

Advanced Network Architecture Research Group

べき乗則に従うネットワークにおける トラフィック増加に対する耐性を備えた 経路制御手法の提案と評価

大阪大学基礎工学部情報科学科 4年
村田研究室 福元 良太
<fukumoto@ics.es.osaka-u.ac.jp>

Advanced Network Architecture Research Group

研究の背景

- アクセス回線のブロードバンド化にともない、ISPのバックボーンネットワークを流れるトラフィックが急増
- ルータの技術的制約によりネットワークに収容可能なトラフィックには制限
- アクセス回線網で生じるトラフィックを効率よく吸収することが急務の課題
- インターネットポロジを観測した結果、リンク接続数はべき乗則に従うことが明らかとなっている
 - 隣接ノード数が k である確率: $P(k) \approx k^{-(\gamma)}$
 - » 多くの隣接ノードを持つ、少数の **ハブノード**
 - » あまり隣接ノードを持たない、多数の **非ハブノード**

2005/2/24 特別研究報告発表会 2

Advanced Network Architecture Research Group

ルータの技術的制約

- 出線数が小
 - 最大10Gbpsの回線を接続可能
- 出線数が大
 - 回線1本あたりの容量が減少
 - 回線容量の総量も減少

Figure 1: Bandwidth vs Degree. The graph shows that as the degree increases, the bandwidth per degree decreases, and the total bandwidth is constrained by technology. The legend includes: 15 x 10 GE (blue asterisk), 15 x 3 x 1 GE (red square), 15 x 4 x OC12 (green triangle), and 15 x 8 FE (blue circle).

[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 SIGCOMM*, Aug. 2004.

2005/2/24 特別研究報告発表会 3

Advanced Network Architecture Research Group

ルータレベルのインターネットポロジ

- ルータの技術的な制約によりべき乗則に従う [1]
 - 出線数の少ないノードは、コアノードの大容量回線収容に用いられる
 - 出線数の多いノードは、アクセス回線収容に用いられる(右図参照)

Figure 2: Router-level network topology. The diagram illustrates the AS-level and Router-level topologies. The Router-level topology shows a dense network of nodes, where nodes with low degree are used for core high-capacity link capacity, and nodes with high degree are used for access link capacity.

2005/2/24 特別研究報告発表会 4

Advanced Network Architecture Research Group

Sprintネットワーク

- 実測によって得られた Sprint 社のルータレベルポロジ
 - ノード数: 516
 - リンク数: 1593
 - 出線数分布はべき乗則に従う
- トポロジ(の一部)を描画した結果、代替経路が多い
- 経路制御を改善することによりリンク負荷を大幅に抑えられる可能性がある

Figure 3: Sprint network topology. The graph shows the number of nodes vs degree, and the network diagram shows a complex network of nodes and links, illustrating the high degree of connectivity and alternative paths.

2005/2/24 特別研究報告発表会 5

Advanced Network Architecture Research Group

研究の目的

- べき乗則に従うインターネットポロジにおいてアクセス回線の大容量化に耐えうる経路制御手法の提案
 - 従来の経路制御手法の評価
 - » トラフィック増加に対する耐性を評価
 - » 最適な経路制御を行った場合と比較
 - ルータの技術的な制約を考慮した経路制御手法を提案・評価

2005/2/24 特別研究報告発表会 6

Advanced Network Architecture Research Group

従来の経路制御手法の評価

- 最小ホップ経路選択 (MINHOP)
 - 経由するノードの数が最小となる経路を選択
- 最適経路選択 (OPTIMAL)
 - ネットワークの最大リンク利用率が最小となるように経路を選択
 - フロー偏差法に基づく経路選択
- シミュレーションモデル
 - 同じノード数、リンク数を有する二つのトポロジにおいて最大リンク利用率を評価
 - ルータレベルトポロジ: Sprint
 - ASレベルトポロジ: BA手法を用いて作成
 - 全ノードペア間に均一にトラフィックを発生

2005/2/24 特別研究報告発表会 7

Advanced Network Architecture Research Group

従来の経路制御手法のリンク利用率の比較

- Sprint ネットワークにおいて、最適経路選択では最小ホップ経路選択と比較して約0.35に最大リンク利用率を低減
- BAネットワークではSprintネットワークよりも大きな効果
- 最適経路選択ではネットワーク全体に負荷を分散
 - ルータの技術的制約を考慮することで負荷をうまく分散できれば最大リンク利用率を下げる事が可能

2005/2/24 特別研究報告発表会 8

Advanced Network Architecture Research Group

提案経路制御手法

- 既存の経路制御手法の問題点
 - 最小ホップ経路選択: ハブノードにトラフィックが集中
 - 最適経路選択: 計算時間が膨大
- ルータの技術的な制約を考慮した経路制御手法の提案
 - ルータの技術的な制約によりハブノードに接続するリンクの利用率は高くなる傾向がある
 - ハブノードに接続する回線の容量は基本的に小さい
 - ハブノードを避けるように経路を選択
 - ノードペア間の経路を求め、リンクコストを更新 更新されたコストを用いて別のノードペア間の経路を求める
 - リンクコストの初期値はリンクが接続するノードの出線数に比例
 - ノードペア間の経路を計算し、
 - 計算した経路に含まれるリンクのコストを更新
 - リンクの出線容量に反比例して増加

2005/2/24 特別研究報告発表会 9

Advanced Network Architecture Research Group

提案手法の評価

- 提案手法では最適経路選択同様ネットワーク全体に負荷を分散
- Sprintネットワークにおいて最小ホップ経路選択と比較して最大リンク利用率が約0.55に減少
- BAネットワークにおいては最大リンク利用率が約0.1に減少

2005/2/24 特別研究報告発表会 10

Advanced Network Architecture Research Group

まとめと今後の課題

- ノードの出線数がべき乗則に従うネットワークに着目
 - 既存の経路制御方式のトラフィック増加に対する耐性を評価
 - ルータの技術的な制約を考慮した経路制御手法を提案
 - 最短ホップ経路選択と比較して最大リンク利用率を大幅に抑える
 - 最適経路選択よりも計算時間を短縮
- 今後の課題・予定
 - べき乗則に従うルータレベルネットワークのモデル化手法の考案
 - ルータレベルネットワークモデルを使用した、より大規模なトポロジでの提案手法の評価

2005/2/24 特別研究報告発表会 11