

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

回線容量分布がルータレベルトポロジの 収容トラヒック量に与える影響の評価

細木 茂洋
大阪大学
博士前期課程1年
s-hosoki@ist.osaka-u.ac.jp

1

Osaka University

研究の背景

- ルーティングなどネットワーク制御手法の評価にはルータレベルトポロジの適切なモデル化が必要
- インターネットトポロジの次数分布はべき則に従う
 - k 本のリンクを持つノードの存在確率が $k^{-\gamma}$ に比例 (γ は定数)
- 次数分布のみではネットワーク性能の評価が不十分
 - 次数分布がトポロジ構造を一意に決定するわけではない[5]
 - 回線容量, ノード処理能力なども影響
 - 次数分布以外に通信ネットワークの特性として何に注目してモデル化するかが重要な課題となる

[5] L. Li, D. Alderson, W. Willinger, and J. Doyle. "A first-principles approach to understanding the Internet's router-level topology," in Proceedings of ACM SIGCOMM'04, vol. 34, pp. 3-14, Oct. 2004.

2

Osaka University

研究の目的

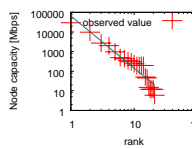
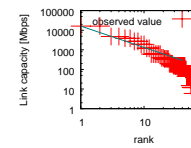
- 通信ネットワーク固有の特性としての回線容量分布に着目し, ネットワーク性能へ与える影響を明らかにする
- 回線容量分布がルータレベルトポロジの収容トラヒック量に与える影響の評価
 - ネットワーク性能として, トポロジに収容可能なトラヒック量を評価する
 - 回線容量の総和が等しい3つの回線容量分布を考え, 分布の差異がネットワーク性能へどのような影響を与えるか

3

Osaka University

ISP トポロジの回線容量分布

- 文献[8]では, 実在の国内ISPである IJ 社のバックボーンネットワーク(ノード数21, リンク数34)を評価
 - ノードの容量分布が傾き -2.6 のべき則に従う
 - 文献中では述べられていないが, 回線容量分布が傾き-1のべき則に従うこともわかった

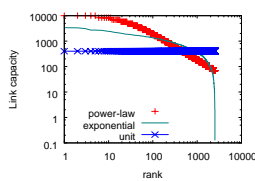
[8] 丸田, "べき指数を用いたインターネットバックボーンネットワーク構造分布," GLOCOM/Review, vol. 9, pp. 1-16, Sept. 2003.

4

Osaka University

通信ネットワーク固有の特性としての回線容量分布

- なぜISPトポロジの回線容量分布がべき則に従うのか?
 - 傾き-1のべき則に従う回線容量分布 (power-law), 指数分布に従う回線容量分布 (exponential), 回線容量が全て等しい回線容量分布 (unit) を比較することで明らかにする



5

Osaka University

回線容量分布による影響の評価手順

1. 回線容量分布を生成し, ネットワークの各リンクに容量を割り当て
 - 1つのトポロジが3通りの回線容量分布を持つ
2. トラヒックマトリクスを生成し, ネットワークの各ノードに対地間トラヒックを割り当て
3. リンク容量の制約下でトラヒックマトリクスをスケールアップし, 対地間トラヒックの総和を算出.
 - これをネットワークに収容可能なトラヒック量と定義し, 増減を計測

6

Osaka University

評価対象となるルーテラベルトポロジ

- ISPトポロジ
 - AT&T トポロジ: 523ノード, 1302リンク
 - Sprint トポロジ: 467ノード, 1280リンク
- モデルベーストポロジ
 - Abilene-inspired トポロジ[5]: 869ノード, 877リンク
 - BA トポロジ[3]: 869ノード, 877リンク
 - FKP トポロジ[4]: 869ノード, 877リンク

[5] L. Li, D. Alderson, W. Willinger, and J. Doyle, "A first-principles approach to understanding the Internet's router-level topology," in *Proceedings of ACM SIGCOMM'04*, vol. 34, pp. 3-14, Oct. 2004.
 [3] A. L. Barabasi and R. Albert, "Emergence of scaling in random networks," *Science*, vol. 286, pp. 509-512, Oct. 1999.
 [4] A. Fabrikant, E. Koutsoupias, and C. H. Papadimitriou, "Heuristically optimized trade-offs: A new paradigm for power laws in the Internet," in *Proceedings of ICALP'02*, pp. 110-122, July 2002.

