

長距離ネットワークのノード間リンク特性の 解析および可視化手法

芝 公仁
龍谷大学

インターネットのような広範囲に広がるネットワークでは、同一のサービスを異なる地点の複数のノードで提供することがある。このとき、クライアントは、適切なノードを選択することによって、効率的にサービスを受けることができる。しかし、適切にノードを選択するためには、ネットワーク特性に関する情報が必要である。そこで、良いネットワークリンクで接続可能なノードの選択に、ネットワーク特性の測定・推定データを活用する方法について検討を行った。本稿では、まず、大量の測定・推定データを可視化する手法について述べる。また、可視化によって得られたネットワーク特性の特徴をもとに、ノードを、物理的な距離から、近距離、中距離、遠距離の3つに分類し、それぞれにおいて、より良いネットワークリンクで接続可能なノードを選択する手法についても述べる。

Visualization and Analysis Method for Network Characteristics of Long Distance Network

Masahito Shiba
Ryukoku University

Same services are sometimes provided by more than one node on different points in a large-scale distributed network such as the Internet. In that case, clients can get the services efficiently if they select nodes which they can connect to with good network links. Information about the characteristics of the network is required in order to select suitable nodes. We have developed a method of selecting suitable nodes by using measured and estimated network characteristics of the Internet. In this paper, a tool to visualize a large amount of measured and estimated network characteristics data is described. Moreover, a technique of sorting nodes by physical distances of the nodes into short distance, middle distance and long distance and selecting nodes with good network links in each distance types is described.

1 はじめに

現在、インターネットでは様々なサービスが提供されているが、それらのサービスの中には、複数のノードを用いて負荷分散を実現しているものがある。このとき、単に複数のノードを設置するだけではなく、それらのノードをネットワーク的に異なる場所に配置し、より効率的にサービスを提供しようとするものが多く行われている。この場合、クライアントが適切なサーバノードを選択することによって、効率的にサービスを利用することが可能になるが、適切なノードを選択するには、ネットワーク特性に関する情報が必要になる。すなわち、小さな伝送遅延で大きな帯域幅を有するネットワークリンクで接続可能なノードを選択することが望ましい。

適切なサーバを選択するには、各サーバへのリンクの特性を知っておく必要があるが、このような情報の収集を目的に、インターネットのネットワーク特性を測定する研究が多く行われている。これらの研究では、インターネット上のすべてノード間のリ

ンクの測定が困難であることから、通常、一部のリンクのみを測定し、その結果をもとに他のリンクの特性を推定することが行われる。既存の研究の多くが、このような測定・推定を正確に行うことに注力しており、測定・推定の結果を有効に活用する手法については十分に検討されていない。実際、このような測定・推定の結果は大量のデータとなり、これを理解することは容易ではない。

本稿では、ネットワーク上の資源を効率的に使用することを目的とした、測定・推定によって得られたインターネットのネットワーク特性を有効に活用する手法について述べる。提案手法は、多数のルータを経由するような長距離のネットワークリンクが対象となるが、特に静的な情報であるノード間の距離に着目し、以下のように検討を行った。

- 可視化によって、ネットワーク特性のデータから特徴的なものを抽出する。
- ネットワークリンクの物理的な長ささとネットワーク特性の関係を解析する。

- ネットワーク特性のデータをもとに、よい良いノードの選択する方法を定める。

ネットワーク情報を可視化する既存のツールの多くは、ネットワークを監視し、異常を検出することや、統計情報を作成することを目的としている。このような処理においては、送受信するパケットをリアルタイムに解析することが課題となる。一方、インターネットのような環境では、ノード数が多く、測定される情報をリアルタイムに処理することは困難である。そのため、リアルタイム性よりは、測定後に収集される大量のデータを解析できることが重要になる。このような処理は既存のツールでは困難であるため、本研究では、新たに可視化用のツールを構築した。

本可視化ツールを用いることによって、ネットワーク特性のデータから、様々な特徴を見つけることができるが、特に、ノード間のリンクの長さやパケット伝送遅延時間の情報を合わせて活用することが有効であることが分かった。特に、リンクの長さをもとに、近距離、中距離、遠距離の3つにリンクを分類すると、それぞれが異なるパケット伝送遅延時間の分布を持つ。この特徴を利用すると、サーバまでの物理的な距離に応じて、適切な基準を用いたサーバノードの選択を行うことが可能になる。

以下、本稿では、2章でインターネットのネットワーク特性について述べる。また、3章でネットワーク特性の可視化について述べ、4章でネットワーク特性の解析について述べる。

2 ネットワーク特性

2.1 ネットワーク特性の可視化

ネットワーク特性の可視化に関しては、これまでに多くのシステムが提案されてきている。特に、次の2つの機能は、可視化において重要なものとなっている。

- 送受信されるパケットをリアルタイムに解析し表示する。
- 通信ノードや通信量の統計情報からグラフなど作成する。

これらは、ネットワークの運営・管理において非常に有用である。しかし、インターネットのような多数のノードが物理的に広い範囲に広がって構築されるネットワークの情報を解析するには向いていない。これに対し、本研究で構築した可視化ツールは次のような特徴を持つ。

- 多数のノードが物理的に広範囲に広がって形成されるネットワークに対応可能である。
- 多くの環境で動作可能であり、多様な目的に対応できる柔軟な可視化機能を有する。

インターネットのような環境では、ノード数が多いため、解析すべきノード間リンクの数は非常に多くなる。本可視化ツールは大量のネットワークリンクのデータを扱うことができ、また、ユーザの要求に応じて、特定のノードに関するリンクのみをグラフ化するなどの処理も可能である。さらに、インターネットのような広範囲に広がるネットワークでは、ノードの物理的な位置も重要な要素になるが、本ツールは地図上にノードの位置を示す機能を持つため、ユーザはノード間の位置関係を視覚的に理解することができる。

既存のシステムでも、ネットワークの情報を地図上に表示可能なもの [1] はあるが、ネットワーク特性の解析を支援する機能が十分ではない。これに対し、本ツールは、ネットワークの研究者やインターネットアプリケーションの開発者をユーザとして想定しており、ネットワーク特性を解析する機能を重視している。このようなユーザは、それぞれ必要とするネットワーク特性の情報が異なるが、本ツールは、多様な形式での情報提示・グラフ作成の機能を有しており、様々なユーザの要求に柔軟に対応することができる。また、ユーザの多様性に対応するために、様々な環境で動作可能なものとなっている。

2.2 PlanetLab

本研究で利用したネットワーク特性のデータは、PlanetLab[2] 上で動作する S3 (Scalable Sensing Service) [3] で収集されたものである。以下、本節で PlanetLab、次節で S3 について述べる。

PlanetLabは分散コンピューティングのためのネットワークテストベッドであり、企業や大学などが提供する PC を利用して、インターネット上にオーバーレイネットワークを構築している。現在、PlanetLabには 800 以上のノードが 400 以上のサイトから参加しており、地球規模に広がるネットワークが実現されている。PlanetLab 上では、分散ストレージ、P2P システム、分散ハッシュテーブルなど、多数の計算機と大規模なネットワークを使用するアプリケーションやサービスなどの研究・開発が行われている。このようなアプリケーションやサービスの開発では、単一の組織が所有する環境のみでは十分に実験できないことが問題になるが、PlanetLab のノードを利用することで、インターネット規模での実験が可能になる。

また、PlanetLabでは、アプリケーションやサービスの開発だけではなく、インターネットのネットワーク特性を測定する試みも多く行われている。PlanetLabはインターネットそのものではないが、PlanetLabのノードは世界中に広がっており、それらがインターネットによって接続されている。そのため、PlanetLabのノードを標本とし、それらのノード間のリンクを調べることによって、インターネットの特性を調べることは有用な方法であると考えられる。

2.3 S3

S3は広域ネットワークを測定するためのシステムであり、PlanetLabのノードを利用してインターネットの測定を行っている。S3では、センサポッドと呼ばれるソフトウェアを各ノード上で動作させ、ノード間リンクの特性を測定する。センサポッド内には、パケット伝送遅延時間を測定するモジュール、ネットワーク帯域幅を測定するモジュールなど、複数のモジュールがあり、センサポッドはこれらのモジュールを適当な周期で実行し測定を行う。

