
複数リンク経路時の 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

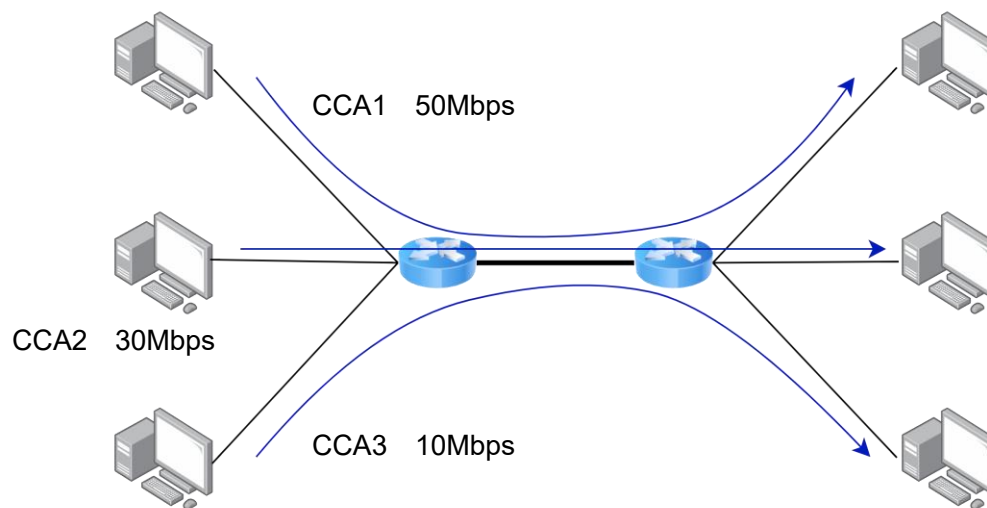
インターネットの輻輳制御

- 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

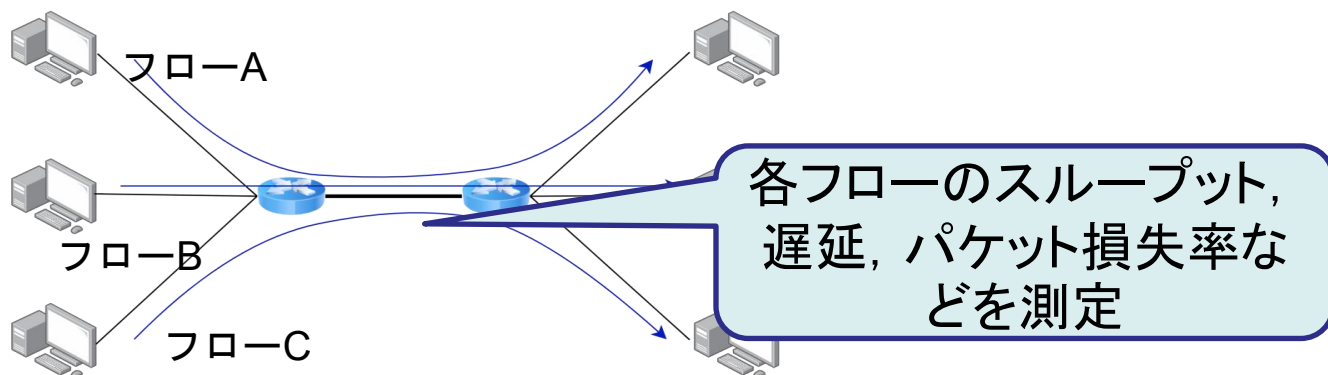
■ 主な知見

- 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

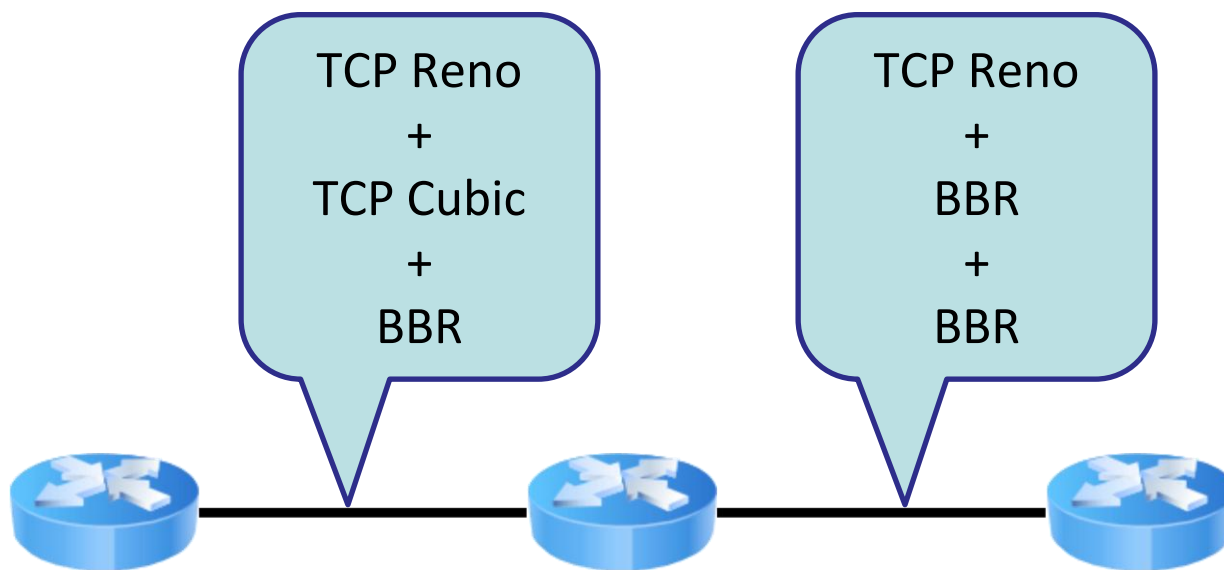
