

## 中継ノードを利用した長距離 TCP データ転送の 効率向上と中継ノード発見手法の比較

小林 弘和<sup>†</sup> 中山 雅哉<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 東京大学大学院新領域創成科学研究科 〒277-8561 千葉県柏市柏の葉 5-1-5

<sup>††</sup> 東京大学情報基盤センター 〒113-8658 東京都文京区弥生 2-11-16

E-mail: <sup>†</sup>koba@cml.k.u-tokyo.ac.jp, <sup>††</sup>nakayama@nc.u-tokyo.ac.jp

あらまし 遅延が大きな 2 地点間で TCP を用いたデータ転送を行うと、帯域遅延積の制約からリンク間帯域を十分使うことができない問題があることが知られている。本稿では、データ送受信ノードの間に、データ転送を中継するノードを置くことで送受信ノード間の RTT を仮想的に分割し、転送スループットを向上させる手法を提案している。本提案手法を用いることで、RTT が 100ms 以上の環境では、直接データ転送するよりもスループットを向上させることが示された。また、中継ノードの選定手法として、ping コマンドと traceroute コマンドを利用する 2 種類の手法を比較し、ping を用いた手法が有効であることが示された。

キーワード 中継ノード, 大きな RTT, RTT の仮想的分割, ping, traceroute

## Improvement of Efficiency and Comparing Methods of Discovering a Relay Node of a Long-Distance Data Transfer with TCP Using a Relay Node

Hirokazu KOBAYASHI<sup>†</sup> and Masaya NAKAYAMA<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo Kashiwanoha 5-1-5, Kashiwa-shi, Chiba, 227-8561 Japan

<sup>††</sup> Information Technology Center, The University of Tokyo Yayoi 2-11-16, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8658 Japan

E-mail: <sup>†</sup>koba@cml.k.u-tokyo.ac.jp, <sup>††</sup>nakayama@nc.u-tokyo.ac.jp

**Abstract** It is known that available bandwidth between two nodes whose RTT is large and using TCP is lower than link-bandwidth by bandwidth-delay law. In this paper, we propose a transfer method that uses a relay node to split RTT virtually and improves throughput. We show that proposed method can improve throughput in the surroundings that RTT is more than 100ms between two nodes comparing with direct transfer. We also propose two method to select a relay node, one uses ping command and other uses traceroute command and show that the former is more effective than the latter.

**Key words** Relay Node, Large RTT, Splitting RTT virtually, ping, traceroute

### 1. はじめに

近年、地球環境を観測・検証する研究分野や高エネルギー物理学の分野などでは、地球規模において数 GB~数 TB のデータ転送を行う需要が高まっている。このような分野では、大陸間を跨がるような長距離データ転送を行う必要がある。そして、

データ転送における送受信ノード間の往復遅延時間 (Round Trip Time, RTT) は、100ms~と非常に大きなものである。

ファイル等のデータ転送においては、トランスポート層におけるプロトコルとして TCP を利用するのが一般的である。しかし、TCP はその構造上、実現可能なスループットが帯域遅延積によって支配される。帯域遅延積とは、式 (1), (2) で表される様に、主にリンク間の帯域、リンク間の RTT によってアプリケーションにおける最大スループットが制限されてしまう

(注1): 小林弘和の現在の所属は、株式会社 日本アイ・ビー・エム である

法則のことである。

ここで、

$$\begin{cases} \text{ReceiveWindowSize}(RWS) = w(KB) \\ RTT = r(ms) \\ \text{リンク間の帯域} = z(Mbps) \\ \text{MaximumTransmissionUnit}(MTU) = m(KB) \end{cases}$$

としたとき、アプリケーションが実現可能な最大スループット  $Th(Mbps)$  は、パケットロスやビットエラーがない理想環境においては、理論的に

$$\frac{8w}{z} \leq r \text{ のとき, } Th \approx \frac{8w}{r + \frac{8m}{z}} \quad (1)$$

$$\frac{8w}{z} \geq r \text{ のとき, } Th \approx z \quad (2)$$

として計算可能である。すなわち (2) 式が成立する、 $r$  が小さい場合には、 $Th$  は  $r$  の変化に影響されない。一方、(1) 式が成立する場合は、 $Th$  は  $r$  の影響を受け、 $r$  が増加する程、 $Th$  は低下することになる。そのため、RTT が 100ms 以上と大きい 2 地点間におけるデータ転送では、高スループットを実現することが困難である。

