

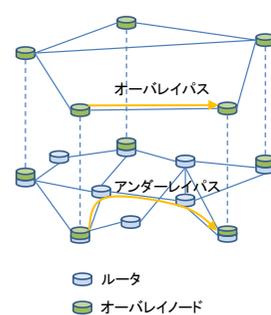
## 計測衝突を軽減するための分散型オーバーレイネットワーク計測手法

大阪大学 大学院情報科学研究科  
 ○ディン ティエン ホアン  
 長谷川 剛  
 村田 正幸

1

### 研究の背景(1):オーバーレイネットワーク

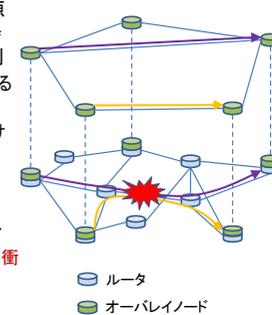
- ネットワークサービスの迅速な展開を可能にする技術
- 本研究が対象とするオーバーレイネットワーク
  - IPネットワーク上に論理的に構築されたネットワーク
  - オーバーレイノードをルータ上に配置する
    - オーバーレイルーティングによる効率的なトラフィック制御を行うため



2

### 研究の背景(2):ネットワーク計測と計測衝突問題

- アンダーレイネットワークの資源や品質(利用可能帯域、遅延時間、パケット廃棄率など)の計測
  - オーバーレイルーティングにおける経路選択
  - ファイル共有ネットワークにおけるサーバ選択
  - ネットワーク障害の検出
- 計測衝突問題
  - 経路が重複しているオーバーレイバスを同時に計測すると、計測衝突が発生
    - 計測精度が低下
    - リンク負荷が増大



3

### 研究の背景(3):既存ネットワーク計測手法

- RON[1]: すべてのオーバーレイバスの計測(フルメッシュ計測)を行うため、計測オーバーヘッドが大きい( $O(n^2)$ )
- [2]: バスの経路が重複していることを利用し、一部のバスを計測し、全バスの計測結果を推測することにより、計測オーバーヘッドを  $O(n \log n)$  まで削減
- [3]: バスの計測タイミングをスケジューリングすることにより、計測衝突を回避

**問題点**

一箇所(マスターノード)による集中管理を行うため

- 経路情報収集にかかる時間とトラフィック量が大きい
- 経路やオーバーレイ・アンダーレイネットワークに変更があった際の性能低下

[1] D. G. Andersen, H. Balakrishnan, M. F. Kaashoek, and R. Morris, "Resilient overlay networks", in Proceedings of 18th ACM Symposium on Operating Systems Principles, Oct. 2001  
 [2] G. Tang and P. McKinely, "On the cost-quality tradeoff in topology-aware overlay path probing", in Proceedings of the 11th ICNP, Nov. 2003  
 [3] M. Fraiwan and G. Manimaran, "Scheduling algorithms for conducting conflict-free measurements in overlay networks", Computer Networks, vol. 52, pp. 2819-2830, Oct. 2008

4

### 研究の目的と提案手法の概要

**研究の目的**

計測衝突を回避するための分散型ネットワーク計測手法の提案

**提案手法の概要**

オーバーレイバスの始点ノードが以下を実行

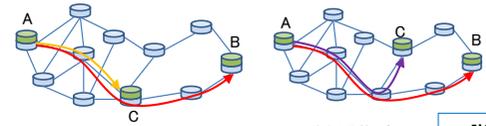
1. バスの重複状態の検出
2. 計測不要のバスを発見し、計測オーバーヘッドを削減
3. 計測対象のバスに対して、他バスとの計測衝突を回避
  - 過去の計測結果に応じた計測頻度の要求量を決定
  - 重複状態に基づき計測頻度を調整
  - 計測タイミングの決定
4. 必要最小限の他オーバーレイノードと計測結果を交換し、統計処理により計測結果の精度を向上