すべてのセンサポッドは連携しており、各センサポッドで測定された情報は一つのサーバに収集される。また、S3では、測定だけではなく推定も行う。例えば、パケット伝送遅延時間であれば、すべてのノード間のリンクで測定するのではなく、一部のリンクでのみ測定を行い、その結果をもとに測定していないリンクのパケット伝送遅延時間を推定する。

S3は、測定・推定したデータからスナップショットを作成する。スナップショットは1日に6回作成されるが、各スナップショットには15万から20万程度のノード間リンクの特性に関する情報が含まれる。S3で測定・推定されるネットワーク特性には、以下のものがある。

- src_ip
- dst_ip
- measured_latency
- nv_estimated_latency
- bottleneck_capacity
- bottleneck_available_bandwidth_pathchirp
- bottleneck_available_bandwidth_spruce
- tulip_loss_rate

src_ipとdst_ipは、リンク元とリンク先のノードのホスト名であり、当該データがこれらのノード間のリンクに関するものであることを示す。

measured_latencyは、パケット伝送遅延時間であり、ネットワークパケットの伝送に要する時間である。この値が小さいほど良いリンクであると考え

えることができる。nv_estimated_latencyは、measured_latencyと同様にパケット伝送遅延時間であるが、測定されたものではなく、推定によって得られた値である。すなわち、実際に測定された他のリンクのmeasured_latencyをもとに、当該リンクの遅延時間を算出したものである。この推定の処理には、Netvigator[4]が使用されている。

bottleneck_capacity, bottleneck_available_bandwidth_pathchirp, bottleneck_available_bandwidth_spruceの3つは、いずれも、src_ipとdst_ip間のネットワーク帯域幅を表す。ただし、bottleneck_available_bandwidth_pathchirp, bottleneck_available_bandwidth_spruceは、ネットワークモニタリングツールのpathChirp[5], Spruce[6]を用いて得られた値である。

3 可視化

S3によって、測定・推定されるインターネットのネットワーク特性のデータは膨大であり、人が直感的に理解することは難しい。また、インターネットでどのようなことが起っているかは十分に分かっておらず、測定・推定されたデータの解析も十分に行われていないため、これから直接重要な情報を得ることは容易ではない。そのため、測定・推定で得られたデータの活用は限定的なものとなっている。

このように、測定・推定されたデータから重要な情報を得る手法が確立していないため、まず、データを理解し、どのような情報が得られるかを知ることが重要になる。本研究では、これを支援するために、測定・推定されたデータを直感的に理解するための可視化ツールの作成を行った。以下、本章では、本可視化ツールについて述べる。

3.1 地図上への表示

図1は、測定・推定されたデータを地図とともに表示するツールである。本ツールは、Google Maps[7]を利用して、リンク元とリンク先のノードの位置を地図上に表示する。本ツールの特徴を以下に示す。

- ノード間の物理的な位置関係を確認することができる。
- 指定するノードを基準として測定・推定の結果を確認することができる。
- 多くの環境で利用可能である。

インターネットのような物理的に広い範囲に広がるネットワークにおいて、各ノード間のリンクの特性を理解するには、それぞれのノードの物理的な位置情報が重要になる。すなわち、ノード間の距離は、ネットワークの性能に影響を与えるほど長いものに

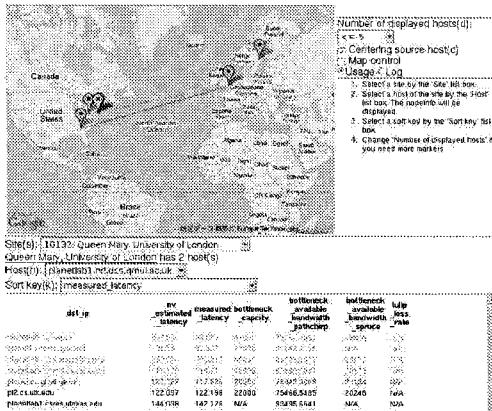


図1 地図上への表示

なることが多く、また、国境や海をまたいだリンクも多い。そのため、測定・推定されたリンクの特性を確認する際には、ノードの物理的な位置も意識する必要がある。本ツールでは、世界地図上にノードとリンクを表示することによって、ユーザがこれらの位置関係を容易に確認できるようにしている。

