

機関番号： 12608

研究種目： 若手研究 (B)

研究期間： 2009 ～ 2010

課題番号： 21700070

研究課題名 (和文)

IP トポロジの特徴を高速に検出可能なネットワーク計測手法に関する研究

研究課題名 (英文)

Studies on network measurement technique for rapid detection of  
IP topology characteristics

研究代表者

益井 賢次 (MASUI KENJI)

東京工業大学・学術国際情報センター・特任助教

研究者番号： 60531340

研究成果の概要 (和文)：

本研究では、インターネットアプリケーションの自律的な動作をサポートする方法として、IP トポロジ情報の収集と共有に注目した。実環境で多数の計算機が協調しながら IP トポロジ情報を収集するフレームワークを実装し、このような協調計測手法の実現可能性を示した。また、IP トポロジの協調計測におけるノード検出回数は、インターネットの管理ドメインの境界の検出に有用な指標であることを確認した。

研究成果の概要 (英文)：

In this study, we worked on the collection, share, and analysis of IP network topology to accelerate the autonomous activity of network applications. We implemented a real system on which a number of network nodes cooperate to measure the IP network topology and showed the feasibility of cooperative measurement system. We also confirmed that the number of detections in the cooperative IP topology measurement could be a handy index to detect the boundary of management domains on the Internet.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学／計算機システム・ネットワーク

キーワード：ネットワーク計測・分散協調計測手法

## 1. 研究開始当初の背景

様々な機器・端末間の通信の基盤として、インターネットは広域に展開し、なおもその規模を拡大しつつある。同時に、3G/LTE といった携帯電話網や無線 LAN、データセンター内の低遅延・高速志向の Ethernet リンクなど、インターネットへの接続形態や構成リンクの特性なども多様化している。

このような中で従前より、インターネットは簡素で接続性の高い情報伝達網として利用されているが、それにとどまらず、ネットワークの状況をアプリケーションが把握することで、より高機能なアプリケーションサービスを提供するという、アプリケーションの自律性を重要視する流れもある。特に Peer-to-Peer 方式の接続で情報共有を促進する基盤ソフトウェアが普及した 00 年代前半からは、ネットワークアプリケーションの自律性を高める点に主眼を置いた研究・開発が盛んに行われている。

このような中で、本研究は特に、帯域・遅延・パケットロス率・IP ネットワークトポロジといったネットワークの特性情報をもとに、ネットワークアプリケーションがサービスの品質を向上させられる可能性を検討するものである。

## 2. 研究の目的

前述のようなアプリケーションの自律性を高めるために、ネットワーク特性情報がどれだけ寄与できるか、という点の検証が、本研究の大前提である。その中で、以下のようにいくつかの制約条件を設定した。

まず、ネットワークの特性情報を、一般的なアプリケーションが目的のサービスを妨げない範囲で収集することを条件とする。すなわち、原則としてネットワークの特性情報の収集に専らあたるような計測ノードの存在や、あるいは通常、ネットワーク管理者しか知り得ないようなネットワーク構成の事前知識が提供されるようなことは想定しない。これは、現在動作しているネットワークアプリケーションの動作・形態への修正が軽微で済み、自律動作による効用をただちに得られるという漸進的なメリットを重視するためである。

同様に、現在のインターネットにおける現実的な実現方法を重視することから、インターネットの基盤技術のみで得られる情報を、ネットワーク特性情報として扱うものとする。つまり、あるネットワーク自身がインターネットよりもよりインテリジェントな機能を内包していて、アプリケーションの動作をサポートするようなケースは、今回の研究対象には該当しない。あくまでインターネットは簡素な情報伝達路として、アプリケーションの意向とは独立して構成・運用・機能しているものとする。

現状のインターネット運用を意識したこれらの前提の元、本研究では特に IP トポロジ情報をネットワーク特性情報として取り扱い、アプリケーションがこれを活用する対象とする。IP トポロジ情報は、traceroute に代表される手法で簡便に収集できる情報で、かつこれによりノード自身から見て目的ノードまでの通信経路の構成を知ることができるため、幾何的な解析によりアプリケーションレベルでの通信路の選択等に役立てられることが期待できる。

加えて、本研究の鍵となるアイデアとして、IP トポロジ情報を複数ノードで共有し、互いに参照可能な状態にすることを考える。単一ノードが収集できる IP トポロジ情報は基本的に、そのノードを起点とした宛先方向への有向グラフとなる。しかし、計測ノードが複数になることにより、収集可能な IP トポロジ情報の網羅性や正確性、および収集速度が向上することが期待できる。これを通じて、ネットワークアプリケーションによる IP トポロジ情報の活用が促進されることを狙っている。

