

Advanced Network Architecture Research Group

パワー則の性質を有するネットワークにおける 出線数情報を利用した経路制御手法の提案と評価

大阪大学大学院情報科学研究科
○福元 良太、荒川 伸一、村田 正幸

2005/9/15

Advanced Network Architecture Research Group

発表内容

- 背景
 - トラフィック量の増加
 - インターネットポロジの構造
- 研究の目的
- インターネットポロジのモデル化手法
- 評価
 - 従来の経路制御手法
 - 提案経路制御手法
- まとめ

2005/9/15

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
 - ADSL、ギガビットのアクセス回線を用いた高速通信
- 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
- アクセス回線網で生じるトラフィックを効率よく収容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、リンク接続数がASレベル、ルータレベルともにパワー則（べき乗則、Power-Law）に従う

2005/9/15

Advanced Network Architecture Research Group

パワー則に従うネットワーク

- 隣接ノード数が k である確率: $P(k) \approx k^{-(\gamma)}$
 - 多くの出線数（隣接ノード）を持つ、小数のノード
 - あまり出線数を持たない、多数のノード

2005/9/15

Advanced Network Architecture Research Group

研究の目的・内容

- 研究の目的
 - パワー則に従うインターネットポロジに適した経路制御手法
 - » 最大リンク利用率を抑えてネットワークに収容可能なトラフィックを増加
- 研究内容
 - 従来の経路制御手法の評価
 - » パワー則に従うポロジの生成
 - » ネットワークに収容可能なトラフィック量を計算機シミュレーションで評価
 - » 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
 - » ルータの出線数情報を利用

2005/9/15

Advanced Network Architecture Research Group

インターネットポロジのモデル化手法 (1/2)

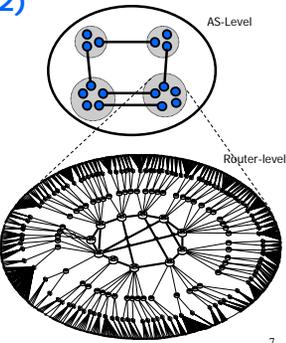
- BA (Barabasi-Albert) モデル
 - ネットワークの段階的成長
 - ノード追加時の優先的接続
- 出線数の大きいノード同士が接続
- 出線数の大きいノードと小さいノードのホップ数が小さくなり、ネットワークのノード間が極めて小
 - “Small-world”
- 出線数の大きなノードに多くのトラフィックが集中

2005/9/15

Advanced Network Architecture Research Group

インターネットポロジのモデル化手法 (2/2)

- ルータの技術的な制約のもとで、ネットワークのスループットを最大化した結果、パワー則に従う[1]
- 右図のようにモデル化
 - 出線数の小さいノードは、コアノードの大容量回線収容に用いられる
 - 出線数の大きいノードは、アクセス回線収容に用いられる



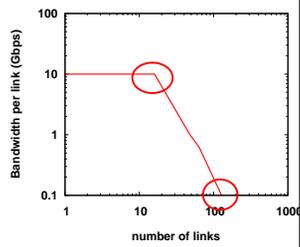
[1] L. Li, D. Alderson, W. Willinger, and J. Doyle, "A first-principles approach to understanding the Internet's router-level topology," in *Proceedings of SIGCOMM*, Aug. 2004.

2005/9/15 7

Advanced Network Architecture Research Group

ルータの技術的制約

- ルータのバックプレーン処理能力に制限
- 出線数が小
 - 大容量回線を接続可能
- 出線数が大
 - 接続できるリンクの回線容量が制限
- Cisco 12416 ルータの場合
 - バックプレーン処理能力: 160 Gbps
 - 出線数 ≤ 16
 - 1本のリンクの回線容量: 10 Gbps
 - 出線数 = 128
 - 1本のリンクの回線容量: 100 Mbps

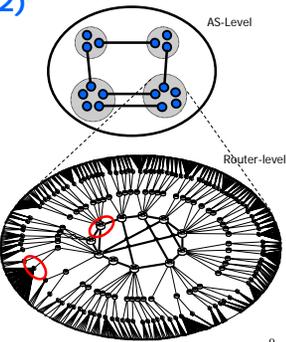


2005/9/15 8

Advanced Network Architecture Research Group

インターネットポロジのモデル化手法 (2/2)

- ルータの技術的な制約のもとで、ネットワークのスループットを最大化した結果、パワー則に従う[1]
- 右図のようにモデル化
 - 出線数の小さいノードは、コアノードの大容量回線収容に用いられる
 - 出線数の大きいノードは、アクセス回線収容に用いられる



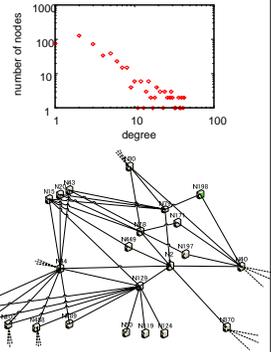
[1] L. Li, D. Alderson, W. Willinger, and J. Doyle, "A first-principles approach to understanding the Internet's router-level topology," in *Proceedings of SIGCOMM*, Aug. 2004.