本ツールでは、測定・推定されたノード間リンクのうち、ユーザに指定されたノードをリンク元とするすべてのネットワーク特性のデータを表の形で表示する。この表は、パケット伝送遅延時間や帯域幅などの各パラメータをキーとしてソートすることができる。また、ソート結果をもとに、良いリンクを、ユーザが指定する数だけ地図上に表示する。このような機能により、ユーザは、特定のノードを基準にして、測定・推定結果を地理的な情報とともに容易に確認することができる。

また、本ツールには、多くの環境で利用可能であるといった利点もある。本ツールは JavaScript で実装されており、ユーザは Web ブラウザで Web ページを閲覧する形で本ツールを使用する。現在、主要な環境のほとんどが、JavaScript を実行可能な Web ブラウザを備えているため、ほとんどの環境で本ツールを使用可能であると言える。ツール本体となる Web ページや JavaScript のプログラム、可視化されるネットワーク特性のデータは、Web サーバから取得することも可能である。そのため、ユーザは Web ブラウザのみで本ツールを実行することができる。Web ブラウザはほとんどの環境に用意されているため、多くの場合、ユーザは事前に準備することなく本ツールを実行し可視化を行うことが可能である。

3.2 より詳細な情報の提示

Google Maps を利用したリンク特性の表示は、ノードの位置を地図上で確認するのに便利であるが、さらに、本研究では、測定・推定されたデータをより詳細に解析、表示するためのツールを、Squeak を用いて構築した。Squeak は、Smalltalk 環境のひとつであり、GUI のためのクラスライブラリを備えるなど、可視化のためのツールの構築に適している。また、プラグインにより Web ブラウザ上で動作させることもできるため、主要な Web ブラウザが使用できる多くの環境で利用可能なツールを構築することができるという利点もある。

インターネットのネットワーク特性の測定・推定データは、ネットワーク管理者やインターネットアプリケーション開発者にとって有用であると考えられるが、大量にあるデータのうち、何をどのような形で必要とするかは、それぞれ異なる。本可視化ツールでは、データの表示方法をユーザが自由に決定できるようにすることで、多様な利用のされかたに対応するための柔軟性を実現している。すなわち、グラフや表などを表示の単位とし、ユーザがこれらを自由に可視化ツールのウィンドウ上にレイアウトできるようにしている。本ツールでは、このような表示の単位となるものをビューと呼んでいるが、ビューには次のような種類がある。

- System information
システムの情報を表示
- Node information
ノードの静的な情報を表示
- Histogram of all links
全リンクの測定・推定結果をヒストグラムで表示
- Filtered link graph
指定された条件を満たすリンクの抽出、表示
- Node list
測定・推定に使用されているノードの一覧
- Link table
各リンクのネットワーク特性を表の形で表示
- Spiral graph
良いリンクをらせん状に表示
- Closest node set graph
良いリンクを持つノード間の関係を表示
- Grid graph
最も良いリンクを持つノードを並べて表示
- Histogram
ネットワーク特性をヒストグラムで表示
- Node correlation
ノード間の相関関係を表示

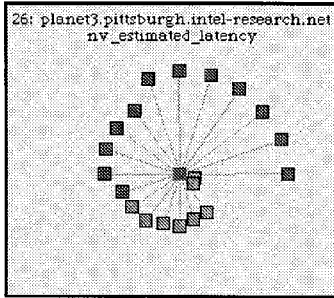


図 2 Spiral graph

System information は、ツールそのものの情報や、測定に使用したサイトやノードの総数などの情報を表示するビューである。また、Node information は、ノードの名前や IP アドレス、所属するサイトの情報など、ノードに関する静的な情報を表示するビューである。

Histogram of all links では、すべての測定・推定データを対象に、ヒストグラムの形式で表示を行う。すべてのリンクが表示の対象となるため、どの程度の遅延時間のリンクが多いかなど、ネットワーク全体の状態を確認することが可能である。