■ 複数リンクを経由する場合, 公平性の結果が異なる可能性あり



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

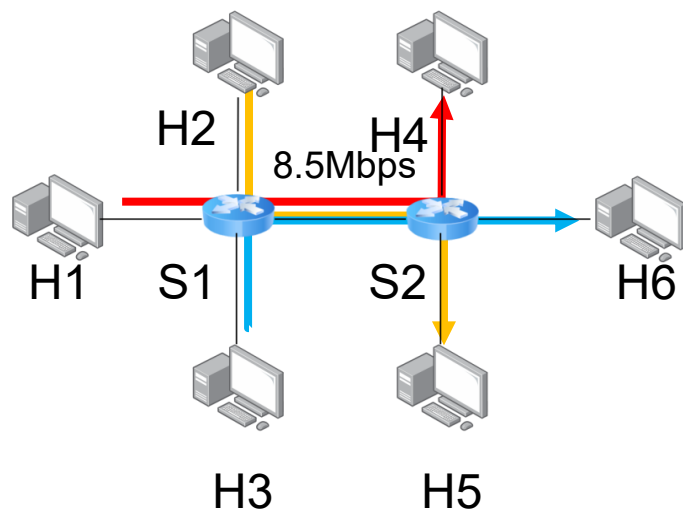
本発表の目的

- 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

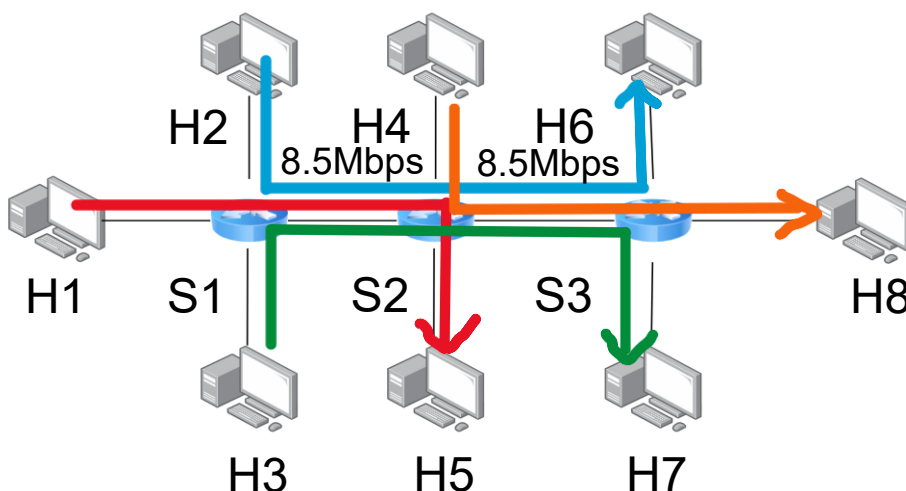


評価方法

- ネットワークエミュレータMininetを用いて評価
- 2つの異なるトポロジ
 - ダンベルトポロジ(評価1)
 - 複数リンク経由トポロジ(評価2)
