

ユーザ視点からのインターネット品質計測と解析

山本 正晃[†] 永見 健一[†] 菊池 豊^{††} 藤井 資子^{†††} 中川 郁夫[†]

[†]株式会社インテック・ネットコア ^{††}高知工科大学 ^{†††}慶應義塾大学 SFC 研究所

あらまし ブロードバンドの普及に伴いP2P型のアプリケーションの増加,トラヒックの増加といった事象から,ユーザの利用環境がトラヒック品質にどのような影響を及ぼすかを調査する事が必要である.そこで,トラヒック品質を表す指標である「通信遅延・パケットロス」・「スループット」を計測対象とするシステムを構築し,複数の拠点について計測を実施した.その計測結果から,トラヒック品質に影響を及ぼす要因を考察した.

キーワード ブロードバンド P2P(Peer-To-Peer) トラヒック品質 通信遅延

Measurement and analysis of the internet quality from an end users' point of view

Masateru YAMAMOTO[†] Kenichi NAGAMI[†] Yutaka KIKUCHI^{††}

Yoriko FUJII^{†††} Ikuo NAKAGAWA[†]

[†]Intec NetCore, Inc. ^{††}Kochi University Of Technology ^{†††}Keio Research Institute at SFC

Abstract Popularization of broadband caused phenomena, such as an increase of P2P type applications and traffic. It is necessary to investigate how the circumstances of users influence to the traffic quality. The system which measures traffic quality (delay, packet loss, and throughput) was built and it measured at several points. The factor which influenced the traffic quality was considered according to the measurement result.

Keyword Broadband P2P(Peer-To-Peer) Traffic quality Delay

1. はじめに

ブロードバンド契約数は年々増加を続け,2005年度末のブロードバンド回線契約数は約2,330万件(前年度比19.1%増)にのぼっている.[1]

しかし,ブロードバンドの普及,インターネットを流れるトラヒック量の増加に伴い,ユーザからみたトラヒックの「質」に差が生じてきている.例えば,東京都内のユーザがインターネットを利用する際の体感速度と,東京から地理的に離れたところでインターネットを利用するユーザの体感速度は大きく異なることが一例としてあげられる.今後,さらなるブロードバンドの普及に伴うトラヒック量の増加が予想される中,ユーザ視点でのトラヒックの「質」に関する調査の必要性が高まってきているといえる.

そこで,本研究では,ユーザ視点からのトラヒック品質の計測を行った.また,その計測結果を基に地域とプロバイダの差異に着目し解析を行った.

2. トラヒック品質計測の概要

本研究では,トラヒック品質を計測するため,計測システムを新たに構築した.また,計測項目として,後述する,トラヒック品質の性能指標である,「通信遅延・パケットロス・スループット」の3項目を計測対

象とした.

2.1. 計測の目的

本研究の計測目的は,先述のとおりユーザ視点からのインターネットのトラヒック品質を計測することである.

インターネットのトラヒック品質は,プロバイダや地域によってばらつきがあり,すべてのユーザが同程度の品質でインターネットに接続できる環境にあるかどうかは定かではない.

また,インターネットを介して利用可能なアプリケーションに着目すると,ユーザがサーバを介さずに直接通信を行うP2P(Peer-To-Peer)型の通信を利用するアプリケーションが増加している.これらの事象を鑑み,P2P型の通信に着目したインターネットのトラヒック品質を明らかにすることの重要性が増してきているといえる.

したがって,本研究ではユーザ視点でのインターネットのトラヒック品質をP2P型の通信に特化して計測することで,その実態を明らかにすることを目指す.

2.2. 計測の概要

本研究での計測とは,インターネット上にある2つの計測点にて擬似的なP2P型の通信環境を構築し,相

互にトラフィック品質計測を実施するものである。

計測点として国内に複数個所の地域を設定し、各地域からプロバイダに接続する計測拠点を構築する。

それぞれの計測拠点には計測用機材を設置し、アクセス回線を経由して、プロバイダに接続し、インターネットに接続を行うものである。(図 1)

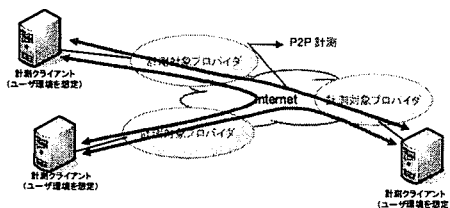


図 1 P2P 計測イメージ

また、計測項目は、ユーザがアプリケーションを利用する際、体感速度などに関わる指標の中から以下の3点を計測項目とした。

- ・VoIPやTV会議などのリアルタイムアプリケーションの使い勝手に影響を及ぼす「通信遅延」と「パケットロス」
- ・アプリケーションを使用する際の体感速度としての「スループット」