Filtered link graph は、測定・推定されたネットワーク特性をもとに、指定された条件を満たすリンクを表示するビューである。表示はグラフの形で行われるため、パラメータの大小を容易に確認することができる。例えば、パケット伝送遅延時間でグラフを表示する場合、グラフ上の各ノード間の距離が当該ノード間のリンクのパケット伝送遅延時間に比例するよう、各ノードが配置される。ユーザは、2 つノードを接続する線を見ることで、直感的にノード間のリンクのパケット伝送遅延時間の大小を確認することができる。

また、ネットワーク全体を対象としたものではなく、特定のノードを基準にして、ネットワーク特性の情報を表示することもできる。Node list は全ノードのホスト名を表示するビューであり、ユーザはこれを用いると簡単に基準とするノードを指定することができる。

Link table は、指定されたノードをリンク元とするリンクのネットワーク特性を表の形で表示するビューである。この表はパケット伝送遅延時間やネットワーク帯域幅などをキーとしてソートすることができ、これによって、どのノードに対して良いリンク持つかなどを簡単に確認することができる。

Spiral graph (図 2) は、指定されたノードから他のノードへのリンクを、良いものから順にらせん

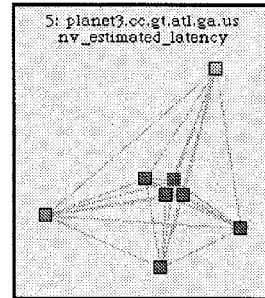


図 3 Closest node set graph

状にグラフ表示するビューである。良いリンクを選択するとき使用するパラメータや、表示するリンク数はユーザが自由に変更することができる。グラフの中心に指定されたノードが配置され、他のノードはリンクの特性に応じて中心のノードから離れた位置に表示される。例えば、パケット伝送遅延時間をリンクの評価に用いた場合、遅延時間が短いリンクほど、近くに配置される。

Closest node set graph (図 3) は、指定されたノードと、当該ノードに近いノードのいくつかをグラフ表示するビューである。各ノード間の距離は各リンクのパケット伝送遅延時間やネットワーク帯域幅をもとに計算され、この距離に応じてグラフ上に各ノードが配置される。ユーザは、ノード間の距離に使用するパラメータや、表示するノード数を自由に変更することができる。

Grid graph (図 4) は、指定されたノードを基準に、最も良いリンクを持つノードが隣接するようにグリッド上にノードを並べ表示するビューである。このとき、ノード間のリンクの良さは隣接するノードを繋ぐ線の太さで表現される。例えば、パケット伝送遅延時間であれば、短いほど太い線となる。Closest node set graph では、ノード数が多くなるとグラフが複雑になり見にくくなる場合があるが、Grid graph では、ノードの配置をグリッド状にしているため、ノード数が多い場合でもグラフの見やすさを維持することができる。

Histogram (図 5) は、指定されたノードをリンク元とするすべてのリンクを対象として、ヒストグラムを表示するビューである。ユーザは、表示するパラメータとして、パケット伝送遅延時間やネットワーク帯域幅を選択することができる。Closest node set graph などのビューでは、一部のリンクのみが表示の対象となるが、Histogram ではすべてのリンクを表示の対象とするため、指定したノードから他のノードへのリンクの特性の傾向を容易に確認

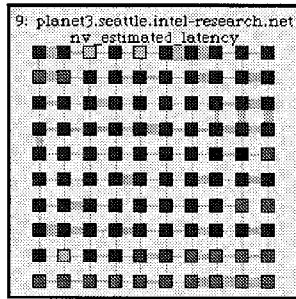


図 4 Grid graph

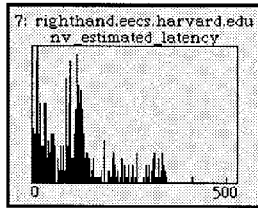


図 5 Histogram

することができる。

Node correlation は、指定されたノードと他のノードの相関関係を表示するビューである。相関係数の算出に使用するパラメータとして、パケット伝送遅延時間やネットワーク帯域幅を選択することができる。強い相関関係を有するノード同士は、ネットワーク的に近い位置にあると考えることができる。