そこで本研究では、送受信ノード間に中継ノードを置き、RTT のみに着目した中継ノード選定手法によって、本来送受信ノード間で張られる TCP コネクションを中継ノードによって切断し、送受信ノード間の RTT を仮想的に短く見せ、スループットの向上を図る。そして、直接転送時におけるスループットと本手法によるスループットの比較、検討を行う。また中継ノードの選定手法としては、ping を利用する手法、traceroute を利用する手法の 2 つの手法を用い [8]、両手法の比較、検討を行う。

## 2. 関連研究

広域分散環境下において TCP を利用したデータ転送を行う際は、帯域遅延積の環境を受けることを述べた。ここでは、そのような環境下において帯域遅延積の影響を少なくし、高スループットの実現を目指している関連研究を挙げる。

### 2.1 GridFTP

GridFTP は、従来ファイル転送に広く利用されている File Transport Protocol(FTP) を、広域環境下に適応させたものである。GridFTP の特徴の 1 つとして、送受信ノード間で帯域遅延積の 1 つの要因であった RWS を動的に交渉する機能を持つことを提案している。RWS の動的交渉手法に関して提案されている手法は、実際にリンク間にテストデータを送信し、リンク間の帯域を測定し、RWS を決める手法 [3] である。しかし、この手法を用いると、最終的に求められる RWS がテストデータを送信したときの RWS に依存してしまう問題点が考えられる。現在のところ、RWS の交渉を動的に行う具体的実装や、動的交渉を行う手段も確定的なものは存在せず、現在も研究が進められている。[7]

また、もう 1 つの特徴として、データの並列転送機能を持つ。1 つのデータを複数の TCP コネクションを用いて同時に

転送を行ったり、また、予めデータが複数箇所に配置されていれば、それぞれの場所から断片を転送することができる。しかし、この手法でも、前者の場合は、送受信ノード間に一箇所でもボトルネックがあれば、並列に張ったコネクションすべてが同じボトルネックで転送に影響を受けることになり、後者の場合は、予めデータを複数箇所に配置しておかなければならない問題が生じる。

### 2.2 RON, File Mover

Resilient Overlay Network(ROn) [4], [5] や File Mover [6] と呼ばれるシステムは、オーバーレイネットワークを構築し、中継ノードによって、データ転送の際に送受信ノード間で本来利用されるインフラネットワークにおける経路とは異なった経路を用いてデータ転送を行うシステムである。これらのシステムでは、各ノード間でフルメッシュのトポロジを構成し、それらのリンク間の状態を定期的に観測している。RON であれば、独自のプロトコルを利用し、プローブパケットを送出することにより計測し、File Mover であれば、Iperf [2] を利用してリンク間の利用可能帯域を測定している。そして、各リンク間の情報を全てのノードで共有する。RON の場合は、1 台のノードが得た情報を全てのノードに通知することにより共有し、File Mover の場合は、Information Server と呼ばれるノードに集めて集中管理する。そして、実際にデータを転送する際は、以前に集めておいた情報を利用して、中継ノード、転送経路を決定する。

これらの手法では、各ノード間でフルメッシュのトポロジを作成するため、各リンク間の情報を定期的に計測することがシステムのオーバーヘッドとなる。フルメッシュを作成するため、リンク間情報を計測するために必要なデータ量は、ノード数を  $N$  とすると、 $o(N^2)$  で増加する。そのため、ノード数が 50 台以上程度の規模になると、システムのスケーラビリティに欠けることが問題視されている。

## 3. 提案手法

### 3.1 RTT に着目したコネクション分割手法

送受信ノード間のスループットは、送受信ノード間の RTT が大きく (100ms~) なければなるほど、帯域遅延積の影響を受ける。そこで我々は、送受信ノード間の RTT を中継ノードを利用することにより、仮想的に短くする。送受信ノード間の TCP コネクションは、本来エンドーエンド間で張られるが、中継ノードを用いてコネクションを送信-中継ノード、中継-受信ノード、に分割してやることにより、RTT を仮想的に短く見せることが可能となる。