特に、スループットは使用するアプリケーションにより値が異なるため、一般的なユーザの利用頻度から、HTTPを用いた通信での計測を実施した。

2.3. 計測拠点

本計測での計測拠点とは、ユーザが接続しようとしている「地域」および「プロバイダ」の2つの組み合わせで表す。具体的な計測地域、プロバイダは次のとおりである。

- ・地域：主要都市である「札幌」「仙台」「東京」「大阪」「福岡」の5地域を対象とした。(図 2)
- ・プロバイダ：本計測の使用する3つのプロバイダを「ISP-A」、「ISP-B」、「ISP-C」と呼ぶ。

したがって、本計測では、5地域3プロバイダから構成される計15の計測拠点でトラフィック品質の計測を実施する。

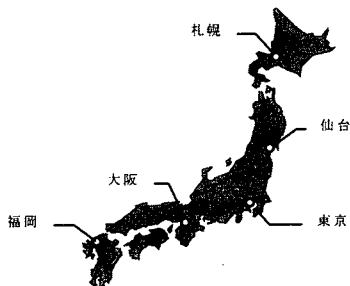


図 2 計測拠点配置

2.4. 計測システム

本研究では、一般的なユーザが使用する環境を基に、計測環境ならびに計測方法を次のとおりとした。

- ・アクセス回線として使用する回線はBフレッツ回線とする
- ・Bフレッツ回線は、ファミリータイプ契約とする
- また、先述の通信遅延・スループット・パケットロスの計測を実施するための計測システムについて以下に述べる。

(1) 通信遅延・パケットロス計測システム

通信遅延・パケットロス計測システムでは次の方法で計測を行う。

- ・ICMPを利用し、通信遅延・パケットロスを計測する
- ・計測に使用するIPパケットサイズは64[bytes]とする
- ・1回の計測で、計測対象に対し10個のパケット送出する
- ・計測間隔は5分に1回とする

また、1回の計測で次のデータを取得する。

[通信遅延]

- ・最小通信遅延値：
送出パケット10個中最小の通信遅延の値
- ・平均通信遅延値：
送出パケット10個の平均した通信遅延の値
- ・最大通信遅延値：
送出パケット10個中最大の通信遅延の値

[パケットロス]

- ・パケットロス率：
送出パケット10個中紛失したパケットの割合

(2) スループット計測システム

スループット計測システムでは以下の方法で計測を行う。

- ・HTTPでのファイル転送を利用して計測する
- ・計測間隔は5分に1回とする

上記の条件にて計測を実施するに当たり、同一時間内に一拠点に対し複数拠点から計測を実施した場合、スループットの低下が懸念される。そこで同一時間内において1対の計測を実施する。また、転送ファイルサイズの条件として、HTTPでファイル転送をする場合の特性を考慮したファイルサイズである必要がある。これらのことから、以下の条件を追加する。

- ・ファイル転送時間は2秒以内とする
- ・ファイル転送時間の50%以上が、最大ウィンドウサイズで転送されるファイルサイズとする

これらの条件と実測値から、適合するファイルサイズを 1[Mbytes]とした。

3. 計測結果とその解析

先述の計測システムで取得した計測結果と、その計測結果を基に地域・プロバイダの差異に着目し、解析を行う。

また、第4.1節にて詳述する、「通信遅延が多いとスループットが低くなる」という関係から、通信遅延を基に解析をする。

さらに、通信遅延の値は、最小遅延値を使用する。理由としては、最大遅延値はネットワーク以外の要因から発生する一時的影響を受けやすいため、揺らぎが大きい。そこで一時的要因の影響を比較的受けにくい、最小遅延値を基に示すこととする。

3.1. 計測結果

先述の計測システムで取得した計測結果の一部を以下に示す。

(1)札幌地域での通信遅延

図 3は、札幌 ISP-A からみた札幌地域内最小遅延値の一日の推移である。札幌 ISP-A への最小遅延値は他のプロバイダのそれと比較した場合、明らかに低い値を示している。これは東京を除く他の地域でも同様の傾向が現れている。