以上を踏まえ、本研究では、IP トポロジ情報を複数ノードで収集し共有できるネットワーク環境において、アプリケーションの自律性の向上とその結果としてのサービス最適化につながる有用なトポロジ指標が得られるか、検証を行うことを目的とした。そして、現状のインターネットアーキテクチャを前提としているため、あくまで traceroute など既存の実現可能な計測手法や情報共有手段を用いることを原則とした。

### 3. 研究の方法

(1) 本研究では、目的の節で述べたような IP トポロジをもとにしたトポロジ指標の検証を行う前段階として、まず複数ノードで IP トポロジを収集し、共有できる情報基盤が実現可能であるかを検証することにした。

具体的には、以下のように基盤システム Decentralized Tracing System (DTS) を設計した。ネットワークアプリケーションを実行していると想定する複数ノードの間で Distributed Hash Table (DHT) ベースの構造化 Peer-to-Peer ネットワークを構成する。DHT アルゴリズムには、Chord を採用した。Chord を元にした共有ストレージ部分には、DTS に参加しているノードの情報も蓄積され、必要に応じて DTS ノード間で通信チャンネルを構成することもできる。

このような情報基盤の上で、Doubletree と呼ばれる traceroute を複数ノードで効率よく実行する方式を実装し、実環境においてこのような協調計測手法が動作しうるかを検証することにした。DTS 上の Doubletree では、目的別に 3 つの異なる共有ストレージを準備する。それぞれ、IP トポロジのプロブ活動をノード間で制御し合う Probing Control (PC) 用、プロブ先の情報である Probing Target (PT) 用、そして実際にプロブを行った結果を格納する Probing Data (PD) 用である。

(2) (1) における実システムの展開の結果、実際に IP トポロジ情報を収集する上での問題点を分析し、より実現性が高く、またアプリケーションの自律動作に有用と思われる指標について検討を行うことにした。

この新たな指標について、実環境・広域ネットワークでの情報収集を通じて有用性を検証することにした。

### 4. 研究成果

(1) 「研究の方法」の (1) で述べたシステム DTS を実装し、広域ネットワークテストベッド環境である PlanetLab で動作させた。この動作実験においては、16 台の PlanetLab ノードを用い、1024 個のプロブターゲットを用意した上で、PT 用ストレージに格納された

情報を取得してから Doubletree の計測活動に入るまでの時間などを評価することで、実環境で許容可能な程度の動作速度を確保できるかを検証するものである。検証の結果、PT 用ストレージに格納する情報の単位 (チャンク) のサイズを選択することで、より高速に Doubletree の処理を実行することが出来ることがわかった。また、計測ノードに障害が発生して DTS を離脱した際の計測結果への影響等についても検証し、チャンクの細分化が障害発生時の影響を緩和することを示した。

(2) (1) で示した実験を通じて、Doubletree のような IP トポロジ構造を共有する方法では、共有情報の構造が複雑化してアプリケーションにとっては取り扱いにくいことが問題として浮かび上がった。このことをふまえ、より簡潔な構造の情報として、複数ノードからの traceroute における中継ノードの検出回数を IP トポロジ構造の指標として選択した。そして、特に大容量通信を行う Peer-to-Peer ネットワークアプリケーションが ISP や AS (Autonomous System) 間をまたぐ通信の量を削減することが、アプリケーションの性能向上にも役立ち、またインターネット運用上も重要であることから、前述の指標がこのような管理ドメインの境界を検出することに利用できるか、検証した。

検証には、WHOIS 登録情報や BGP (Border Gateway Protocol) でやり取りされる AS 間経路情報を組み合わせたものを正解の一つとして用い、それと提案方式の動作実験結果を照らし合わせることで、提案方式が AS 等を単位とするネットワーク境界を正しく検出できるかどうかを確認した。このような正解情報はデータ量が膨大であり、かつ更新も頻繁に発生するため、エンドノード上のアプリケーションが各々保持して活用することが難しい。一方でエンドノード・エンドユーザだけで処理が完結し、事前知識を持たずに動作する提案方式が、ネットワーク境界をいかに高速かつ正確に検出できるかが評価の鍵となる。評価の結果、提案方式は、ネットワークアプリケーションの動作において現実的な時間内に、一定の精度でネットワーク境界を検出できることが確認でき、自律動作に重点を置くインターネットアプリケーションのためのネットワーク計測手法として

実用化の可能性を示唆できた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 1 件)

1. Kenji Masui and Benoit Donnet, “DTS: a Decentralized Tracing System.” In Proceedings of the 1st International Workshop on Traffic Monitoring and Analysis (TMA'09; May 11, 2009; Aachen, Germany), Lecture Notes in Computer Science, vol. 5537, pp. 126–134 (2009).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

益井 賢次 (MASUI KENJI)  
東京工業大学・学術国際情報センター・  
特任助教  
研究者番号： 60531340

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし