

Osaka University Advanced Network Architecture Research Group <http://www.anarg.jp/>

べき則の性質を有するトポロジにおける輻輳伝播に関する一考察

大阪大学大学院情報科学研究科
平山 孝弘、荒川 伸一、村田 正幸

1

Osaka University

発表の概要

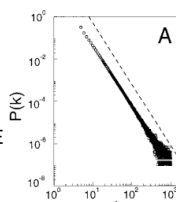
- 研究の背景
- 研究の目的
- 研究の方法
- まとめと今後の課題

2

Osaka University

研究の背景

- インターネットのトポロジは出線数分布がべき則に従う
 - ルータレベルトポロジ: ルータの接続関係
 - ASトポロジ: AS間の接続関係
- 出線数分布がべき則に従うトポロジ
 - べき則: 出線数が k であるノードの出現確率 $P(k)$ が $k^{-\gamma}$ に比例
 - 多数のノードの出線数は少ない
 - 出線数が多いノード(ハブノード)も存在
 - ハブノードが存在するため、平均最短ホップ数が小さい



3

Osaka University

べき則に従うトポロジに関する研究

- BAモデル: べき則に従うトポロジを生成する手法[1]
 - 成長、優先的接続の2つの規則に基づき確率的にノードを接続
 - べき則に従うトポロジの研究で広く用いられる
- 2つの規則に基づいて生成されたトポロジの性質
 - ハブノードはパケットが集中するため輻輳しやすい[4]
 - ハブノード同士が近接しているため、ハブノードから他のハブノードへ、ハブノードからハブノードと隣接する多数のノードへと輻輳が伝播
- 現実のインターネットのトポロジはBAモデルによって生成されたトポロジと構造が異なる
 - べき則に従うという特徴だけではネットワークの性能は評価できない

[1] A.-L. Barabási and R. Albert, "Emergence of scaling in random networks," Science, vol. 286, pp. 509-512, Oct. 1999.
[4] B. Tadić, S. Thurner, and G. Rodgers, "Traffic on complex networks: Towards understanding global statistical properties from microscopic density fluctuations," Physical Review E, vol. 69, Mar. 2004.

4

Osaka University

輻輳の伝播[4]

1. パケットを受け取れなくなる(輻輳状態)

2. ルータ間フロー制御によりパケットを送れず輻輳する(輻輳の伝播)

3. さらに手前のバッファにもパケットがたまる

□ バッファ
■ パケット

[4] B. Tadić, S. Thurner, and G. Rodgers, "Traffic on complex networks: Towards understanding global statistical properties from microscopic density fluctuations," Physical Review E, vol. 69, Mar. 2004.

5

Osaka University

研究の目的

- ISPTトポロジ、BATトポロジの2種類の異なる構造を持つトポロジにおいて、輻輳がどのように伝播するのかを明らかにする
 - どのようなリンクが輻輳を起こしやすいのか
 - あるリンクで輻輳が生じた場合、その輻輳がネットワークへどのように波及するのか
- どのような構造を持つトポロジが、輻輳伝播を抑えるのかを明らかにし、ルータの接続関係や回線容量など、効率のよいトポロジ設計手法へ応用

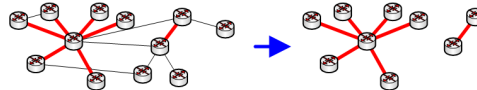
6

研究の方法

- ルータ間フロー制御が行われた場合の輻輳の伝播状況を計算機シミュレーションによって評価
- 対象としたポロジ
 - 現実のISPルータレベルポロジ
 - ◆ AT&Tポロジ: 523ノード、1304リンク
 - ◆ Sprintポロジ: 467ノード、1280リンク
 - BAモデルによって生成したポロジ
 - ◆ BA AT&Tポロジ: AT&Tポロジとリンク数、ノード数が同じ
- 経路制御の違いによって輻輳の伝播状況がどのように変化するかを評価

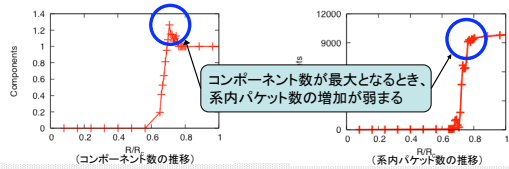
評価指標

- 定常状態での輻輳が生じたリンクと、それに隣接するノードを抽出してできる平均コンポーネント(部分グラフ)数の推移
 - コンポーネントが多い: 離れた場所で輻輳が発生しているが、伝播していない
 - コンポーネントが少ない: あるリンクで起こった輻輳が広域へ伝播している



評価結果 (最短経路制御)