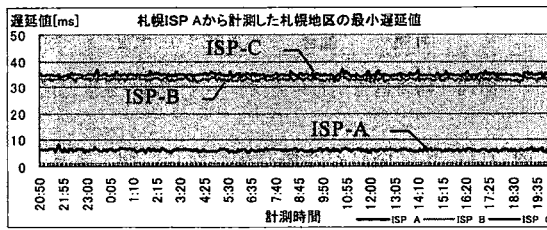


図 3 札幌 ISP-A から計測した札幌地区の最小遅延

(2)東京地域での通信遅延

図 4は、東京 ISP-B からみた東京地域内最小遅延値の一日の推移である。他地域とは異なり、すべてのプロバイダに対して最小遅延値が 10[ms]以下の値となっている。これは東京地域のすべてのプロバイダに同様の傾向が現れ、他の地域では見られない傾向である。

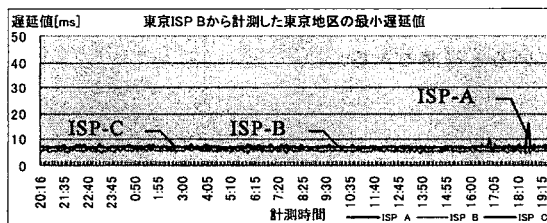


図 4 東京 ISP-B から計測した東京地区の最小遅延

これら、計測拠点のデータから、地域・プロバイダの差異による影響を受けていると推測される傾向が現れている。

そこで次章にて地域・プロバイダの差異に着目した計測結果の解析を行う。

3.2. 計測結果に基づく解析

先述の計測システムで取得した計測結果を用いて、以下の 2 点について解析を行った。

- 1)同一プロバイダ内通信に関するトラフィック品質
- 2)インターネット通信に関するトラフィック品質

解析に使用する遅延値は、輻輳などによる影響を排除するため、最小遅延値の計測期間中の最小値を使用する。

3.2.1. 鉄道距離に基づく理論遅延値

本章の解析で使用する基礎データとして、各地域間の鉄道距離と、鉄道に沿って光ファイバが敷設されていると仮定した場合の理想的な往復時間を表 1に示す。

例えば、札幌-仙台間の鉄道距離は、855.2[km]である。真空中の光の速度は、毎秒 30 万 km であるが、光ファイバの中の光速は、真空中のそれに比べ、2/3 程度といわれていることから、以下の式から算出できる。

また、理論遅延値には、アクセス回線遅延値を加算している。アクセス回線遅延値とは、各地域のプロバイダごとに、直近のルータまでの遅延値が発生している。その遅延値を地域ごとに平均し、導き出した値を加算した。(表 2)

例えば、札幌-仙台間の場合は、札幌地区のアクセス回線遅延値の平均値である 2.5[ms]と仙台地区の 1.0[ms]を加算している。

(都市間の理論遅延値)

$$2 \times (855,200[\text{m}]) / (200,000[\text{m/s}]) = 8.6[\text{ms}]$$

(アクセス回線遅延値を加算した理論遅延値)

$$8.6[\text{ms}] + 2.5[\text{ms}] + 1.0[\text{ms}] = 12.1[\text{ms}]$$

表 1 都市間鉄道距離と理論遅延値

		札幌	仙台	東京	大阪	福岡
札幌	距離(km)		855.2	1207.0	1759.6	2381.9
	往復遅延(ms)		12.1	16.6	21.2	27.1
仙台	距離(km)	855.2		351.8	904.4	1526.7
	往復遅延(ms)	12.1		6.6	11.2	17.1
東京	距離(km)	1207.0	351.8		552.6	1174.9
	往復遅延(ms)	16.6	6.6		8.7	14.6
大阪	距離(km)	1759.6	904.4	552.6		622.3
	往復遅延(ms)	21.2	11.2	8.7		8.2
福岡	距離(km)	2381.9	1526.7	1174.9	622.3	
	往復遅延(ms)	27.1	17.1	14.6	8.2	

表 2 拠点ごとのアクセス回線遅延値

地域 平均値	ISP	最小遅延	地域 平均値	ISP	最小遅延
札幌 2.5[ms]	ISP-A	2.4[ms]	仙台 1.0[ms]	ISP-A	1.2[ms]
	ISP-B	2.7[ms]		ISP-B	1.0[ms]
	ISP-C	2.3[ms]		ISP-C	0.9[ms]
東京 2.1[ms]	ISP-A	2.1[ms]	大阪 1.1[ms]	ISP-A	1.2[ms]
	ISP-B	2.0[ms]		ISP-B	1.1[ms]
	ISP-C	2.1[ms]		ISP-C	1.1[ms]
福岡 0.8[ms]	ISP-A	0.9[ms]			
	ISP-B	0.8[ms]			
	ISP-C	0.8[ms]			

