

Osaka University

Structural analyses of router-level topologies having a power-law flow distribution

(和文：フロー数分布がべき則に従うルーターレベルトポロジの構造分析)

大阪大学大学院 情報科学研究科
情報ネットワーク学専攻 博士前期課程2年
村田研究室
細木 茂洋

Osaka University

研究の背景

- インターネットトポロジのフロー数分布を算出した結果べき則に従うことがわかっている
- 様々な回線容量分布を与え収容可能なトラフィック量を比較
 - べき則に従う回線容量分布を与えた場合に最も多く収容可能

べき則に従う回線容量分布を与えた場合に最大

べき則に従うフロー数分布

収容可能なトラフィック量の一例

Osaka University

研究の目的

- ISPトポロジでは何故フロー数分布がべき則となるのか
- それを決定づけるトポロジ構造の特徴は？
- ISPトポロジのように次数相関が負の構造を持つトポロジではスループット性能が向上 [1]
 - 次数が大きいノードと次数が小さいノードを連結された構造
- ISPトポロジ上のネットワーク性能を決定付けるトポロジ構造の特徴として、モジュール性がある
- 次数相関やモジュール性の違いにより、フロー数分布がどのように変化するかを調査
- フロー数分布がべき則となる構造的要因を明らかにする

文献[1]のトポロジ

AT&Tトポロジ

[1] L. Li, D. Alderson, and J. Doyle, "A first-principles approach to understanding the Internet's router-level topology", in Proceedings of SIGCOMM, Aug. 2004.

Osaka University

[2] M. E. J. Newman, M. Girvan, "Finding and evaluating community structure in networks," *Physical Review E* 69 (026113), 2004.

ISP トポロジのモジュール性

- ISP ルーターレベルトポロジはモジュール性の高い構造を持つ
- モジュール性 (Modularity)
 - モジュール：局所的に密につながったノード集合
 - トポロジのモジュール性 (Q) は次の定義式に従って算出される [2]

$$Q = \sum (e_{ii} - a_i^2)$$

- e_{ii} : モジュール i に所属するノード同士を接続するリンクの割合
- a_i : モジュール i と別モジュールのノードを接続するリンクの割合

モジュール性が高い:
モジュール内リンク密
モジュール間リンク疎

モジュール性が低い:
モジュール内リンク疎
モジュール間リンク密

リンク張り替え

Osaka University

ネットワーク性能の評価方法(1/2)

- 各リンクを経由するフロー量の基本値を計算
 - 対地間フロー量は平均 1.0 分散 1.0 の正規分布で与え、基本となるフロー量を定める
- フロー量の変動を考慮しフロー量の最悪値を計算
 - 多重化されたフローの分散 σ に対して、最大で $+2\sigma$ 変動すると仮定
 - Additional Capacity: 変動に備えるために追加する回線容量
 - フロー量の最悪値と基本値との差分 ($= 2\sigma$)

Osaka University

ネットワーク性能の評価方法(2/2)

- スループット
 - 収容可能なトラフィック量
- 追加回線容量の割合 (Additional Capacity Ratio)
 - ネットワーク全てのフロー量の基本値の総和に対して、Additional Capacity の占める割合

Additional Capacity / 基本フロー量
Additional Capacity Ratio = 1.5/8

- BAモデルにより生成したトポロジを起点としてリンクの張り替えを繰り返し行い、張り替え回数の増加に伴い評価指標が変化する過程を分析

Osaka University 7

モジュール性の高い構造によるフロー量の変動の抑制

- BA モデルで生成したトポロジを対象にリンク張り替えを30000 回繰り返し評価
 - モジュール性が高くなるようにリンク張り替えを実行
 - 張り替えを繰り返すにつれてモジュール性が向上することを確認
 - モジュール性が高くなるにつれて 追加回線容量は減少
 - モジュール性が高いほどフロー量の変動が抑えられ、変動に備えた回線容量の追加を少なく抑えられる

Osaka University 8

フロー量変動の抑制とスループットのトレードオフ

- モジュール性の向上だけを目指したリンクの張り替えを繰り返すと、収容可能なトラフィック量は減少
 - モジュール性とスループットのトレードオフ
- 複数の目的を同時に達成しようとして最適化を行うと次数分布にべき則が出現[3]
 - モジュール性とスループットの両立を目指した結果フロー数分布にべき則が現れると予想される

[3] A. Fabrikant, E. Koutsoupias, and C. H. Papadimitriou, "Heuristically optimized trade-offs: A new paradigm for power law in the Internet," in Proceedings of the 29th International Colloquium on Automata, Languages and Programming, pp. 110–122, July 2002.

Osaka University 9

フロー数分布の推移

- モジュール性が高くなるように次数の大きいノードと小さいノード間にリンクを張り替え
- 20万回の張り替えを行い傾き-1のフロー数分布が順位10~1000位の範囲で出現することを確認
- フロー量の変動の抑制と収容可能なトラフィック量の向上を目指したトポロジ設計の結果フロー数分布にべき則が出現

初期状態と20万回張り替え時のフロー数分布

Osaka University 10

まとめと今後の課題

- まとめ
 - トポロジのリンク張り替えを繰り返しネットワーク性能の推移を評価
 - モジュール性を高めることでフロー量の変動の抑制が可能
 - モジュール性を高めるだけではスループットは減少
 - ISPトポロジにおいてフロー数分布がべき則に従う要因を検証
 - フロー量の変動を抑制しスループットが大きくなるようにトポロジを設計するとフロー数分布がべき則に従う
- 今後の課題
 - フロー変動のばらつきがより大きい場合での評価
 - ノード数が異なるトポロジでの評価