ここで、図 1 のように送信ノードを S、受信ノードを D、中継ノードを R とし、それらの間の RTT を、 $RTT_{sd}$ 、 $RTT_{sr}$ 、 $RTT_{rd}$  と置く。このとき、 $\max(RTT_{sr}, RTT_{rd}) < RTT_{sd}$  が成立していれば、送受信ノード間の RTT ( $RTT_{sd}$ ) は、仮想的に、 $\max(RTT_{sr}, RTT_{rd})$  と考えることができる。このように、RTT を仮想的に短く見せることにより、送受信ノード間のスループットを向上させることが可能となる。

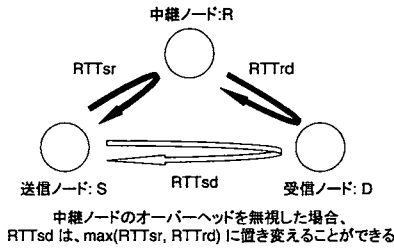


図1 RTT の仮想的分割手法

### 3.2 中継ノード発見手法

RTT を仮想的に短くする分割手法として、送受信ノード間の RTT をちょうど 2 等分することができるような中継ノードを見つけることが重要となる。ここでは、中継ノードを選定する手法を”Ping” を利用する手法、”Traceroute” を利用する手法の 2 種類を提案する。どちらの手法も、ノード間でフルメッシュのトポロジを作成する必要はなく、また定期的にデータを取得しておく必要もない。

#### 3.2.1 Ping を利用した手法

ping を利用した手法による中継ノード選定手順は、以下の通りである。

- (1) D が S に、データ転送リクエストを出す
- (2) S は全ての中継候補ノード ( $r_i$ ) に、D が S にデータ要求リクエストを出したことを伝える
- (3) 全ての中継候補ノードは、自分自身と D との間の RTT を ping を用いて計測し、その結果を S に伝える
- (4) 同じく、S は自分以外の全てのノードとの間の RTT を計測する
- (5) 全ての中継候補ノードから RTT 情報を得た S は、 $\max(RTT_{sr_i}, RTT_{r_i,d}) < RTT_{sd}$  を満たし、かつ  $\min(\max(RTT_{sr_i}, RTT_{r_i,d}))$  であるノードを中継ノードとして決定する

ping メソッドを用いることにより、RTT の観点から見た最適中継ノードを選定することが可能である。その一方で、S は全てのノードとの RTT を計測しなければならない。

#### 3.2.2 Traceroute を利用した手法

traceroute を利用した手法による中継ノード選定手順は、以下の通りである。

- (1) D が S に、データ転送リクエストを出す
- (2) S は全ての中継候補ノード ( $r_i$ ) に、D が S にデータ要求リクエストを出したことを伝える
- (3) S と全ての中継候補ノードは、D までに経由するルータの IP アドレスと、それらの個数、そして経由する全てのルータまでの RTT を計測する
- 全ての中継候補ノードは結果を S に伝える
- (4) S は、得られた全ての結果から、インフラネットワークの観点から見た、S と D の中間点に位置するノードを解析し、中継ノードと決定する

解析手法は後述する

traceroute の手法は、インフラネットワークの観点から見た最

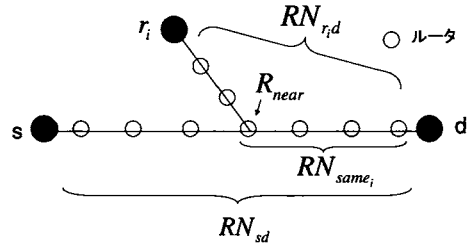


図2 traceroute 手法における用語の定義

適中継ノードを決定する手法である。ping 手法と比較すると、ping 手法は S が自分以外の全てのノードとの間の RTT を計測しなければならないのに対し、traceroute の手法では、D のみの経路情報を調べるだけでよい。

次に、traceroute 手法において、得られたデータから最終的に中継ノードを決定する解析手法について説明する。

まず、本論文で用いる用語の定義を行う。図 2 に示すように、 $RN_{ij}$  は、ノード  $i$  とノード  $j$  の間にあるルータの個数を表す。 $RN_{same_i}$  は S と D の間にあるルータ、 $r_i$  と D の間にあるルータのうちで、共通するルータの個数を表す。 $R_{near}$  は S から D までの経路と、 $r_i$  から D までの経路のうちで、共通する部分に存在し、かつ最も S に近いルータを表す。 $RTT_{ij}$  は任意のノード  $i$  から、任意のノード (または  $R_{near}$ )  $j$  までの RTT を表す。