ユーザはこれらのビューを自由に生成・削除することが可能である。また、生成されたビューは可視化ツールのウィンドウ上に並べられるが、ユーザはこれらの並びを自由に変更することができる。このような柔軟性によって、目的に応じて、必要な情報を見やすい形で表示させることが可能になる。

4 議論

4.1 推定値の評価

前章で述べた可視化ツールを使用することで、測定・推定されたネットワーク特性に関していくつかの特徴が分かってくる。例えば、測定・推定されたすべてのデータを Filtered link graph などと調べると、いくつか異常なデータが含まれていることが分かる。特に、パケット伝送遅延時間に関しては、異なるサイトにあるノード間のリンクが1マイクロ秒以下の遅延時間を持つと推定されることがある。

ひとつのスナップショットに含まれる測定・推定データのから、measured_latency と nv_estimated_latency の両方が有効な値を持つリンクを抽出し、そ

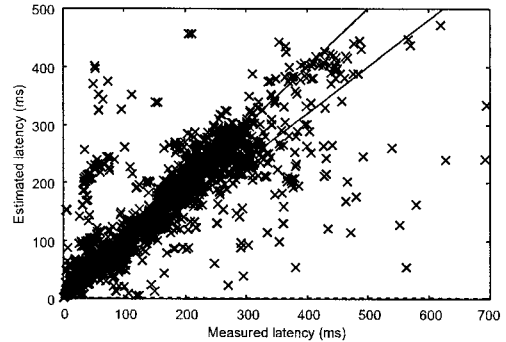


図 6 測定値と推定値の関係

表 1 推定誤差率のばらつき

最小値	中央値	最大値	分散
-0.956	0.00332	34.7	1.11

れらをグラフにしたものを図 6 に示す。図中の直線は、測定値の 1.2 倍と 0.8 倍を表している。すなわち、これら 2 つの直線の間の点は、推定値の測定値からのずれが 2 割以下のものである。図に示されるように、多くの推定値が測定値に近い値になっているが、無視できない数のリンクで測定値と推定値の差が 2 割以上になっている。

測定値と推定値の差について調べるため、次式で得られる測定誤差率を各リンクに対して計算した。

$$\text{推定誤差率} = \frac{\text{推定値} - \text{測定値}}{\text{測定値}}$$

図 6 に示したスナップショットに対し推定誤差率を算出したとき、その分布は表 1 のようになった。この表からは、中央値は 0 に近い値であるが、全体の分布としては、正の側に大きく偏っていることがわかる。推定誤差率が正になるリンクは、測定値に対して推定値が大きいリンクである。推定誤差率が極端に大きくなる原因として、推定値を算出する際の通信経路が測定時の実際の通信経路と異なり、パケット伝送遅延時間が長く推定されるというものが考えられる。

極端な外れ値を除くために、中央値から離れた 1% 分のリンクを取り除き、解析を行った。このときの、測定誤差率の分布をヒストグラムで表したものを図 7 に示す。本ヒストグラムからも、推定誤差率は 0 を中心に分布しているが、正の側に偏っていることが分かる。推定誤差率が正になるのは、パケット伝送遅延時間が実際より大きいと推定される場合であるため、推定値を遅延時間の最悪値として使い、ノードを選択することは有用であると考えられる。

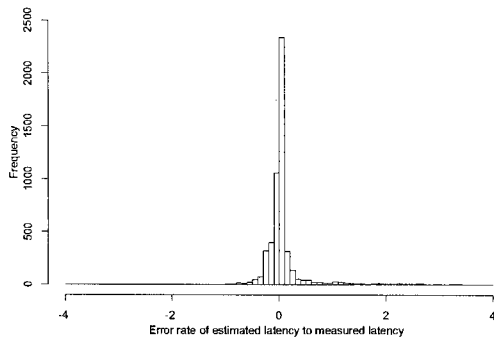


図7 推定誤差率のヒストグラム

逆に、推定誤差率が極端に小さい場合には、ネットワークに障害が発生している可能性を考えることができる。

4.2 距離とリンク特性

可視化ツールを用いると、リンクの特性とノードの物理的な位置が関係していることも確認することができる。本ツールでは、ノードが所属するサイトの経度を色相に使い、グラフに表示するときのノードの色を決定している。多くのグラフで、近い色のノードが似た特性を持っていることを確認することができる。また、物理的に近いノードは強い相関関係を持っていることも確認できた。