3.2.2. 同一プロバイダ内通信に関する

トラフィック品質

本節では、各拠点が接続しているプロバイダ内で閉じた通信について分析する。

図 5は、各地域の拠点から同一プロバイダに対する計測結果である。

際立った傾向としては、前章で述べたとおり、同一地域内で閉じた通信においては、全ての計測拠点で最小の値を示している。また、その遅延値も 10[ms]以下と極端に小さいことから、同一地域内にて折り返す通信を行っていると推測できる。

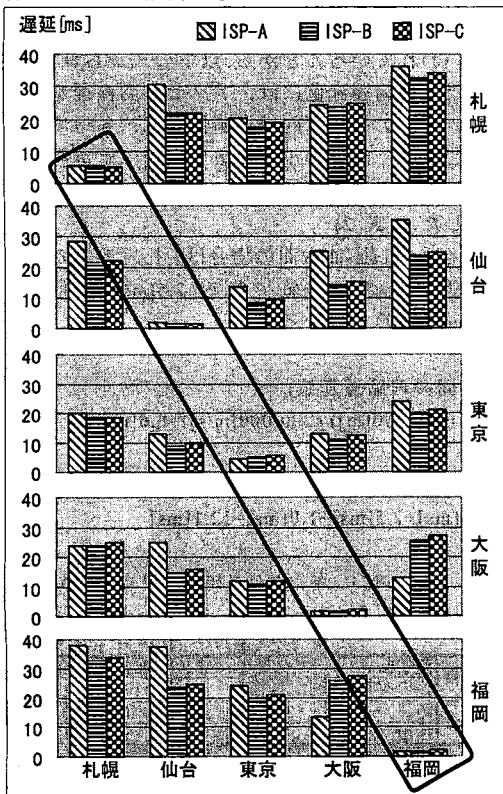


図 5 同一 ISP の各地域通信遅延

次に、図 6は、福岡地域の各拠点からみた、同一プロバイダ内の他の計測拠点への通信遅延値である。これによって、福岡からあるプロバイダにて接続しているユーザから同一プロバイダ内での通信遅延が読み取れる。

この結果から、福岡-大阪間通信の通信遅延値と福岡-東京間のそれとではプロバイダごとに異なる傾向が現れ、大阪地域では ISP-A の通信遅延値は他のプロバイダの遅延値と比べ、1/2 程度であり、福岡地域に次いで低い値であるのに対し、東京では ISP-B・C がもっとも低い値を示している。

この結果から、プロバイダによってトラフィック品質に偏りがあること、また、その偏りが、同一プロバイダ内の通信遅延値ということから、プロバイダの内部構造の影響を受けていることが推測される。

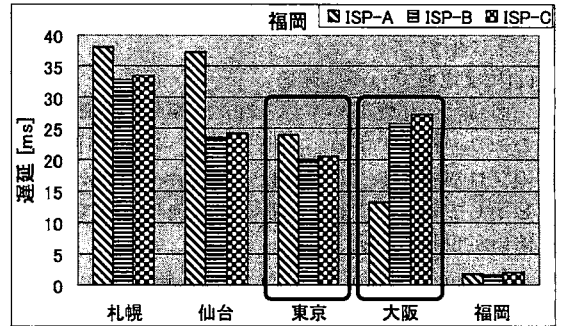


図 6 福岡拠点からみたプロバイダ内の通信遅延

図 7は、札幌拠点の各拠点からみた、同一プロバイダ内の他の計測拠点への通信遅延値である。

また、先述の理論遅延値と比較すると、札幌-仙台間の通信遅延値と札幌-東京間のそれとでは、明らかに異なる傾向を示している。

特に、札幌-仙台間の通信遅延では、札幌-東京間のそれと比較して、非常に大きく、距離に比例していないといえる。このことから、札幌-仙台間では、別の地域を経由していると推測できる。

