

省電カルータに与える負荷を考慮した エンド間帯域計測手法の提案

小林大翼¹、○長谷川 剛 (ごう)^{1,2}、村田正幸¹
¹大阪大学大学院情報科学研究科、²大阪大学サイバーメディアセンター

研究背景 (1): バックボーンネットワークの省電力化

- 経路の片寄せを行い、リンク/ポート/ボード/ノードの電源を落とす
 - トポロジ変化を伴うため、特にIPなどの経路制御プロトコルへの影響が避けられない
 - スケジュール動作 (例: 夜間のみ)
- ルータやスイッチ等の電力比例性 (energy proportionality) を向上させる
 - トラフィック量に合わせてリンク帯域や処理能力を調整
 - リンク切断は伴わない
 - リンク速度(のみ)の変動
 - 省電力G-PON、ADSL2(+) など

P. Mahadevan, P. Sharma, S. Banerjee, and P. Ranganathan, "A Power Benchmarking Framework for Network Devices," in Proceedings of IFIP Networking 2009, May 2009.

研究背景 (2): 省電カルータ

- ルータのインタフェースボードの機能をスライス化して実装し、トラフィック量に応じて駆動させるスライス数を決定する
 - マイクロ〜ミリ秒の周期でトラフィック量を監視し稼働スライス数を変動させる

Yuji Yano, Hisashi Iwamoto, Yasuto Kuroda, Shiro Ohtani, Shingo Ata and Kazunari Inoue, "A Slice Structure Using the Management of Network Traffic Prediction for Green IT", IEEE High Performance Switching and Routing (HPSR), Belgrade, Serbia, pp.250-255, June 2012.

研究背景 (3): 上位層プロトコルとの相互作用

- リンク切断を伴わないため、経路制御プロトコルへの影響は小さい
- 第4層、第7層プロトコルへの影響
 - エンド間バスの物理帯域 (キャパシティ) が時間変動するよう見える
 - 既存プロトコルは、キャパシティの変化は、経路変更に伴うものを除いては発生しないとして設計されている
 - 利用可能帯域 (残余帯域)、ラウンドトリップ時間が輻輳以外の要因で変動する
 - 帯域やスループットの計測や、計測結果に基づいて動作するプロトコルの性能が劣化する
- エンド間帯域計測の省電カルータの挙動への影響
 - 帯域計測は一時的にリンク帯域を使い切ることが必須
 - リンク利用率が上がり、省電力モードが解除される
 - 省電カルータの省電力効果が低下する

Daisuke Kobayashi, Go Hasegawa, and Masayuki Murata, Evaluation and improvement of end-to-end bandwidth measurement method for power-saving routers, in Proceedings of CQIR 2012, May 2012.

研究の目的

- 省電カルータの省電力効果を損なうことの無い、エンド間帯域計測手法の提案
 - PathLoad (利用可能帯域計測), CapProbe (キャパシティ計測) を基に手法を構築
 - キャパシティと利用可能帯域を同時に計測
 - 省電カルータの現在のキャパシティに基づいたPathLoadのパラメータ調整
 - PathLoadの計測パケットを物理帯域計測にも使えるように送信する
 - 過去の計測結果に基づいたPathLoadのパラメータ調整による計測の高頻度化

M. Jain and C. Dovrolis, "End-to-End available bandwidth: Measurement methodology, dynamics, and relation with TCP throughput," in Proceedings of ACM SIGCOMM 2002, pp. 295-308, July 2002.
 R. Kapoor, L. Jyh Chen, A. N. M. Gerla, and M. Y. Sanadidi, "CapProbe: a simple and accurate capacity estimation technique," in Proceedings of ACM SIGCOMM 2004, pp. 67-78, August 2004.