 - 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



ダンベルトポロジ

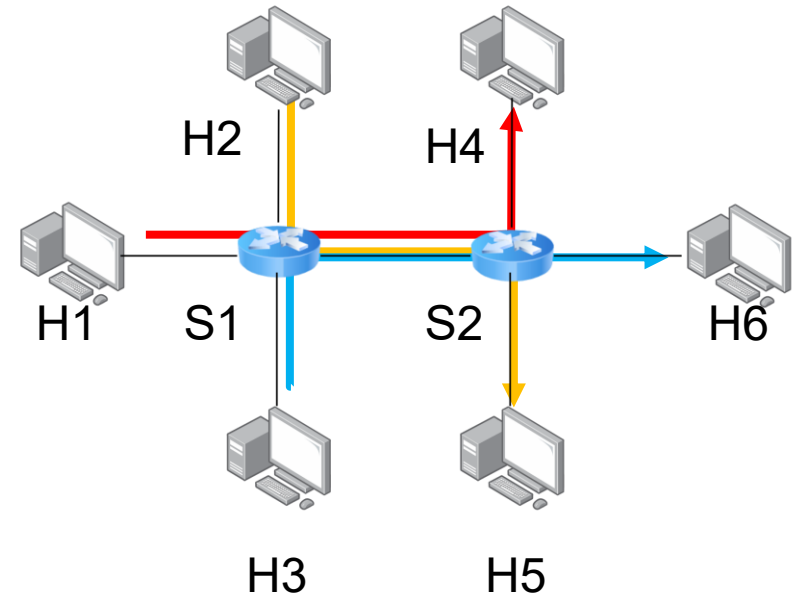


複数リンクを経由するトポロジ

評価条件(1)

■ 構成

- 2スイッチ: S1, S2
- 6ホスト: H1～H6
- 3フロー:
 - H1→H4
 - H2→H5
 - H2→H6



■ 使用したCCA

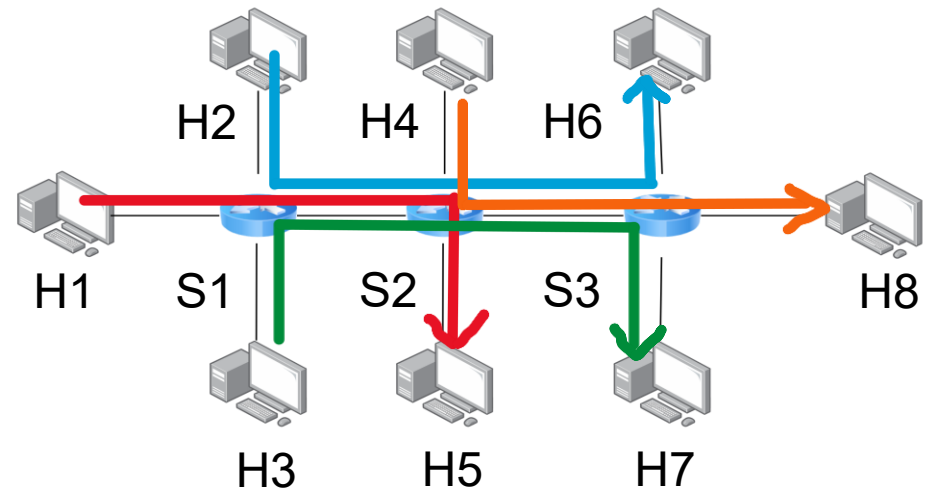
- TCP Reno, TCP Cubic, BBR

■ フロー3本を同時生成し, 30秒間スループットを観測

評価条件(2)

