

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

度数分布がべき則に従うネットワークにおける回線容量割当手法の提案と評価

大阪大学 基礎工学部 情報科学科
村田研究室
細木 茂洋

1

Osaka University

研究の背景

- インターネットポロジの度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 $k^{-\alpha}$ に比例
 - 少数のハブノード(度数の高いノード)と多数の非ハブノード
- 同じ度数分布でもネットワーク性能が異なる
 - 度数分布が一意にトポロジの構造を決定するわけではない
 - スループットに大きな差(1130~11.9Gbps)[1]
- 度数分布以外にネットワーク性能を左右する指標を考える必要がある
 - トポロジの構造だけとは限らない

[1] L. Li, D. Alderson, W. Willinger, and J. Doyle, "A first-principles approach to understanding the Internet's router-level topology," in *Proceedings of the 2004 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications (SIGCOMM'04)*, vol. 34, pp. 5-14, Oct. 2004.

2

Osaka University

研究の目的

- 度数分布がべき則に従うネットワークに対し、効率的に物理回線容量を割り当てる手法の提案
 - ISPのルータレベルトポロジへの適用が前提
 - 全回線容量に制限があるとき、どのような規則に従ってリンクに容量を割り当てれば、より大きなフロー量を収容できるか?
 - 効率的な物理回線容量割当のメリット: フロー量変動への耐性

3

Osaka University

トラフィックマトリクスモデル

- リンクを経由するフロー量はノード間で通信するトラフィックに影響される
 - トラフィックマトリクス: 対地間フロー量(ノード i からノード j へ送信するトラフィックの生成ビットレート)の行列
 - 従来のトラフィックマトリクスモデル
 - (1) 対地間フロー量は重力モデルに従って生成される
 - 重力モデルの例: 2都市間における人口・物資・情報の流通量は2都市の人口の積に比例する[11]
 - (2) 対地間フロー量は一様分布に従って生成される
 - 現実のネットワークは一様分布とは異なる[12]
 - 本研究では複数のトラフィックマトリクスを利用する
 - [1] M. Roughan, A. Greenberg, C. Kalmanek, M. Rumsewicz, J. Yates, and Y. Zhang, "Experience in measuring backbone traffic variability: Models, metrics, measurements and meaning," in *Proceedings of the 2nd ACM SIGCOMM Workshop on Internet Measurement (IMW02)*, pp. 81-92, Nov. 2002.
 - [12] A. Nucci, A. Sridharan, and N. Tal, "The problem of synthetically generating IP traffic matrices: Initial recommendations," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 35, pp. 19-32, July 2005.

4

Osaka University

リンクを経由するフロー量分布 - モデル

- リンクを経由するフロー量分布を求める
 - 条件: ルータ処理能力, 回線容量制約なし
 - 度数分布がべき則に従うトポロジを用意
 - BAモデル[4], FKPモデル[7], HOTモデル[1]から生成するトポロジ
 - AT&T, Sprintトポロジ
 - 様々なトラフィックマトリクスを生成し, 最短経路で伝送
 - T_{unit} : (対地間フロー量は)全て1
 - T_{uniform} : 一様分布に従う
 - $T_{\text{normal } \alpha}$: 対数正規分布に従う([12]のパラメータ, $\sigma=0.885$)
 - $T_{\text{normal } \beta}$: 対数正規分布に従う([12]より分散が大きいパラメータ, $\sigma=8.0$)
 - 分散が小さいパラメータを持つトラフィックマトリクスモデルは T_{unit} と同等
- 多様なトラフィックマトリクスを適用した結果を求める

[4] A. L. Barabási and R. Albert, "Emergence of scaling in random networks," *Science*, vol. 286, pp. 509-512, Oct. 1999.

[7] A. Fabrikant, E. Koutsoukos, and C. H. Papadimitriou, "Neutrally optimized trade-offs: A new paradigm for power laws in the Internet," in *Proceedings of the 29th International Colloquium on Automata, Languages and Programming (ICALP'02)*, pp. 115-122, July 2002.