Pathload

- 利用可能帯域計測アルゴリズム
 - 送信端末から受信端末に一定のレートでパケットストリームを送信
 - パケット間隔の変化を観測
 - 間隔が広がった → 次回送信レートを減少
 - 間隔が不変だった → 次回送信レートを増加
 - 二分探索により利用可能帯域を推定
 - 計測精度は高いが、短時間に高レートでパケットストリームを送信

1. 一定のパケット数、送信レートでパケットストリームを送信
 2. 送信レート>利用可能帯域の場合にはパケット間隔が増加
 3. 観測結果に基づき次回送信レートを調整

省電力ルータと Pathload が相互に与える影響

- Pathload の計測によって省電力ルータが物理帯域を増加
 - 計測トラフィックがリンク利用率を上昇させるため
- 計測中に物理帯域が増加し計測精度が低下
 - 増加した物理帯域に基づく利用可能帯域を計測

計測負荷により物理帯域が10Mbps増加

増加した物理帯域を計測

7

ストリームに含まれるパケット数の調整

$$U(t_{j-1}) = w \sum_{k=0}^{j-1} (1-w)^{j-1-k} \frac{R(f)}{C(t)} + \frac{R^C}{C(t)} \leq \lambda_u$$

計測ストリーム通過時の平均リンク利用率

Pathloadのストリームによって上昇するリンク利用率

クロストラフィックによって上昇する利用率

閾値

パケットストリームに含まれるパケット数 j を調整することで計測負荷による物理帯域の増加を防ぐ

8

エンド間物理帯域計測手法 CapProbe

- パケットペア推定法を用いた物理帯域計測手法
 - 2つのパケットを近接させて送信し、narrow linkで広がった間隔に基づき、物理帯域を推定

- CapProbe: 送受信端末間で経験した遅延時間が最小のパケットペアの結果を採用する
 - 他の方式に比べて高速かつ高精度な計測が可能

9

利用可能帯域と物理帯域の同時計測

- 利用可能帯域計測用パケットストリームをパケットペアで構成
 - 物理帯域を同時に計測する

- パケットストリーム長 (パケット数)、ストリーム数も調整対象

$$U(t_{j-1}) = w \sum_{k=0}^{j-1} (1-w)^{j-1-k} \frac{R(f)}{C(t)} + \frac{R^C}{C(t)} \leq \lambda_u$$

10

過去の利用可能帯域計測結果の利用

- 過去の計測結果に基づいて、次回計測の初期探索範囲を決定する
 - 利用可能帯域の変動が小さい場合には初期探索範囲が小さくなり、計測時間が短縮する

二分探索を行い、探索範囲が一定範囲以下になった場合計測終了

11

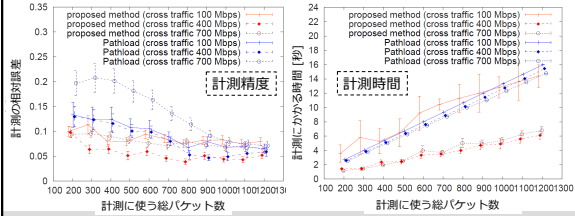
シミュレーション設定

- 省電力ルータの設定
 - 最大帯域: 1Gbps、スライス数: 10、利用率の閾値: 0.8/0.3、利用率観測間隔: 1ms
- 比較対象: Pathload
 - 通常ルータを使用
 - パケットストリーム長: 50/パケット固定
- 評価項目
 - 計測に用いる総パケット数が計測精度と計測時間に与える影響
 - 省電力ルータへの影響

12

シミュレーション結果 (1)

計測精度と計測時間

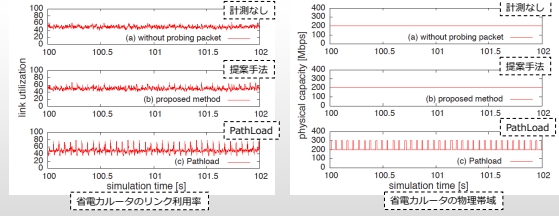


- 提案方式は、計測に使える総パケット数が少ない場合でも精度を悪化させずに計測が可能
- 計測時間はPathLoadと同等、あるいは大きく短縮される

13

シミュレーション結果 (2)

省電カルータへの影響



- 提案手法は計測中の省電カルータのリンク利用率への影響が小さく、物理帯域を上昇させない
- 省電カルータの省電力効果は維持されている

14

まとめと今後の課題

まとめ

- Pathloadと省電カルータが相互に与える影響を考慮したエンド間帯域計測手法の提案
- 物理帯域と利用可能帯域を同時に計測
- 省電カルータの挙動および過去の計測結果に基づき、計測精度を維持しつつ、省電カルータに影響を与えないように計測パラメータを調整

今後の課題

- 省電カルータの存在がトランスポートプロトコルの性能に与える影響の評価
- 提案手法を用いて計測した利用可能帯域に基づく輻輳制御機構を持つトランスポートプロトコルの提案

15