■ 構成

- 3スイッチ: S1～S3
- 8ホスト: H1～H8
- 4フロー:
 - H1→H5
 - H2→H6
 - H3→H7
 - H4→H8



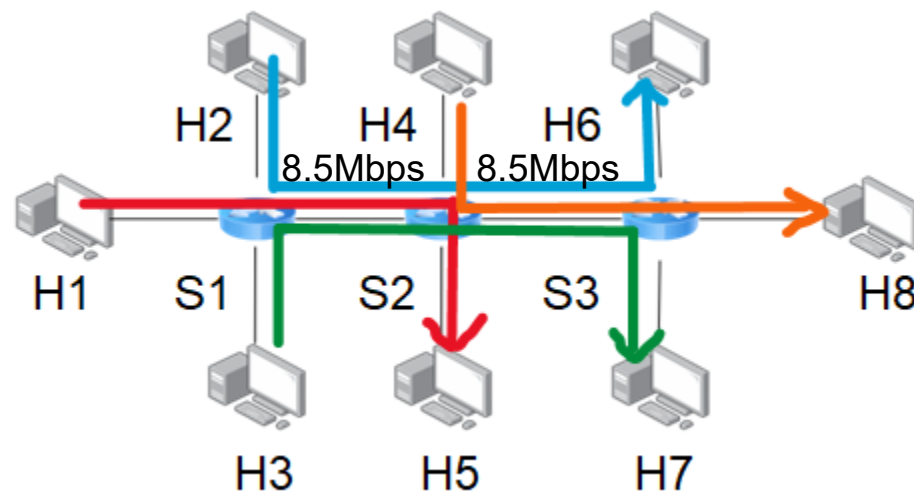
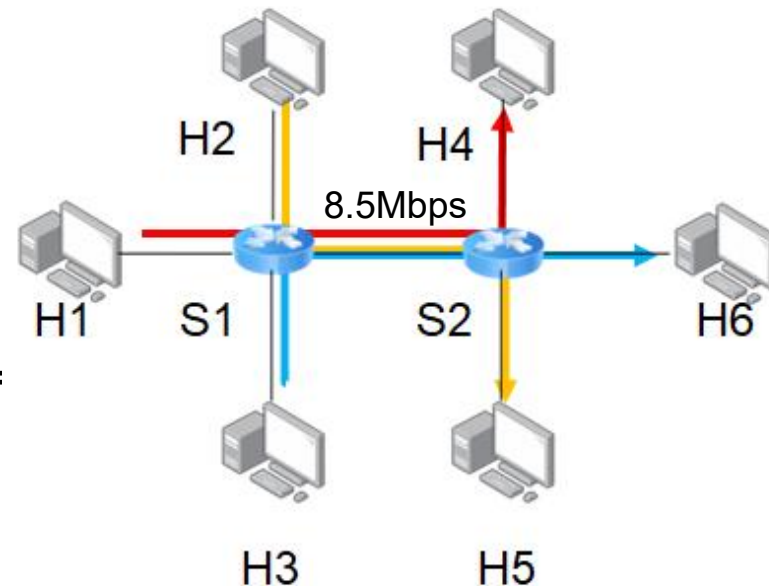
■ 使用したCCA