また、ISP-A に顕著な傾向が現れているが、ISP-B、ISP-C も同様の傾向を示している。

さらに、遅延値が東京地域で最小値となっていることから、札幌-仙台間の通信では東京を経由して通信していると推測できる。

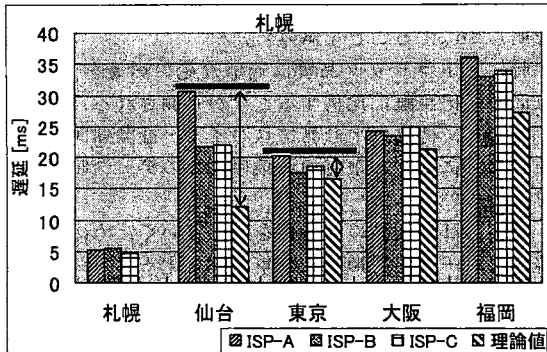


図 7 札幌拠点からみたプロバイダ内の通信遅延

3.2.3. インターネット通信に関する トラフィック品質

図 8は、特定の拠点からインターネット上にある拠点に対する通信遅延である。例えば札幌 ISP-A から他の 15 拠点に対する遅延値の平均である。

これにより、ある拠点からインターネット上の拠点に対して計測した場合、東京のユーザが最も通信遅延が少ないことがわかる。東京の次に仙台・大阪、札幌・福岡の順で通信遅延が少ない。

この結果から、東京から地理的距離が離れるほど、通信遅延値が大きくなる傾向が読み取れる。すなわち通信遅延値は距離の影響を受けることが推測できる。

また、東京への通信遅延が最小を示すことから、プロバイダ間での通信では、東京を経由して通信を行っていること、さらに、前節の東京地域内での通信遅延値はプロバイダを問わず 10[ms]以下であることから、東京にて各プロバイダが相互に接続していることが推測できる。

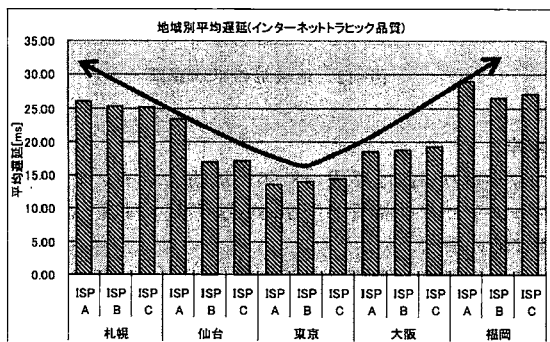


図 8 特定の拠点から見たインターネットの通信遅延

4. トラフィック品質の技術的考察

インターネット上にある 2 つの拠点間にて計測を実施した結果、以下の 4 点の推測が導き出された。

- ・同一地域・同一プロバイダで閉じた通信では、その地域内で折り返している
 - ・福岡-大阪間の通信遅延は、プロバイダごとに傾向が異なり、プロバイダの内部構造の影響を受けている可能性がある
 - ・インターネットへの通信遅延値は東京から地理的距離が離れるほど大きくなる傾向がある
 - ・3 つのプロバイダは東京で相互接続し、プロバイダ間の通信は東京を経由している可能性がある
- これら 4 点の傾向から、地理的距離・プロバイダの内部構造の差異による通信遅延の傾向がトラフィック品質に影響を与えている可能性がある。

そこで、地理的距離・プロバイダの内部構造の差異がインターネットのトラフィック品質にどのような影響を及ぼすかを考察する。

4.1. 通信遅延がスループットに与える影響

本節では、インターネットのトラフィック品質を表す、「通信遅延」と「スループット」の相関関係について考察する。

計測結果から通信遅延とスループットの関係を表したものが図 9 である。通信遅延が大きくなるにつれてスループットが劇的に低下することがわかる。

また、TCP/IP では TCP 受信ウィンドウサイズ(RWIN)と通信遅延値からスループットが決定される。

これらの関係は以下の式で表すことが出来る。

$$(\text{スループット}) = (\text{RWIN}) / (\text{通信遅延値})$$

RWIN : TCP 受信ウィンドウサイズ

以上のことから、スループットと通信遅延値は反比例の関係にあり、高スループットを実現するためには通信遅延を減らすことが重要になるといえる。

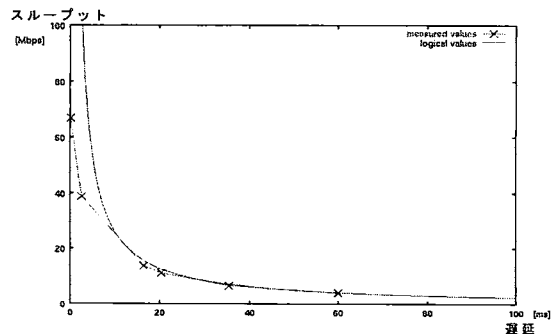


図 9 通信遅延とスループットの関係

そこで、次節にて通信遅延値の構成から通信遅延値に影響の大きい要素を考察する。

4.2. 通信遅延の構成要素

通信遅延とは、3つの要素から構成されている。その3つとは「処理遅延」・「転送遅延」・「伝播遅延」である。[2]