2005/9/15 9

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: 467
 - リンク数: 1292
 - 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



2005/9/15

Advanced Network Architecture Research Group

従来の経路制御手法の評価

- 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
 - Sprint社のトポロジ、BAモデルを用いて作成したトポロジ
 - 全ノードペア間に均一にトラフィックを発生
 - 回線容量はルータの技術的な制約を考慮して決定
- 対象とする経路制御
 - 最小ホップ経路制御 (MINHOP)
 - 経路するノードの数が最小となる経路を選択
 - Cisco社推奨のリンクコスト値を使用した経路制御 (INVCAP)
 - リンクコストとしてリンクの回線容量の逆数の値を与える
 - 最適経路制御 (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制御

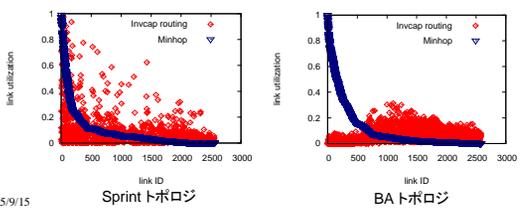
2005/9/15 11

Advanced Network Architecture Research Group

リンク利用率の比較

-Minhop routing と Invcap routing-

- BAトポロジにおいて、Ciscoの推奨する経路制御 (Invcap routing) では最小ホップ経路制御と比較して約0.3に最大リンク利用率を低減
- Sprintトポロジでは最大リンク利用率は増加
- Invcap routingは必ずしも最大リンク利用率を低下させるとは限らない



2005/9/15 12

Advanced Network Architecture Research Group

リンク利用率の比較 -Minhop routing と Optimal routing-

- Sprint トポロジにおいて、最適経路制御では最小ホップ経路制御と比較して約0.4に最大リンク利用率を低減
- BAトポロジではSprintトポロジよりも大きな効果
- 最適経路制御ではネットワーク全体に負荷を分散

Optimal routing
Minhop

link utilization

link ID

Sprint トポロジ

Optimal routing
Minhop

link utilization

link ID

BA トポロジ

2005/9/15 13

Advanced Network Architecture Research Group

既存の経路制御手法の問題点

- Minhop routing
 - 出線数の大きいノードにトラヒックが集中
- Invcap routing
 - 必ずしも最大リンク利用率を低下させるとは限らない
- Optimal routing
 - 計算時間が膨大となり、実用不可
 - ネットワーク全体に負荷を分散し、最大リンク利用率を大幅に下げることができる
- ルータの技術的制約を考慮して経路制御を行えば、負荷をうまく分散させて、最大リンク利用率を下げる事が可能

2005/9/15 14

Advanced Network Architecture Research Group

提案経路制御手法

- ルータの技術的な制約により出線数の大きいノードに接続するリンクは回線容量が小さくその利用率は高くなる傾向がある
- 出線数の大きなノードにトラヒックが集中しやすい
- 以下の方針をもとにヒューリスティックに経路を選択
 - 出線数の大きいノードを避けるように経路を選択
 - 回線容量の大きなリンクを優先的に選択
- ある一つの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とする
 - あるノードへの経路をDijkstraのアルゴリズムを使用して計算し、
 - ▶ 計算した経路に含まれるリンクのコストを更新
 - ▶ リンクの出線数 C に反比例して増加: $\alpha C_{max} / C$
 - ▶ 次のノードへの経路を更新したコスト値を使用して計算

2005/9/15 15

Advanced Network Architecture Research Group

提案手法の評価

- 提案手法では最適経路制御同様ネットワーク全体に負荷を分散
- Sprintトポロジにおいて最小ホップ経路制御と比較して最大リンク利用率が約0.63に減少
- BAトポロジにおいては最大リンク利用率が約0.15に減少

Proposed routing
Minhop

link utilization

link ID

Sprint トポロジ

Proposed routing
Minhop

link utilization

link ID

BA トポロジ

2005/9/15 16

Advanced Network Architecture Research Group

係数 α と最大リンク利用率の関係 (1/2)

- α を大きくすると
 - 回線容量の大きい経路よりもホップ数が小さくなる経路を選択
- α が1~10の場合
 - 最大リンク利用率を大きく抑える
- BAトポロジ、Level3のトポロジの場合
 - α を大きくすると最大リンク利用率が大きくなる傾向

max. link utilization

alpha

Level3
Sprint
Verio
BA network
AT & T

2005/9/15 17

Advanced Network Architecture Research Group

係数 α と最大リンク利用率の関係 (2/2)

- 係数の値による性能の変化の原因
 - BAトポロジ、Level3トポロジ
 - ▶ 出線数の大きなノードがトポロジの“中心”に存在
 - 他のノードに少ないホップ数で到達可能な位置
 - ▶ α を大きくするとホップ数が小
 - 出線数の大きなノードにトラヒックが集中
 - Sprint、AT&T、Verioトポロジ
 - ▶ 出線数の大きなノードがトポロジの“中心”に存在しない
 - α を大きくするとホップ数が小
 - 出線数の大きなノードにトラヒックが集中しない

2005/9/15 18



まとめと今後の課題

- ノードの出線数がパワー則に従うネットワークに着目
 - ネットワークの収容可能トラフィック量を評価
 - ルータの技術的な制約を考慮した経路制御手法を提案
 - » 最短ホップ経路制御と比較して最大リンク利用率を大幅に抑える
 - » 最適経路制御よりも計算時間を短縮
- 今後の課題・予定
 - パワー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