中継ノードの選定には、

- (1) ルータの個数
- (2) ルータまでの RTT

の 2 つの条件により、中継候補ノードの絞り込みを行う。

最初に、ルータの個数による絞り込みを行う。ルータの個数による絞り込みには、

$$\begin{cases} RN_{r_i,d} \leq RN_{sd} \\ p \leq \frac{RN_{same_i}}{RN_{sd}} \leq q \end{cases}$$

を満たしている  $r_i$  を中継候補ノードとする。ここで、 $p, q$  は、一時的なパラメータであり、この値は後述の実験において、ping 手法を利用した場合と比較し、検討する。

次に、ルータまでの RTT によって絞り込みを行う。

$$x \leq \frac{RTT_s R_{near}}{RTT_{sd}} \leq y \tag{3}$$

を満たしているノードを中継候補ノードとする。 $x, y$  も、上記  $p, q$  と同じパラメータであり、実験の章で検討する。

これらの条件を満たす中継候補ノードを中継ノードとし、2 段階の絞り込みが終わった時点で中継ノードが複数残っている場合は、この中からランダムに選定することとする。

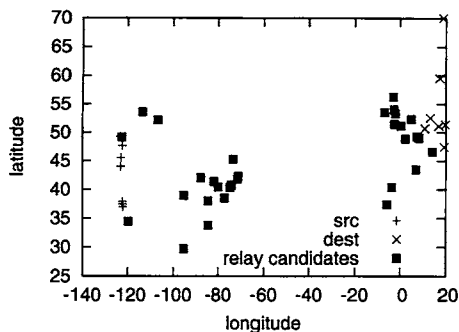


図3 ノードの地理的分布 (アメリカ、ヨーロッパ)

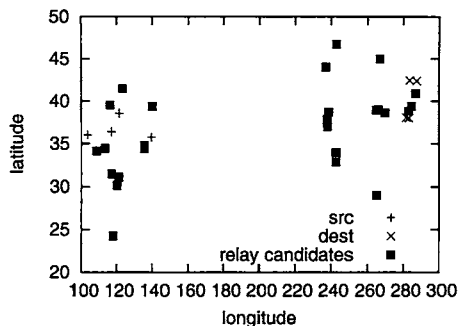


図4 ノードの地理的分布 (アジア、アメリカ)

#### 4. 実験

本章では、行った2種類の実験について説明する。1つ目は、送受信ノード間のTCPコネクションを直接接続した場合と、RTTのみの観点において分割した場合におけるスループットの差異についての実験である。2つ目は、提案におけるping手法とtraceroute手法における比較実験である。

##### 4.1 実験環境

実験環境について説明する。両実験とも、PlanetLab [1] を利用した。PlanetLabとは、世界中の研究、教育機関がノードを提供して構築される、オーバーレイネットワークのテストベッド環境である。このPlanetLab上における、

- (1) アメリカ、ヨーロッパに存在する50ノード
- (2) アジア、アメリカに存在する45ノード

の2つの環境を利用して、両実験を行った。図3,4に利用したノードの地理的分布を示す。

##### 4.2 実データ転送におけるスループット向上に関する実験

2つの実験環境を用いて、TCPコネクションを直接張り転送を行う場合と、コネクション分割を利用して転送を行う場合のスループットを計測し比較した。アメリカ、ヨーロッパのノードを用いた実験環境では、(送信ノード、受信ノード)の組を(8ノード、7ノード)とし、合計56組の送受信ノードのペアを作成した。アジア、アメリカのノードを用いた実験環境では、(送信ノード、受信ノード)の組を(4ノード、4ノード)とし、合計16組の送受信ノードのペアを作成した。これらのノードを用いて、1つの(送信ノード、受信ノード)の組に対して、10MBの

