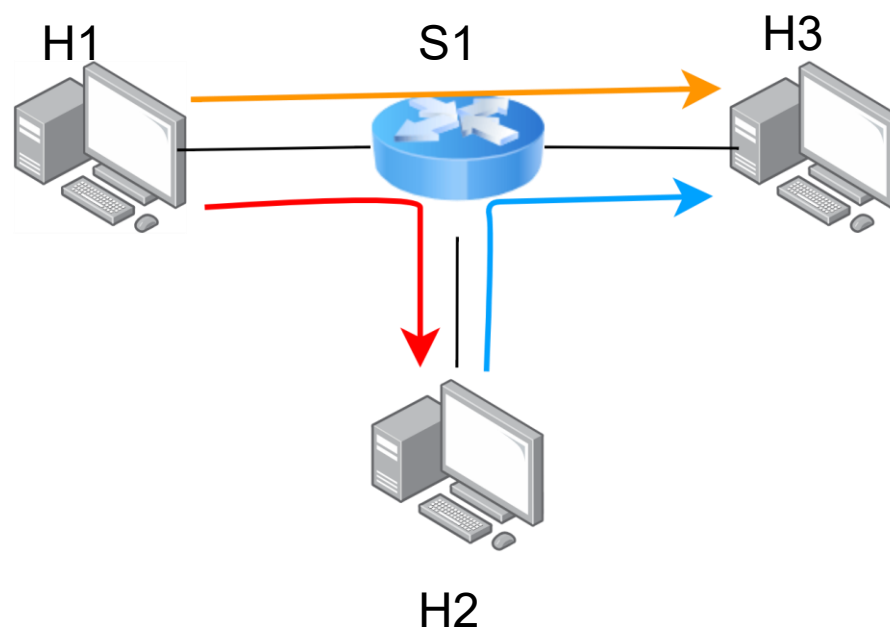


評価条件(1)

- ネットワークエミュレータMininetを用いて評価
- 異なるリンクを経由する複数のフローが同時にリンクを共有して競合

- 構成

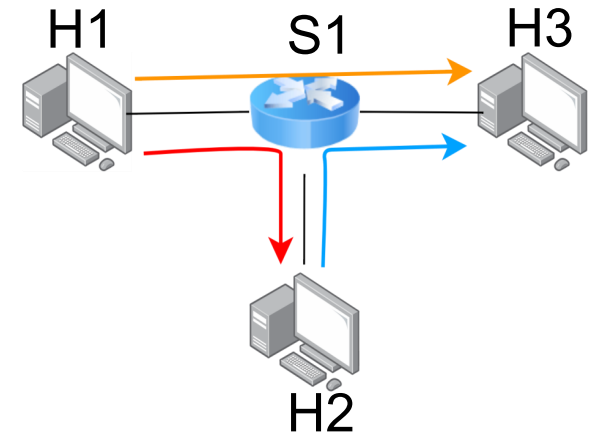
- 1スイッチ: S1
- 3ホスト: H1, H2, H3
- 3フロー:
 - H1→H2
 - H1→H3
 - H2→H3



評価条件(2)