7

Osaka University

回線容量分布の生成と割り当て

- トポロジのリンク数に合わせて、回線容量分布を生成
 - べき則に従う回線容量分布を基準として、回線容量の総和を正規化
- 回線容量分布をリンクへ割り当て
 - edge betweenness centrality の高いリンクから、回線容量を降順に割り当て
 - edge betweenness centrality: リンクを経由する、ノード対の最短経路の数。通信への貢献度を表す
 - より多くの最短経路を受け持つリンクほど大きな回線容量を得る

8

Osaka University

トラフィックマトリックスの生成と適用

- 対数正規分布に従ってトラフィックマトリックスを生成[9]
 - 送信元ノード i と宛先ノード j の全ての組み合わせ ($i \neq j$) について、対数正規分布に従って対地間トラフィック量を生成。これを行列として構成したものをトラフィックマトリックスとする
 - 対地間トラフィック量が全て1のときの総和で正規化
 - 対数正規分布の分散値について、0.1~10.0 の範囲内を0.1 刻みで動かす
 - 分散値ごとに新たにトラフィックマトリックスを生成、適用
 - 様々なトラフィックマトリックスで試行
- トラフィック伝送のルーティングは最短経路法を選択
 - 最短経路が複数存在する場合、ランダムに1つを選択

[9] A. Nucci, A. Sridharan, and N. Taft, "The problem of synthetically generating IP traffic matrices: Initial recommendations," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 35, pp. 19-32, July 2005.

9

Osaka University

[9] A. Nucci, A. Sridharan, and N. Taft, "The problem of synthetically generating IP traffic matrices: Initial recommendations," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 35, pp. 19-32, July 2005.

収容可能なトラフィック量評価

- ISPトポロジでの結果
 - 対数正規分布の分散値2以下の範囲で power-law な回線容量分布のときに収容可能なトラフィック量が大きい
 - 対数正規分布の分散値が1前後のときにトラフィックマトリックスのフィッティングが可能[9]
 - power-law のとき収容可能なトラフィック量が最も大きい

10

Osaka University

収容可能なトラフィック量評価

- モデルベーストポロジでの結果
 - Abilene-inspired, BA, FKP トポロジでも同様に、対数正規分布の分散値2以下の範囲で power-law が有利
 - 対数正規分布の分散値1前後でも同様

11

Osaka University

べき則に従う回線容量分布の妥当性

- なぜ、ネットワークの回線容量分布がべき則に従うのか?
 - ネットワークに収容可能なトラフィック量が大きくなる
 - トラフィックに変動が生じたとき(対数正規分布の分散値が増減した場合)でも、exponential や unit な回線容量分布よりも収容可能なトラフィック量が大きい
- 同じ次数分布、同じ構造を有していても、回線容量分布の違いによりネットワーク性能に大きな差が現れる

12

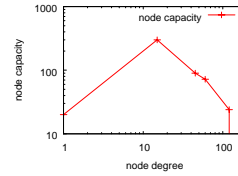
回線容量以外の通信ネットワーク固有の特性

- ここまでは、回線容量分布をもとにネットワーク性能の評価を行った
- しかし、通信ネットワーク固有の特性として考えられる要素は回線容量の他にも存在する
 - 文献[5]では、物理制約としてノード処理能力を取り入れ、構造の違いによるネットワークスループットの差異を計測
- 以降では、回線容量分布とノード処理能力、2つの特性によるネットワーク性能の差異について比較する

[5] L. Li, D. Alderson, W. Willinger, and J. Doyle, "A first-principles approach to understanding the Internet's router-level topology," in Proceedings of ACM SIGCOMM'04, vol. 34, pp. 3-14, Oct. 2004.

ルータの次数と処理能力の関係

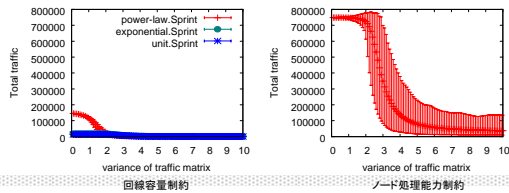
- 文献[5]では、ノード次数からノード処理能力を算出する手法について述べられている
- ノード処理能力のみを割り当てる手法も評価
 - 回線容量分布を生成、割り当てる手法との比較を行う



[5] L. Li, D. Alderson, W. Willinger, and J. Doyle, "A first-principles approach to understanding the Internet's router-level topology," in Proceedings of ACM SIGCOMM'04, vol. 34, pp. 3-14, Oct. 2004.

物理制約の違いによる収容可能なトラフィック量の差異

- Sprint トポロジの結果
 - トラフィックマトリクスの分散値が大きくなるにつれて収容可能なトラフィック量が減少する傾向はどちらも同じ
 - しかし、絶対量に大きな差
 - ノード処理能力制約のみでは収容可能なトラフィック量が過大に算出



まとめと今後の課題

- まとめ
 - 商用ISPの回線容量分布はべき則に従う
 - べき則に従う回線容量分布では、ネットワークに収容可能なトラフィック量が大きくなる。また、トラフィックマトリクスに変動があった場合でも収容可能なトラフィック量は比較的大きい
 - ノード次数にもとづいた物理制約の付加のみでは収容可能なトラフィック量が過大に算出される
 - 回線容量制約も考慮する必要がある
- 今後の課題
 - ルータレベルトポロジの構造的特徴と回線容量の関連性を明らかにし、モデル化手法の確立に取り組む