図8は、あるひとつのスナップショットの測定・推定データのうち、パケット伝送遅延時間が測定されたものを抽出し、ノード間の距離とパケット伝送遅延時間の関係を散布図で表したものである。当該スナップショットでは、5126個のリンクでパケット伝送遅延時間の測定が行われており、外れ値を持つ11個のリンクを除いた物を図示してある。なお、図中の直線は、グラフ上の点から最小二乗法で得られる回帰直線である。

図8では、ノード間の距離が長くなると、パケット伝送遅延時間も長くなる傾向を見ることができる。本スナップショットでの、ノード間の距離とパケット伝送遅延時間の相関係数は0.635であり、この点からも、これらに相関があることが分かる。

ノード間の距離によって、パケット伝送遅延時間のばらつきがどのように変化するか調べるために、ノード間の距離をパケット伝送遅延時間で割った値を算出した。この値は、直感的には、単位時間あたりにパケットが進む距離であり、以後、パケット伝送速度と呼ぶ。このパケット伝送速度の分布について、ノード間の距離を次の3つに分けて調査した。

- 近距離: 0km 以上 4500km 未満
- 中距離: 4500km 以上 12000km 未満

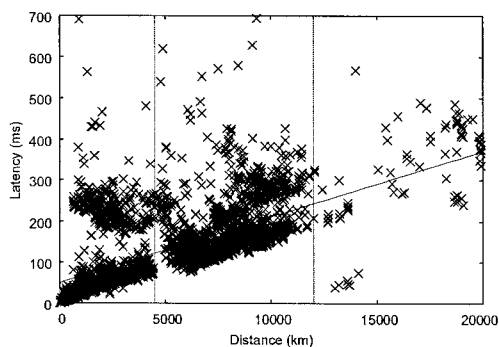


図8 ノード間の距離とパケット伝送遅延時間の関係

- 遠距離: 12000km 以上

近距離には、1つの国あるいは北アメリカやヨーロッパなど地域内でのリンクが相当する。また、日本と北アメリカ間や、北アメリカとヨーロッパ間など、地域間のリンクは中距離のリンクとなる。さらに、これらより長いオーストラリアとヨーロッパ間のリンクなどは遠距離のリンクとなる。

近距離、中距離、遠距離、それぞれのパケット伝送速度の分布は、図9、図10、図11に示すヒストグラムのようなになる。また、これら各距離でのパケット伝送速度の最小値、中央値、最大値、分散は、表2のようなになる。

これらの図、表から、近距離のリンクは、中距離や遠距離のリンクに比べ、遅いパケット伝送速度を中心に分布していることが分かる。特に、近距離のリンクには、パケット伝送速度が5km/ms以下の極端に遅いリンクが多く含まれている。

中距離と遠距離のリンクは、近いパケット伝送速度を中心に分布しているが、そのばらつきは大きく異なる。すなわち、中距離のリンクは、分散が171.8と狭い範囲に分布しているのに対し、遠距離のリンクは、分散が3519.0と広い範囲に分布している。特に、遠距離でのリンクでは、異常値の可能性も考えられる、180km/ms以上、最大342.9km/msのパケット伝送速度も測定されている。

以上のことから、良いネットワークリンクで接続可能なノードを選択する手順として、次のようなものが考えられる。まず、遠距離よりも中距離、中距離よりも近距離のものを選択することが基本になる。また、近距離のものに接続しても、期待した速度が得られない場合は、物理的な距離に強くこだわる必要はなく、他の近距離のノードに切り替えることが有効である。中距離のノードから選択する場合は、ノード間の距離とパケット伝送遅延時間の関連が強