- TCP Reno, TCP Cubic, BBR

■ フロー4本を同時生成し, 30秒間スループットを観測

想定していた結果

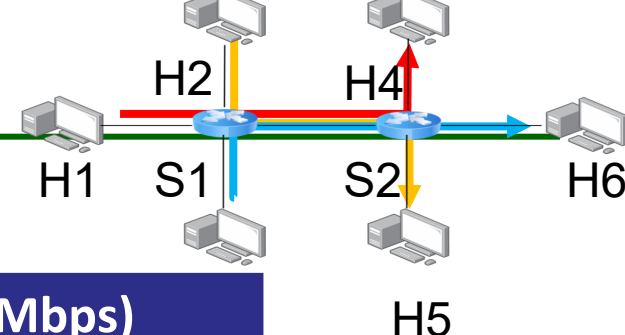
- BBR
 - 優位にスループットを取得
- TCP Cubic
 - 中間的なスループットを取得
- TCP Reno
 - 低スループットを取得



評価結果(1)

■ 各フローの平均スループット (Mbps)

CCA			スループット(Mbps)		
Reno vs Reno vs Reno			2.74		
Reno	Cubic		2.70	2.77	
Reno	BBR		2.74	2.65	
Cubic vs Cubic vs Cubic			2.66		
Cubic	Reno		2.68	2.68	
Cubic	BBR		2.77	2.70	
BBR vs BBR vs BBR			2.80		
BBR	Reno		2.71	2.86	
BBR	Cubic		2.71	2.82	
Reno	Cubic	BBR	2.75	2.76	2.62

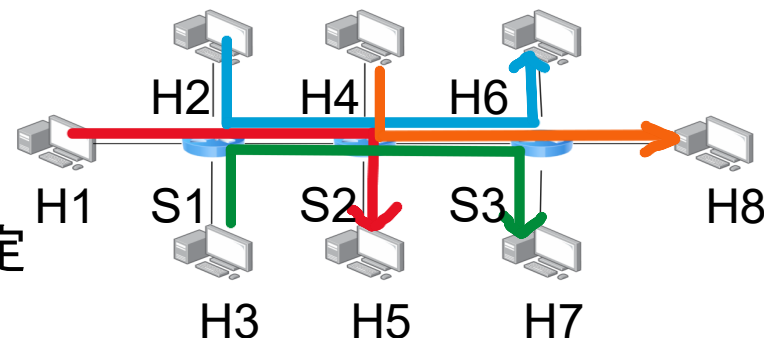


- 全体的に同程度の分配
- BBRに小さいスループット取得傾向

評価結果(2)

■ 各フローの平均スループット (Mbps)

H1のCCA	H2のCCA	H3のCCA	H4のCCA	H1→H5	H2→H6	H3→H7	H4→H8
Reno	Reno	Reno	Reno	1.37	1.34	1.40	1.39
Cubic	Cubic	Cubic	Cubic	1.15	1.17	1.19	1.21
BBR	BBR	BBR	BBR	1.20	1.62	1.62	1.22
Cubic	Cubic	BBR	Reno	3.31	3.19	1.93	3.31
BBR	BBR	Reno	Reno	0.98	1.31	3.40	3.40
Reno	Reno	BBR	Reno	2.22	2.15	1.11	2.20



■ 同じCCAの競合

- 各フローのスループットは比較的安定

■ 多Reno vs BBR:

- BBRのスループット著しく低下し, Renoのスループット向上

■ Reno vs Cubic vs BBR

- BBRのスループット低下。ネットワーク全体のスループット向上。

評価結果(3)

- ダンベルトポロジの場合
 - 比較的安定な帯域共有
 - BBRのスループットは最大0.1Mbps程度低下する傾向
- 複数リンク経由トポロジの場合
 - 同一CCAでは安定
 - BBRとRenoの不公平性
 - BBRのスループットが著しく低下する一方, Renoが多帯域を獲得
- 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0.1ms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
 - ダンベルトポロジでは比較的安定的な帯域配分
 - 複数リンク経由トポロジではフロー間の不公平性が発生
- 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0.1msと非常に小さい
- 今後の課題
 - RTTを様々に変えた評価分析
 - Iperf以外を用いた測定