

# ISPトポロジにおける オーバレイルーティングの効果

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

2007/2/19

1

## 概要

- 背景
  - オーバレイルーティング
  - 関連研究
  - インターネットポロジ
- シミュレーションモデル
- 結果
- まとめ

2007/2/19

2

## オーバレイルーティング

- インターネットにおける経路制御 (IP ルーティング)
  - OSPF, BGP
  - ルーティングの階層化、ポリシー、故障など
  - → ユーザ性能が犠牲
- 自律的な経路制御
  - 信頼性の向上、レイテンシの改善
  - エンドホストが経路を選択
    - ソースルーティング(Nimrod)
    - オーバレイルーティング (Detour, RON)
  - 利己的
    - 各エンドホストが自身のパフォーマンスを最大化
    - システム全体の最適化は考えない

2007/2/19

3

## 関連研究

- 利己的な経路制御の性能解析 [1]
  - 最悪時のユーザ性能が極端に悪くなることを証明
  - 特殊なトポロジでの証明
  - 実際のトポロジ構造を反映していない
- 計算機シミュレーションによる評価 [2]
  - 数10ノードのトポロジでのオーバレイルーティングの評価
    - 平均レイテンシの減少
    - 一部のリンクへの負荷の集中

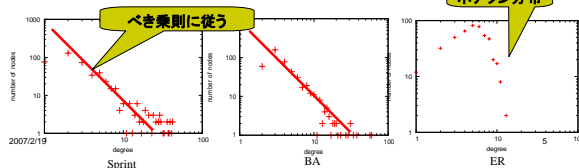


トポロジ構造の特徴が表われにくい小規模なトポロジでの評価

[1] T. Roughgarden and E. Tardos, How bad is selfish routing?, *J. ACM*, vol. 49, no. 2, pp. 236-259, 2002  
 [2] Lili Qiu, Yang Richard Yang, Yin Zhang, and Scott Shenker, On selfish routing in internet-like environments. In *Proceedings of the ACM SIGCOMM*, All ACM Conferences, pages 151-162, Karlsruhe, Germany, august 2003.

## インターネットポロジ

- 出線数分布がべき乗則に従う
- 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、少数のノード
  - あまり出線数を持たない、多数のノード



2007/2/19

## 研究の目的

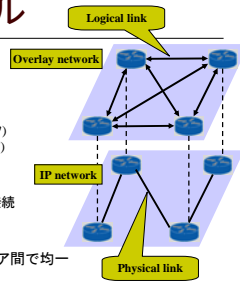
- ネットワークの構造がオーバレイルーティングへ与える影響を明らかに
  - 構造的特徴の表われる  
ルータレベルのインターネットポロジに着目
    - 実測によって得られたルータレベルトポロジを使用
      - 大規模かつ
      - べき乗則に従う
- オーバレイルーティングの均衡状態での性能を評価
  - エンドホストが経路を変更するインセンティブのない状態
  - IPルーティングとオーバレイルーティングの比較
    - IPルーティング: 最短ホップ経路制御
    - オーバレイルーティング
      - ユーザ性能向上のためのオーバレイルーティング
      - ネットワーク性能向上のためのオーバレイルーティング

2007/2/19

6

## シミュレーションモデル

- ネットワークボロジ
  - 観測によって得られたボロジ
    - Sprint (467 ノード, 1292 リンク)
    - Random Graph
      - BA model topology (467 ノード, 1292 リンク)
      - ER model topology (467 ノード, 1292 リンク)
- オーバレイネットワークのボロジ
  - Full mesh
    - 全オーバーレイノードペア間を論理リンクで接続
- トラフィックデマンド
  - 物理トラフィック: 全ノードペア間に均一
  - オーバレイトラフィック: 全オーバーレイノードペア間に均一
- 評価指標
  - ユーザ: 平均レイテンシ (エンドエンド間遅延の平均値)
  - ネットワーク: 最大リンク利用率

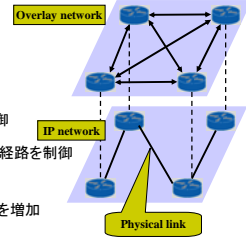


2007/2/19

7

## シミュレーションモデル - 環境 I -

- リンクにおける遅延
    - 回線容量: 10 Gbps
    - キューイング遅延: M/M/1 でモデル化
    - 伝播遅延: 0~10 ms でランダム
  - オーバレイルーティング
    - Selfish: レイテンシが最小となるように各オーバーレイノードが利己的に経路を制御
    - Optimal: レイテンシが最小となるように全オーバーレイノードを集中管理することで経路を制御
  - 評価方法
    - ネットワークのトラフィック量は固定
    - ネットワーク内のオーバーレイノードの割合を増加
- ↓
- オーバレイノードの増加がネットワークに与える影響を評価

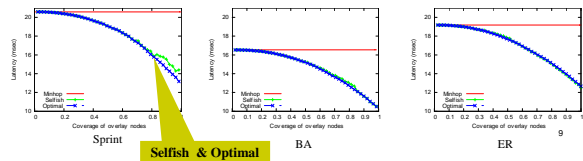


2007/2/19

8

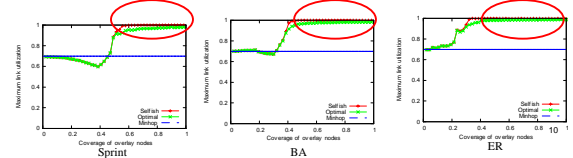
## 平均レイテンシ - 環境 I -

- オーバレイノード数の増加に伴い減少
  - 伝播遅延時間の小さい経路を選択
- 最適に経路制御を行った場合と同等の性能を達成
- ユーザにとってのメリットが大きい