- 使用したCCA

- TCP Reno
- TCP Cubic
- BBR



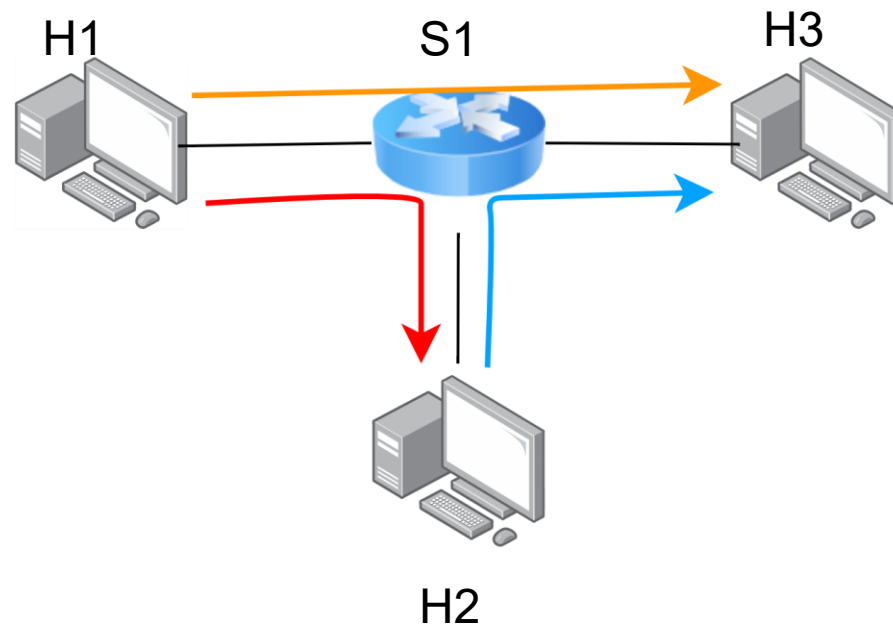
- H1を発ホストとするフロー(H1→H2, H1→H3)には同じCCAを適用

- CCAの組み合わせは9通り

- 3本のフローを同時に生成して30秒間のスループットを観測

想定していた結果

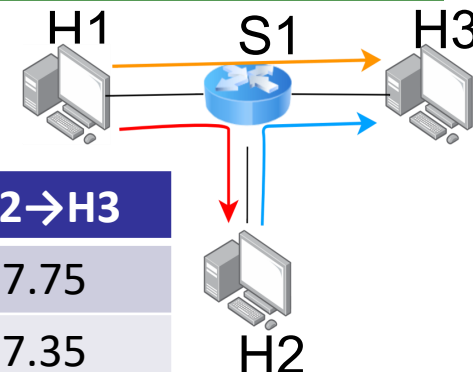
- BBR
 - 優位にスループットを取得
- TCP Cubic
 - 中間的なスループットを取得
- TCP Reno
 - 低スループットを取得



評価結果(1)

■ 各フローの平均スループット (Mbps)

H1のCCA	H2のCCA	H1→H2	H1→H3	H2→H3
Reno	Cubic	7.52	1.78	7.75
Reno	BBR	7.46	2.34	7.35
Cubic	Reno	7.74	2.04	7.71
Cubic	BBR	6.71	3.06	6.61
BBR	Reno	7.35	2.45	7.27
BBR	Cubic	6.64	3.12	6.55
Reno	Reno	8.09	1.50	8.19
Cubic	Cubic	7.24	2.30	7.20
BBR	BBR	6.35	3.15	6.40



- 他フローと比較して低スループット ↑
- H1にRenoが適用された場合, 低スループットの傾向
- H1にBBRが適用された場合, 高スループットの傾向

評価結果(2)

- H1→H2の平均スループット: 7.23Mbps
- H1→H3の平均スループット: 2～3Mbps程度
- H2→H3の平均スループット: 7.23Mbps
 - H1→H3の平均スループットが他のフローの1/3～1/2
⇒ 著しく小さい
- 既存研究*1で指摘されるようなBBRのアグレッシブ性は顕著でなかった
 - 原因) RTTの設定値が0.04～0.06msと非常に小さい
- 複数リンクを経由する場合のCCAの公平性は単一リンク経由の場合と異なることを確認

*1 A. Philip, et al., "Prudentia: Findings of an Internet Fairness Watchdog", ACM SIGCOMM 2024

まとめ

- 複数リンクを経由する場合CCAの公平性を評価
- 経由リンクごとに異なるCCAを多重
- エミュレーション評価結果
 - 複数リンクを経由するフローの平均スループットが著しく小さい
- 今後の課題
 - 複数リンク経由時のスループット低下要因を解明
 - RTTを様々に変えた評価分析