

ISP コストを削減するための 重回帰分析に基づく オーバレイルーティング手法

松田 一仁[†] 長谷川 剛^{††} 村田正幸[†]

[†]大阪大学 大学院情報科学研究科
^{††}大阪大学 サイバーメディアセンター

2009/7/10 15:00発表

研究の背景

- 現状の IP によるルーティング(IP ルーティング)は必ずしもユーザが感じる性能(ユーザ性能)を直接的には考慮していない
 - ルータレベル・ASレベルのホップ数が主に用いられる
 - ISP 間のルーティングは、ISP 同士が結ぶ商業的關係(トランジットかピアリングか)に基づくルーティングが行われる
- オーバレイルーティング
 - IP ルーティングとは異なる指標を利用可能
 - 遅延時間、利用可能帯域、TCPスループットなど、エンドユーザが体感できるアプリケーション(ユーザ)性能
 - ユーザ性能を向上できることが明らかにされてきている
 - IP ルーティングとオーバレイルーティングのポリシーの違いが性能向上の余地を生む

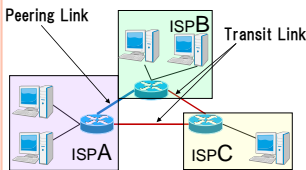
2009/7/10 15:00発表

2

問題点(1)

- オーバレイルーティングはユーザ性能を優先した経路を選択するため、IP ルーティングのポリシーに従わないトラフィックを発生させる

ISP のコスト構造に悪影響を与える可能性がある



- トランジットリンク
流れるトラフィックの最大値に基づいて、下流 ISP から上流 ISP にコストが支払われるリンク
- ピアリングリンク
リンクの回線維持費以外に金銭的成本が発生しないリンク

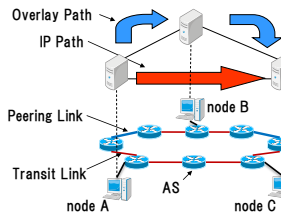
2009/7/10 15:00発表

3

問題点(2)

- オーバレイルーティングを用いることで通過するトランジットリンクの数(トランジット数)が増加する可能性がある

ネットワーク全体のトランジットコストが増大する



- 通過するトランジット数が増加する例
- ノード A からノード C にデータの転送要求が発生したと考える
- IP ルーティングでは通過するトランジット数は 2 本
- オーバレイルーティングでは通過するトランジット数は 4 本

2009/7/10 15:00発表

4

研究の目的

ISP のコスト悪化を低減させるオーバレイルーティング手法の提案

- オーバレイルーティングを用いることによって発生する ISP のコスト悪化を抑える
 - コストの指標として、経路上のトランジット数を用いる
 - ネットワーク全体のトランジットコストを低減することを目的とする
 - トランジット数の増加幅に制限を持たせて、オーバレイルーティングの経路選択を行う
- トランジット数をエンドユーザが取得容易なネットワーク性能指標から推定する
 - 重回帰分析を用いる
 - 推定したトランジット数を指標の一つとしてルーティングを行うことで ISP のコスト悪化を低減する
- ユーザ性能の向上幅の減少は最小限に抑える

2009/7/10 15:00発表

5

トランジット数の増加を軽減するアプローチ

- トランジット数は一般には公開されていないが、取得容易な指標から推定できる可能性がある

取得容易な指標(ルータホップ数、遅延時間、利用可能帯域)とトランジット数の相関関係を調べ、
相関の高い指標を用いて重回帰分析を行う

重回帰分析によって求めた推定式を用いて、
オーバレイルーティングによって増加するトランジット数に制限を加えることで、トランジット数の増加を軽減する

2009/7/10 15:00発表

6

オーバレイルーティングの経路選択指標

経路選択指標

遅延時間

直接経路 $D_{ij}^d = \delta_{ij}$ 最適な迂回経路 $\hat{D}_{ij}^c = \min_{k \neq i,j} (D_{ik}^d + D_{kj}^d)$
 迂回経路 $D_{ij}^c = \delta_{ik} + \delta_{kj}$ 性能向上率 $I(D_{ij}^c) = D_{ij}^d / \hat{D}_{ij}^c$

利用可能帯域

直接経路 $B_{ij}^d = b_{ij}$ 最適な迂回経路 $\hat{B}_{ij}^c = \max_{k \neq i,j} (B_{ik}^d)$
 迂回経路 $B_{ij}^c = \min(b_{ik}, b_{kj})$ 性能向上率 $I(\hat{B}_{ij}^c) = \hat{B}_{ij}^c / B_{ij}^d$

トランジット数に関する制約条件

直接経路 $T_{ij}^d = t_{ij}$
 迂回経路 $T_{ij}^c = t_{ik} + t_{kj}$
 トランジット数増加の制限 $T_{ij}^c \leq T_{ij}^d + \alpha$ 迂回経路のトランジット数の増加を α 以内に制限する
 $\alpha = 0, 1, \dots, n$

使用データ

- PlanetLab ノードがオーバレイネットワークを構築することを想定する
 - ノード間の遅延時間および利用可能帯域
 - Scalable Sensing Service (S³) を用いる
 - PlanetLab ノード間の遅延時間、利用可能帯域、物理帯域、パケット棄却率を4時間毎に計測し、公開している
 - 2008/11/12 に公開されたデータを主とし、経年変化をみるために2006/10/25, 2007/09/02, 2009/04/08 のデータを用いる
 - ノード間の IP レベルの経路、AS レベルの経路
 - PlanetLab ノード間でフルメッシュに traceroute を実行し、IP レベル経路を取得 (2008/11/12)
 - Route Views Project で公開されている IP アドレスと AS 番号の対応を取得し、traceroute データで取得した IP アドレスを当てはめ、AS レベル経路を取得
 - 真のトランジット数
 - CAIDA が公開しているデータ及び AS の次数から推定