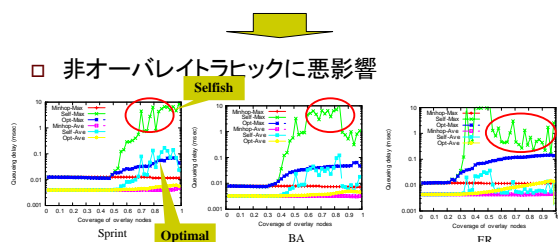
## 最大リンク利用率 - 環境 I -

- オーバレイノードの割合が高くなると
  - 一部のリンクの利用率が高くなる
- オーバレイノードの割合が小さいと
  - 最大リンク利用率は高くならない
  - 平均レイテンシはほとんど減少しない



## 非オーバーレイトラフィックへの影響 - 環境 I -

- 非オーバーレイトラフィックの最大キューイング遅延
- オーバレイルーティングを行うことでキューイング遅延は大幅に増加



## 環境 I のまとめ

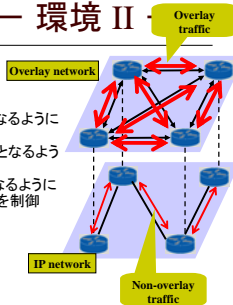
- エンドユーザによるオーバーレイルーティング
  - 平均レイテンシを減少
  - 最大リンク利用率の増加
- ユーザ性能を改善
- ネットワーク性能が悪化
- ネットワーク性能を改善するオーバーレイルーティング
  - 最大リンク利用率を抑える
- エンドユーザによるオーバーレイルーティングとの比較

2007/2/19

12

## シミュレーションモデル - 環境 II

- リンクにおける遅延
  - 伝播遅延: 1 msec
- オーバレイルーティング
  - Pure Distributed (Selfish): レイテンシが最小となるように各オーバーレイノードが**利己的**に経路を制御
  - Partially Distributed: 最大リンク利用率が最小となるように各オーバーレイノードが**利己的**に経路を制御
  - Network Optimal: 最大リンク利用率が最小となるように全オーバーレイノードを集中管理することで経路を制御
- 評価方法
  - 全てのノードがオーバーレイノードであると仮定
  - オーバレイネットワーク上のトラフィック量を増加
- ユーザによるオーバーレイルーティングとネットワークによるオーバーレイルーティングとを比較

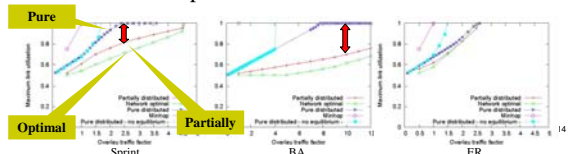


2007/2/19

13

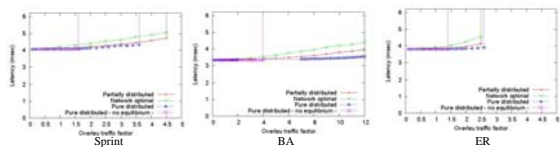
## 最大リンク利用率 - 環境 II -

- Pure distributed
  - 一部のリンクにより多くのトラフィックが集中
- Partially distributed
  - 最大リンク利用率を抑え、負荷を分散
  - Network optimal とほぼ同等の性能



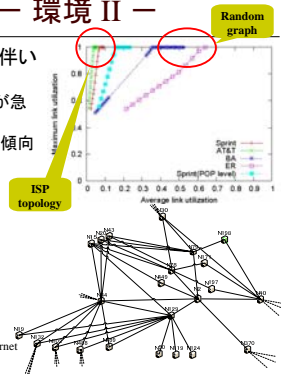
## 平均レイテンシ - 環境 II -

- Partially distributed
  - Pure distributed と同等のレイテンシを達成



## トポロジ構造の影響 - 環境 II -

- オーバレイトラフィックの増加に伴い最大リンク利用率が増加
  - ISPトポジ: 最大リンク利用率が急激に上昇
  - オーバレイトラフィックが集中する傾向
    - Sprint, AT&T (ISP) トポジ
    - Sprint POP レベルトポジ
    - BA, ERトポジ



ISPトポジの構造が原因  
一局的な迂回経路が多い [3]

[3] Shin'ichi Arakawa, Ryota Fukumoto, Tetsuya Takine, Masayuki Murata, "Analyzing and modeling router-level internet topology," 留学技術 (IN2005-95), pp. 43-48, Oct. 2005.

## まとめと今後の課題

- 大規模なISPトポジにおいてオーバーレイルーティングを評価
  - ユーザ性能向上のためのオーバーレイルーティング
    - レイテンシを低下
    - ネットワーク内の最大リンク利用率が上昇
  - ネットワーク性能向上のためのオーバーレイルーティング
    - ネットワーク内の最大リンク利用率を大きく低下
    - 最適な場合と同等の性能
    - ユーザ性能向上のためのオーバーレイルーティング とほぼ同等のレイテンシを実現
- ISPトポジ
  - ランダムグラフと比較して、オーバーレイトラフィックが特定のリンクに集中
- 今後の課題
  - Partially distributed と Pure distributed が相互に与える影響の評価

2007/2/19

17