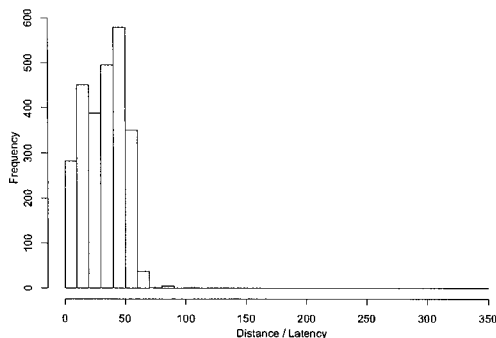


図 9 近距離リンクのパケット伝送速度の分布

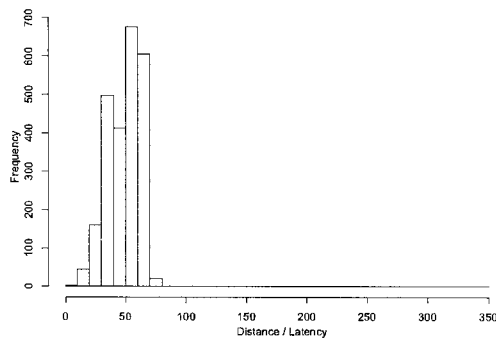


図 10 中距離リンクのパケット伝送速度の分布

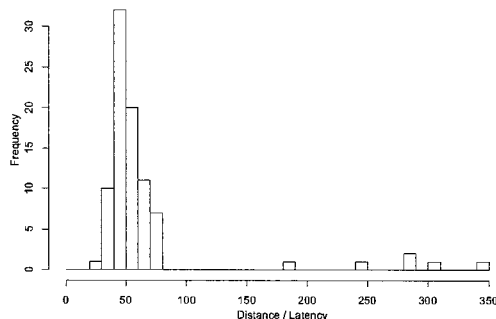


図 11 遠距離リンクのパケット伝送速度の分布

いため、ノード間が距離の短いものを選択すればよい。遠距離からしか選択できない場合は、ノード間の距離に強くこだわる必要はない。むしろ、遠距離のノードは比較的少数であるため、履歴を残すことが比較的容易であり、それを利用することが効果的であると考えられる。

5 おわりに

本稿では、広域に広がるネットワークの特性を可視化する手法、および、可視化によって得られたネッ

表 2 パケット伝送速度 (km/ms) のばらつき

	最小値	中央値	最大値	分散
近距離	1.3	34.0	101.6	258.7
中距離	7.8	52.2	79.5	171.8
遠距離	24.6	50.5	342.9	3519.0

トワーク特性の特徴をもとに、良いネットワークリンクで接続可能なノードを選択する手法について述べた。本研究で構築した可視化ツールを用いると、長距離のネットワークリンクを対象とするときに重要になるノードの位置情報を考慮したネットワーク特性の解析が可能になる。また、ネットワークリンクを、ノード間の距離をもとに、近距離、中距離、遠距離に分類すると、ネットワーク特性の分布の特徴がそれぞれ異なるものとなるが、この特徴を考慮し、良いリンクで接続可能なノードを選択する手法についても述べた。これらによって、広域ネットワークの測定・推定によって得られた情報を有効に活用することが可能になる。

参考文献

- [1] Wawrzoniak, M., Peterson, L. and Roscoe, T.: Sophia: an Information Plane for networked systems, *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, Vol. 34, No. 1, pp. 15–20 (2004).
- [2] PlanetLab: <http://www.planet-lab.org/>.
- [3] Yalagandula, P., Sharma, P., Banerjee, S., Basu, S. and Lee, S.-J.: S3: a scalable sensing service for monitoring large networked systems, *INM '06: Proceedings of the 2006 SIGCOMM workshop on Internet network management*, New York, NY, USA, ACM Press, pp. 71–76 (2006).
- [4] Sharma, P., Xu, Z., Banerjee, S. and Lee, S.-J.: Estimating network proximity and latency, *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, Vol. 36, No. 3, pp. 39–50 (2006).
- [5] Ribeiro, V. J., Riedi, R. H. and Cottrell, L.: pathChirp: Efficient Available Bandwidth Estimation for Network Paths (2003).
- [6] Strauss, J., Katabi, D. and Kaashoek, M. F.: A measurement study of available bandwidth estimation tools, *Internet Measurement Conference*, ACM, pp. 39–44 (2003).
- [7] Google Maps: <http://www.google.com/apis/maps/>.