[1] L. Li, D. Alderson, W. Willinger, and J. Doyle, "A first-principles approach to understanding the Internet's router-level topology," in *Proceedings of the 2004 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications (SIGCOMM'04)*, vol. 34, pp. 5-14, Oct. 2004.

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

5

Osaka University

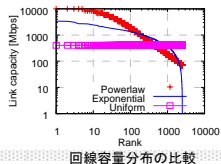
リンクを経由するフロー量分布 - 結果

- リンクを経由するフロー量分布
 - $T_{\text{unit}}, T_{\text{uniform}}, T_{\text{normal } \alpha}$ の結果はほぼ同じ
 - べき則に従うフロー量分布を確認
 - 両対数グラフで傾き-0.5程度の直線
 - $T_{\text{normal } \beta}$ の結果ではフロー量の高いリンクが複数存在
 - 分散値が高いため, 一部の対地間フロー量が極めて大きい
 - 一部のリンクを除き, べき則に従うフロー量分布を確認
 - 両対数グラフで傾き-1程度の直線

6

回線容量分布の生成

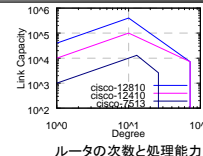
- リンクを経由するフロー量分布をもとに、べき則に従う回線容量分布を生成
 - 比較対象として、回線容量分布が一定のとき、および指数に従うときも考える
- 使用頻度が高いリンクから回線容量を割り当てる
 - 使用頻度：リンクを経由するノードペア数(最短経路)
- AT&Tボロジへの回線容量割当を行う



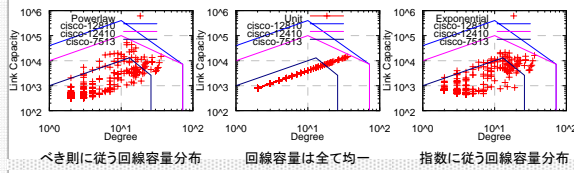
回線容量分布の比較

ルータ処理能力の制約

- ルータ処理能力にも制約がある
 - 大容量の回線を少数接続
 - 小容量の回線を多数接続
 - 次数10前後で最も処理能力が高い
- 回線容量割当の結果、べき則が最も効率的



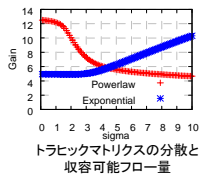
ルータの次数と処理能力



べき則に従う回線容量分布 回線容量は全て均一 指数に従う回線容量分布

回線容量分布による収容可能なフロー量の変化

- 収容可能なフロー量を算出
 - 対数正規分布を用いてトラフィックマトリクスを生成
 - ルータ処理能力、回線処理能力の制約下でトラフィックマトリクスをスケール
- 回線容量分布の違いによる収容可能フロー量を評価
 - 回線容量を均一に割り当てた場合に収容可能なフロー量で正規化
- 分散値が小さい場合
 - べき則に従う回線容量分布: 12倍
 - 指数に従う回線容量分布: 5倍
- 分散値が大きい場合
 - 一部の対地間フロー量が極めて大きい
 - 特定の対地間で大きくなるとは限らないため、平均的に割り当てる指数分布が有利



トラフィックマトリクスの分散と収容可能フロー量

まとめと今後の課題

- 次数分布がべき則に従うネットワークにおける物理回線容量割当手法の提案と評価
 - リンクを経由するフロー量の分布をもとにべき則に従う回線容量分布を生成
 - 使用頻度の高いリンクから降順に容量割り当て
 - 現実的なトラフィックマトリクスを適用すると、全回線容量が等しい場合の10倍以上のフローを収容可能
- 今後の課題
 - ルーティング方法を変更して提案手法を適用
 - 複数種のルータ利用を考えて提案手法を適用