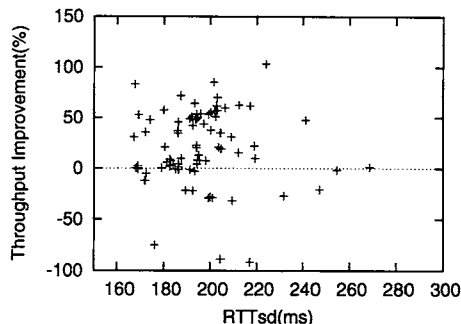


図5 アメリカ、ヨーロッパ間の実データ転送

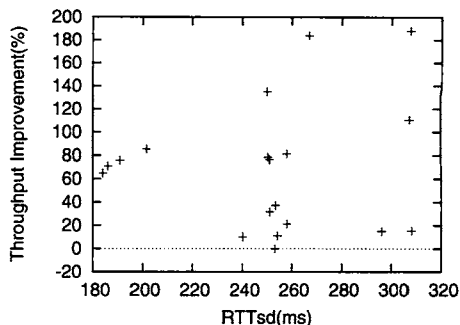


図6 アジア、アメリカ間の実データ転送

データを10回転送し、転送時間から転送スループットを算出した。また、式1から算出されるスループットの理論値と比較し、直接転送に比べ、中継ノードを利用する際のスループットの向上について調べた。

##### 4.2.1 結果と考察

図5, 6に2つの環境におけるスループット計測の比較についての結果を示す。これらの両図は、横軸は送信ノードと受信ノードとの間のRTTを示している。また縦軸は、中継ノード利用時におけるスループットを $Th_{relay}$ 、直接転送時におけるスループットを $Th_{direct}$ とおくと、

$$\frac{Th_{relay} - Th_{direct}}{Th_{direct}} \quad (4)$$

の値を百分率で表している。

図5は、アメリカ、ヨーロッパ間における56組のデータ転送の結果を示している。(送信ノード、受信ノード)の組は56組しか存在しないが、選択された中継ノードが1つの組によって毎回同じとは限らないため、プロットされる点は56以上の数になっている。このとき、全ての(送信ノード、受信ノード、中継ノード)の組は、87組存在した。

図6は、アメリカ、アジア間における16組のデータ転送の結果を示している。プロット点は、同じ送受信ノードに対して異なる中継ノードが選択された場合があるため、20点存在する。

まず、図5の場合であるが、87組中、 $y=0$ よりも下にプロット点が存在する場合、すなわち直接転送の方がスループットが高い値を示した場合は20組(23%)存在し、逆に、中継転送の方が直接転送よりもスループットが高い値を示した場合は67組(77%)存在した。この20組について、転送ノードを用いた方

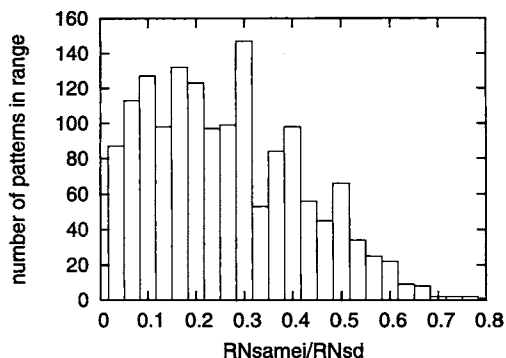


図7 共通するルータの個数と送受信ノード間のルータの個数比の分布 (アメリカ, ヨーロッパ)

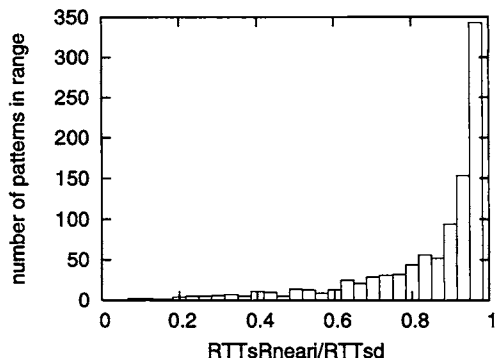


図9 共通するルータのうち最も送信ノードに近いルータまでのRTTと送受信ノード間のRTT比の分布 (アメリカ, ヨーロッパ)

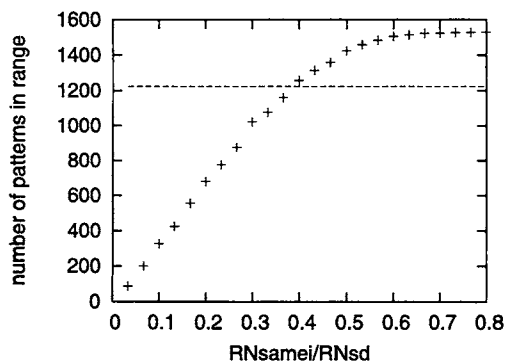


図8 区間に含まれる組数の増加傾向 (アメリカ, ヨーロッパ)