5

### 重複バスの検出: 始点ノードが同じバス

**分類**

- 完全重複バス: 計測したいバスに完全に含まれるバス
- 片側重複バス: 始点ノードから経路途中のルータまでが同じであるバス



**検出方法**

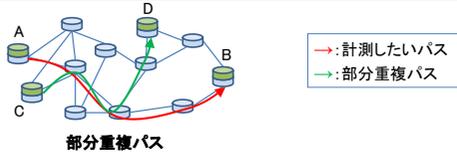
始点ノードから、他のノードへtracerouteを発行

6

### 重複パスの検出: 始点ノードが異なるパス

#### 分類

- 部分重複パス: 始点ノード以外の一部のルータを共有するパス



部分重複パス

#### 検出方法

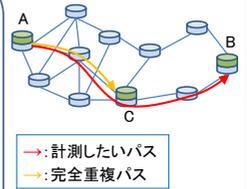
1. Aから、B、C、Dへtracerouteを発行
2. ABとACが片側重複する、かつABとADが片側重複する場合、ABとCDが部分重複する可能性があるかと判断する
3. AはCと経路情報の交換を行い、ABとCDが部分重複するかどうかを判定

### 計測パス数の削減

- 他のパスを完全に含むパス
  - 直接計測せず、部分パスの計測結果を用いて推定する

#### パスABの計測結果推定手順

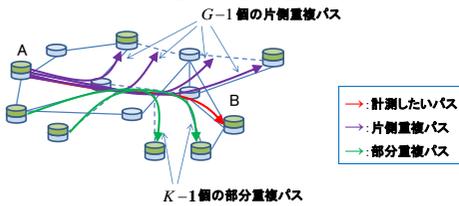
1. AがBに対して、tracerouteを発行
2. tracerouteの通信パケットがCを通過
3. Cは自身がパスAB上に存在するを知る
4. CはパスCBを計測し、結果をAに送信
5. Aはtracerouteの実行結果より、CがパスAB上に存在するを知る
6. AはパスABを直接計測せず、パスACのみを計測
7. AはパスACの計測結果と、パスCBの計測結果より、パスABの計測結果を推定



例: ABの遅延時間 = ACの遅延時間 + CBの遅延時間

### 計測頻度と計測タイミングの決定

- 他のパスを含まないパス
  - オーバレイパスは複数の片側重複パスと部分重複パスをもつ

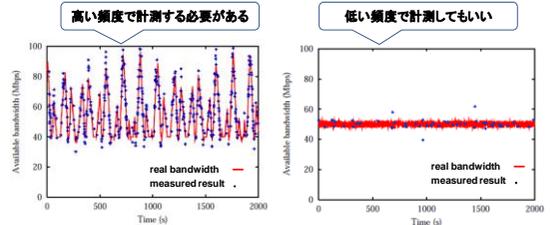


#### 計測方針

パスABの計測頻度と計測タイミングを適切に決定し、パスABとその片側重複パスと部分重複パスの計測衝突を回避する

### オーバレイネットワークにおける計測

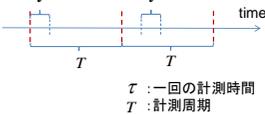
- 計測結果の変動の大きさに応じて、計測頻度を調整
  - 変動が大 → 計測頻度を増やす
  - 変動が小 → 計測頻度を削減



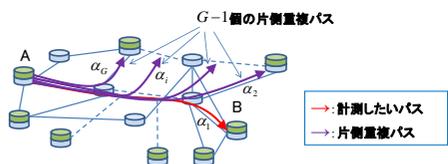
[4] C. L. T. Tan, G. Hasegawa, and M. Murata, "Monitoring overlay path bandwidth using an inline measurement technique", IARIA International Journal on Advances in Systems and Measurements, vol. 1, no. 1, pp. 59-60, 2008

### 計測頻度の要求量

- 過去の計測結果の変動の大きさに基づいて計算
- 計測頻度の大きさを表す指標
  - 計測時間割合:  $\alpha = \frac{\tau}{T}$



- パスABの計測時間割合の要求量:  $\alpha_1$
- G-1個の片側重複パスの計測時間割合の要求量:  $\alpha_2, \dots, \alpha_G$



### 計測頻度の調整(1/2)

- パスABとG-1個の片側重複パスの計測衝突を回避するために、計測時間割合を調整
  - オーバレイノードAはパスABとG-1個の片側重複パスの計測を逐次的に行うことにより、片側重複パスとの計測衝突を完全に回避することができる
  - 計測時間割合の要求量の合計が1より大きい場合、計測時間割合を調整

$$\beta_i = \begin{cases} \frac{\alpha_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_G} & , \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_G > 1 \\ \alpha_i & , \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_G \leq 1 \end{cases}$$