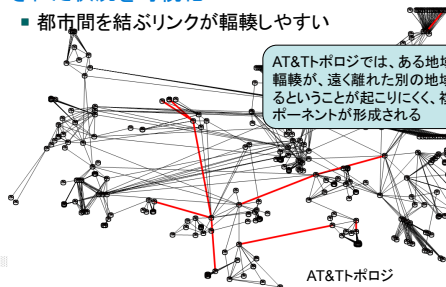
- 全てのパケットが宛先までの最短経路を進む
 - あるリンクが輻輳すると前段リンクのパッファ先頭で待機
- コンポーネント数は系内パケット数とともに増加
 - 複数のリンクで輻輳が発生し、コンポーネントが形成される



AT&Tポロジでのシミュレーション結果

評価結果 (最短経路制御)

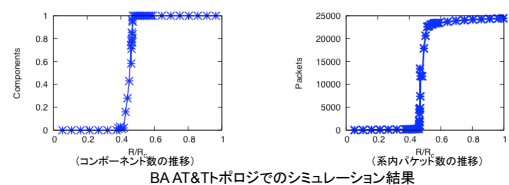
- AT&Tポロジにおいて、多数のコンポーネントが形成された状況を可視化
 - 都市間を結ぶリンクが輻輳しやすい



AT&Tポロジ

評価結果 (最短経路制御)

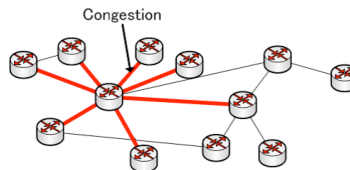
- BA AT&Tポロジでもコンポーネント数と系内パケット数は同時に増加
 - AT&Tとは異なり、コンポーネント数が1を超えない



BA AT&Tポロジでのシミュレーション結果

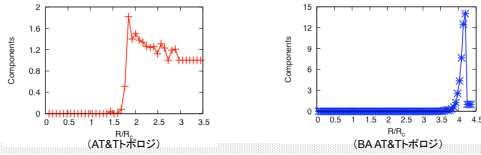
評価結果 (最短経路制御)

- BA AT&Tポロジでの輻輳を起こしたリンクの接続関係
 - ハブノードと隣接するリンクの1本がまず輻輳し、ハブノードを中心として隣接するリンクへと輻輳が伝播 → 1つのコンポーネントが形成される



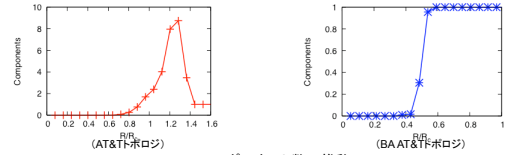
評価結果 (最小遅延時間経路制御)

- 全リンクを監視し転送時間が最小となる経路を探索
 - 混雑状況に応じて動的に経路を決定
- 最短経路制御の場合よりも複数のコンポーネントが形成されることが多い
 - あるリンクが輻輳すると、別のリンクへ迂回するため



評価結果 (nnnサーチ経路制御)

- 近傍の情報に基づく動的な経路制御[4]
 - 周辺数ホップを検索、宛先が見つからなければランダムに移動

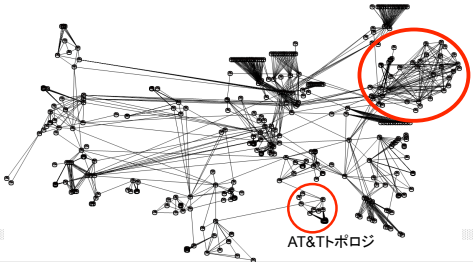


- AT&Tポロジでは多くのコンポーネントが形成されている

[4] B. Tadić, S. Thurner, and G. Rodgers. "Traffic on complex networks: Towards understanding global statistical properties from microscopic density fluctuations." *Physical Review E*, vol. 69, Mar. 2004.

nnnサーチ経路制御 (コンポーネント数)

- AT&Tポロジでは、地域内リンクが輻輳し、地域間では輻輳が伝播していない



まとめと今後の課題

- まとめ
 - ISPTポロジ、BAトポロジにおける輻輳の伝播状況を調査
 - BAトポロジに比べ、ISPルータレベルポロジは輻輳伝播を抑制
 - トポロジを持つ構造の違いによる影響
 - 地域間リンクが多いBAトポロジでは、広域へ輻輳が伝播しやすい
 - 地域間リンクが少ないISPTポロジでは、地域間で輻輳が伝播しにくい
- 今後の課題
 - エンドホスト間フロー制御を適用したモデルの調査
 - リンク毎に異なる回線容量を定めたモデルの調査