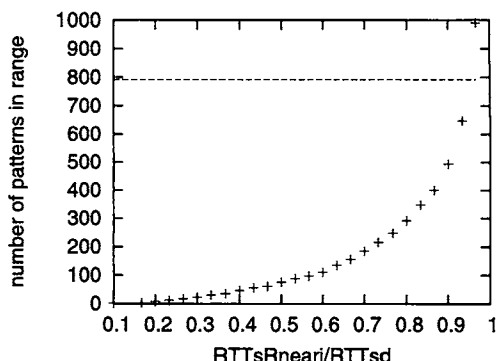


図10 区間に含まれる組数の増加傾向 (アメリカ, ヨーロッパ)

が、スループットが低下した要因について考察する。スループットが低下した要因の1つには、中継ノードにおけるオーバーヘッドが考えられる。図5における、 $y$ の値が-50を下回っている3点に関しては、全て同じノードが中継ノードとして選択されている。これは、一時的に中継ノードが過負荷状態になっており、中継処理時のオーバーヘッドが大きかったと考えられる。この、 $y$ の値が-50を下回っている場合の(送信ノード、受信ノード)の別の中継ノードを利用した転送においては、直接転送よりも中継ノードを利用した転送の方がスループットは向上している。また、 $y$ の値が-10以下であるような場合(11組)においても、選択された中継ノードは4種類しか存在しない。现阶段では、中継ノードのオーバーヘッドを考慮せず、RTTの値のみで中継ノードを選定しているために、このような結果が生じたと考えている。

図5, 6を比較したとき、図6には中継ノードを利用した転送が、直接転送よりもスループットが低い場合は存在しない。これは、次のように考えられる。アメリカ、ヨーロッパにおける転送は、直接転送において、理論値から算出されるスループットに近いスループットを達成することができていた。アメリカ、ヨーロッパ内での87組中、直接転送におけるスループットと理論値から算出されるスループットの比の平均は、81%であった。それに対して、アジア、アメリカ間での20組の場合は、直接転送におけるスループットと理論値から算出されるス

ループットの比の平均は、28%である。すなわち、これらの結果から、直接転送におけるスループットが理論値に比べて低い値に留まる場合ほど、中継ノードを利用してデータ転送を行ったほうが安定して高いスループットの向上率を達成することができると言える。

#### 4.3 中継ノード選定手法の評価実験

次に、ping, tracerouteを用いた中継ノードの選定手法について、それぞれの手法において選定される中継ノードについての比較を行う。第3章で述べたように、ping手法はRTTの観点から見た最適中継ノードを選定することが可能である。一方、traceroute手法は、インフラネットワークの状況から最適中継ノードを決定する手法である。traceroute手法では、中継ノード選定時に、4つのパラメータ( $p, q, x, y$ )を用いた。このパラメータをping手法利用時に選定された中継ノードを利用して決定すると共に、両手法で選定された中継ノードの比較を行い、両手法の比較を行う。

##### 4.3.1 traceroute手法におけるパラメータの検討と考察

パラメータの検討にあたり、アメリカ、ヨーロッパの50ノードの全てを用いて、(送信ノード、受信ノード)の $50 \times 49 = 2450$ 組を用い、それらの全組においてping手法を用いてRTTの観点から最適である中継ノードを選定した。そして、そのping手法で選定された中継ノードをtraceroute手法で選定するために最適な( $p, q, x, y$ )を決定する。また、アジア、アメリカ

の45ノードについても、同様に(送信ノード、受信ノード)の45\*44=1980組に対しても同様の実験を行い、(p, q, x, y)が環境に依存しないことを示す。

アメリカ、ヨーロッパにおける全2450組中、RTTの観点からスループットの向上が期待できる中継ノードを発見できた組数は1889組存在した。その1889組に対して、(p, q) = (0.0, 1.0)としたときにping手法と同様の中継ノードが決定できた組は1530組存在した。RN情報(ルータの個数)に関しては、図7, 8は、 $\frac{RN_{near}}{RN_{sd}}$ の値を、経由する最大ルータ数30の逆数である0.033刻みで調べたときに、レンジ内に何組存在するか、またそれを累積的に表示したものである。図7, 8から、(p, q) = (0.0, 0.5)の範囲内に大多数が存在することがわかる。また、RTT情報に関しては、(x, y) = (0.0, 1.0)としたときにping手法と同様の中継ノードが決定できた組は1889組中990組存在した。 $\frac{RTT_{near}}{RTT_{sd}}$ をRN情報と同じように表示したものが図9, 10である。図9, 10に示すように、RTT情報に関しては、大多数が(x, y) = (0.9, 1.0)の範囲内に存在する。