### 計測頻度の調整 (2/2)

- パスABと $K-1$ 個の部分重複パスの計測衝突を軽減するために、計測時間割合を調整
  - 部分重複パスは、A以外のオーバレイノードが計測するため、パスABと $K$ 部分重複パスの計測衝突は**確実に回避できない**
- 計測衝突の確率を小さくする
  - パスABの計測時間割合を $1/K$ 以下に調整

$$\gamma_1 = \min(\beta_1, 1/K)$$

- パスABの計測タイミングを**ランダム**にする

#### 調整結果

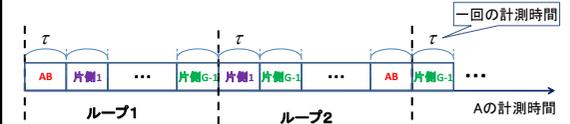
- パスABの計測時間割合:  $\gamma_1$
- $G-1$  個の片側重複パスの計測時間割合:  $\gamma_2, \dots, \gamma_G$

13

### 計測タイミングの決定方法

パスABと $G-1$ 個の片側重複パスの計測時間割合を $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_G$ にする方法

- 計測時間をスロットに分割
- $G$  個のスロットをまとめ、1つの計測ループとする
- パスABと $G-1$ 個の片側重複パスの計測順番を**ランダム**に決定
- パスABと $G-1$ 個の片側重複パスの計測時間割合が $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_G$  になるようにパスの計測時間をループ内の各スロットに割り当てる

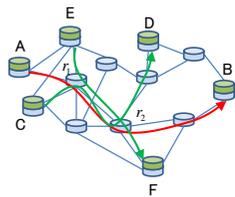


14

### 情報交換による計測精度の向上

部分重複パスの始点ノードと、計測結果を交換し、計測結果の統計処理を行う

- 例: A, C, Eが $(r_1, r_2)$ の遅延時間を交換して、その平均値を $(r_1, r_2)$ の遅延時間とする
- 重複部分の計測結果の精度が向上すれば、パス全体の計測結果も向上すると期待できる

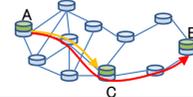


→: 計測したいパス  
→: 部分重複パス

15

### 性能評価: 計測オーバーヘッド

他のパスを完全に含むパスは計測しないため、その数だけ、計測パス数を削減できる



$$\frac{\text{提案手法の計測パス数}}{\text{既存手法RON[1]の計測パス数}} < \sum_{r=1}^{L_{\max}} P(r)(1-d)^{r-1}$$

$L_{\max}$ : オーバレイパスの最大経路長  
 $P(r)$ : 経路長が  $r$  であるパスの割合  
 $d$ : オーバレイノード数の割合

$$\begin{aligned} & \cdot \sum_{r=1}^{L_{\max}} P(r) = 1 \\ & \cdot 0 < d \leq 1 \end{aligned} \Rightarrow \begin{aligned} & \cdot \sum_{r=1}^{L_{\max}} P(r)(1-d)^{r-1} < 1 \\ & \cdot d \text{ が } 1 \text{ に近づくほど、} \sum_{r=1}^{L_{\max}} P(r)(1-d)^{r-1} \text{ が小さくなる} \end{aligned}$$

オーバレイノードの割合が高いほど、提案手法の計測パス数が大きく削減される

16

### まとめと今後の課題

- まとめ
  - 分散型ネットワーク計測手法を提案
    - オーバレイノードが自律的に重複状態を検出し、計測パス数を削減
    - 重複状態に応じてパスの計測頻度と計測タイミングを決定し、計測衝突を回避
    - 計測結果を必要最小限の他オーバレイノードと交換し、統計処理より精度を向上
  - 計測オーバーヘッド削減の効果を評価
    - オーバレイノードの割合が高いほど、提案手法の計測パス数が大きく削減される
- 今後の課題
  - シミュレーションによる性能評価
  - 計測アーキテクチャの構築

17