以下に3要素の関係(図10)と各要素について述べる。

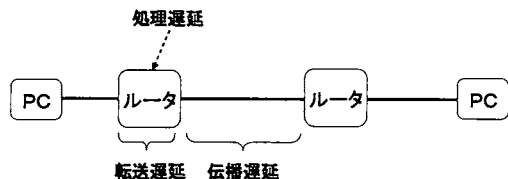


図10 通信遅延の3要素

・処理遅延：

ルータがパケットのヘッダ情報などを読み取り、処理する時間。一般に、処理遅延はルータの処理能力やメモリサイズなどの要因によって決まる。

・転送遅延：

中継ルータにおいて、ルータがパケットを一旦ため込んでから送出するための時間。転送遅延は、次の式で理論的に求めることができる。

$$(\text{転送遅延}) = (\text{パケットサイズ}) / (\text{帯域幅})$$

例えば、本計測環境の64[bytes]のパケットを100[Mbps]の帯域を持つインターフェースで送信する場合に発生する転送遅延は次のようになる。

$$(64 \times 8[\text{bits}]) / (100 \times 1,024 \times 1,024[\text{bps}]) = 0.0048 [\text{ms}]$$

・伝播遅延：

伝送経路上の物理的特長により発生する時間。たとえば、伝送経路の素材(光ファイバーなど)の影響や伝送経路の長さによる影響を受ける。特に伝送経路の長さを、地域間の距離と考えた場合、地域ごとの遅延に影響を与えようと考えられる。

上記の通信遅延値の構成要素から、今回の計測環境では通信遅延の中で転送遅延が占める割合は非常に小さく、誤差の範囲であるといえる。

また、処理遅延は、今後、ルータの性能向上にあわせて相対的に小さな値になることが予測される。

しかし、伝播遅延は光速の理論的な上限から、地理的距離やプロバイダの内部構造による通信経路の長さによる影響が大きいと言える。

5. おわりに

本研究では、ユーザ視点からインターネットのトラフィック品質を計測することで、ユーザがサービスやア

プリケーションを利用する際のインターネットの品質を明らかにすることを試みた。

特に、トラフィック品質は通信遅延の影響を受け、2点間の通信距離に比例することが推測される。

しかし、拠点数・計測プロバイダ・計測期間・計測項目などに関して限定的な条件化でのデータ収集にとどまっている。

今後、計測結果の妥当性を高めていくためには、網羅的なデータを長期的に収集・解析する必要がある。

具体的には計測地域・計測プロバイダの拡大、計測項目の拡大などの課題が挙げられる。

また、プロバイダの内部トポロジの推測(図11)や地域ごとの遅延値の分析(図12)などの研究についても実施したが紙面の都合上割愛する。

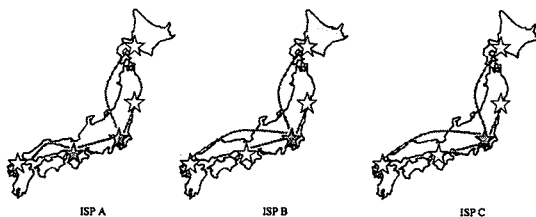


図11 プロバイダのネットワークトポロジの推測

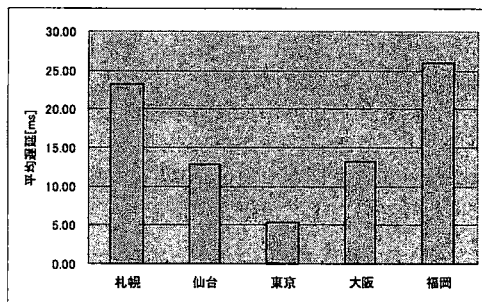


図12 地域毎の平均遅延

謝辞

本研究の一部は平成18年度総務省「インターネットのトラフィック品質に関する調査研究」事業の支援を受けています。

ここに記して謝意を表します。

文献

- [1] 総務省, “平成18年版情報通信白書”, 2006.
- [2] Baek-Young Choi, Sue Moon, Zhi-Li Zhang, Konstantina Papagiannaki, and Christophe Diot, “Analysis of Point-To-Point Packet Delay in an Operational Network”, in Proceedings of IEEE INFOCOM, Hong Kong, March 2004