また、この結果はアジア、アメリカの環境を用いた場合でも同様の結果を示した。これらの結果より、(p, q, x, y) = (0.0, 0.5, 0.9, 1.0)とした場合、ping手法で選定された中継ノードをtraceroute手法でも選定できた組数はアメリカ、ヨーロッパ内では1889組中574組、アジア、アメリカ内では1665組中541組であった。

これらの結果からわかるように、現段階では、traceroute手法において、ping手法で選定される最適ノードの中継ノードとして選ぶことができる割合は高くはない。これらの原因として現段階で検討すべきものは、traceroute手法において、RN, RTTの2段階の絞り込みを行った後に複数中継候補ノードが残っている場合にはランダムに選定している、traceroute手法で用いるRTT情報はtracerouteコマンド内のもので取得している、という2点である。しかし、ping手法で選定される最適ノードを残したまま、数多く存在する中継ノードの絞り込みを行っていくことができることを示した。

## 5. おわりに

### 5.1 まとめ

本稿では、RTTが100ms以上と大きい2地点間でのデータ転送において、中継ノードを利用することにより送受信ノード間のRTTを仮想的に分割し、データ転送のスループットを向上させるデータ転送手法を提案した。そして、PlanetLabを利用した環境において、直接転送時におけるスループットが理論値から計算されるスループットと比べて小さいときほど、RTTの仮想的分割手法が効果的であることを示した。

また、提案手法によって利用される中継ノードを選定する手法として、pingコマンドを利用する手法、tracerouteコマンドを利用する2つの手法を提案した。両者の比較を行った際、現手法では、中継ノードの選定においてping手法の方がtraceroute手法よりも勝る。この要因としては、ping手法はRTTを直接計測しているのに対し、traceroute手法はインフラネットワークのトポロジを利用して、送受信ノードの中間地

点に存在するノードを探しているためである。traceroute手法における現手法では、ping手法で選定される中継ノードを高い精度で選定することは難しい。しかし、その問題点、改善点を明かにした。

### 5.2 今後の課題

転送スループットをより向上させるための今後の課題としては、

- (1) 中継ノードにおけるオーバーヘッドの検討
- (2) 中継ノードの複数台利用

が考えられる。中継ノードにおけるオーバーヘッドを加味したノードの選定を行うことにより、より理想環境に近いデータ中継転送を行うことが可能となる。また中継ノードを複数台利用することによっても、スループットの向上は期待できる。特に、中継ノードを直列に接続するのではなく、並列に接続し、複数経路でデータ転送を行うことにより、さらなる転送スループットの向上が期待できると考えている。

## 文 献

- [1] PlanetLab. <http://www.planet-lab.org/>.
- [2] The TCP/UDP Bandwidth Measurement Tool. <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf>.
- [3] W. Allcock, J. Bester, J. Bresnahan, A. Chervenak, L. Liming, and S. Tuecke. Gridftp: Protocol extensions to FTP for the Grid. *Internet Draft*, May 2001.
- [4] David Andersen, Hari Balakrishnan, Frans Kaashoek, and Robert Morris. Resilient Overlay Networks. In *Proceedings of the 18th ACM Symposium on Operating Systems Principles(SOSP)*, pp. 131-145, Oct 2001.
- [5] D.G. Andersen, H. Balakrishnan, M.F. Kaashoek, and R. Morris. The Cace for Resilient Overlay Networks. In *Proceedings of the 8th Annual Workshop on Hot Topics in Operating Systems*, pp. 152-157, May 2001.
- [6] Cosimo Anglano and Massimo Canonico. The File Mover: An Efficient Data Transfer System for Grid Applications. *Cluster Computing and the Grid(CCGrid)*, pp. 625-632, 2004.
- [7] 伊藤建志, 大崎博之, 今瀬真. 広域グリッドコンピューティングにおけるデータ転送プロトコルgridftpのパラメータ設定方法に関する検討. 電子情報通信学会技術研究報告(IN2004-39), pp. 19-24, July 2004.
- [8] 小林弘和, 中山雅哉. 仮想リンクを利用した送受信ノード間のRTT分割による転送スループットの向上. インターネットコンファレンス, pp. 105-112, October 2006.