真のトランジット数と各指標の相関関係

- 各ノード間の真のトランジット数と各指標(ルータホップ数, 遅延時間, 利用可能帯域)に対し、ピアソンの積率相関係数 C を求める

$$C = \frac{\sum (x_{ij} - \bar{x})(y_{ij} - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_{ij} - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y_{ij} - \bar{y})^2}}$$

評価結果

ルータホップ数	0.420
遅延時間	0.300
利用可能帯域	-0.027

利用可能帯域の相関係数の絶対値が他指標に比べて著しく低い

重回帰分析の精度, および計算の複雑さの観点から, ルータホップ数および遅延時間のみを用いて重回帰分析を行う

重回帰分析によるトランジット数の推定式

- 各指標の推定式における係数 b は次式で求められる

$b = S^{-1}c$ S : 各指標間の偏差平方和・積和とベクトル
 c : 各指標とトランジット数の偏差積和とベクトル

- 推定式の切片 b_0 は次式で求められる

$b_0 = \bar{t} - r\bar{b}_0 - \bar{d}b_1$ b_0, b_1 : b のルータホップ数, 遅延時間成分
 t_i, t_j, t_k : トランジット数, ルータホップ数, 遅延時間の平均

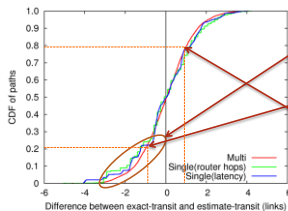
- 以上から求めたノード N_i, N_j 間のトランジット数の推定値 T_{ij}^c

$T_{ij}^c = 0.1419h_{ij} + 0.002482\delta_{ij} + 1.136$
 h_{ij} : ノード N_i, N_j 間のルータホップ数
 δ_{ij} : ノード N_i, N_j 間の遅延時間(ms)

重回帰分析による推定式の精度

- 推定式の精度を次式 d_{ij} の累積分布を用いて評価

$d_{ij} = T_{ij}^e - T_{ij}^c$ T_{ij}^e : 真のトランジット数
 T_{ij}^c : 推定式によるトランジット数の推定値

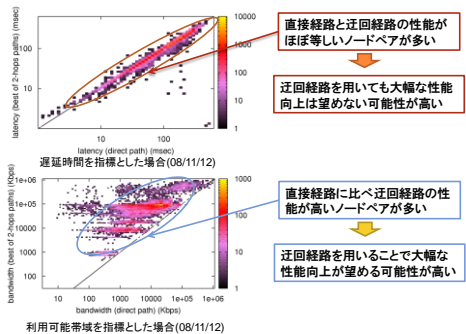


単回帰式よりも精度がよい

80%以上の割合で過大推定の大きさは1以下

80%以上の割合で過少推定の大きさは1以下

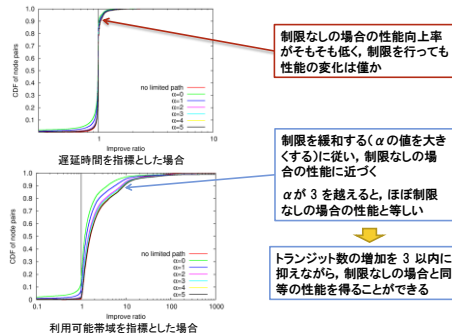
トランジット数を制限しない場合のオーバレイルーティングの評価(1)



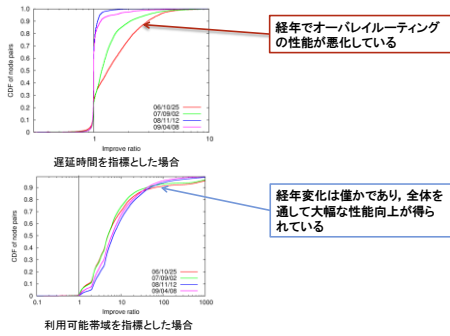
直接経路と迂回経路の性能がほぼ等しいノードペアが多い
 迂回経路を用いても大幅な性能向上は望めない可能性が高い

直接経路に比べ迂回経路の性能が高いノードペアが多い
 迂回経路を用いることで大幅な性能向上が望める可能性が高い

トランジット数を制限した場合のオーバーレイレーティングの評価



トランジット数を制限しない場合のオーバーレイレーティングの評価(2)



まとめと今後の課題

- オーバーレイレーティングによって発生する ISP のコスト悪化を低減するオーバーレイレーティング手法の提案
 - 一般には取得できない経路上のトランジット数を取得容易な性能指標で推定
 - オーバーレイレーティングの経路選択の際に、トランジット数の増加幅を制限する
 - PlanetLab 環境を想定した数値評価により、増加幅の制限が3以上の場合、真のトランジット数を用いた場合と同じく、制限がない場合と同等の性能が得られることを明らかにした
- 今後の課題
 - 性能指標のはずれ値を考慮した重回帰分析の精度向上
 - 複数の選択指標を用いた場合におけるオーバーレイレーティングの性能評価

提案方式を用いてトランジット数を制限した場合のオーバーレイレーティングの評価

