

# インターネットにおける QoS ビジュアライザ

福田 晴元 小野 諭 高橋 直久

harumoto@slab.ntt.jp ono@slab.ntt.jp naohisa@slab.ntt.jp

NTTソフトウェア研究所

インターネットの普及に伴い、多彩なアプリケーションが様々なサービスを利用している。しかし、現在のインターネット管理方法では、ネットワークのサービス品質 (QoS) の把握が十分行なわれておらず、サービス品質の確保に必要となる重要な情報が取得不可能である。本稿では、ネットワーク全体での QoS の把握を可能とするため、QoS の監視装置と、その監視結果を実時間で可視化するビジュアライザについて述べる。特にここでは、IP パケットの伝送遅延等のように、ネットワーク層の QoS に着目し、その品質の表示法と監視法を提案するとともに、実験的に作成したシステムを紹介する。

## An Internet QoS visualizer

Harumoto FUKUDA Satoshi ONO Naohisa TAKAHASHI

harumoto@slab.ntt.jp ono@slab.ntt.jp naohisa@slab.ntt.jp

NTT Software Laboratories

Because of rapid growth of Internet, many kinds of applications use many kinds of services on the Internet. Conventional internet management systems do not sufficiently investigate network quality of service (QoS) for the applications because it is impossible to measure important QoS data using conventional management systems. We describe a new system called the Internet QoS visualizer to analyze QoS. This system, which consists of packet probing, analyzing, and visualizing functions, can visualize QoS fluctuations on a display.

### 1 はじめに

インターネットが事実上コンピューターネットワークの標準となってきたおり、インターネットの普及が進んでいる。その普及に伴い、音声や動画等の時間軸の保存が必要なデータ通信を行なうアプリケーション等、多彩なアプリケーションの利用がインターネットの上で進められている。それぞれのアプリケーションは、mail, ftp, telnet 等のような様々なネットワークサービスの利用を始めているため、アプリケーションを導入する際には、そのアプリケーションが必要とするネットワークサービスの品質が十分確保されていることを調べ、品質を低下させる場所や要因を把握する必要が生じる。

また、ATM やフレームリレー等のように、回線レベルで QoS の変動する様々な通信ネットワークがインターネット上で利用され始めている。アプリケーションを利用する端末から見た場合には、通信の途中経路で QoS が変動する物理的な回線が混在することとなる。また、途中経路を複数の端末やアプリケーションで共有するた

め、他のアプリケーションによる輻輳が発生することによる QoS の低下もある。このように、インターネットでは、利用するネットワークの QoS がリアルタイムに変動するため、その変動を把握し結果をネットワークの制御に役立てて、ネットワークサービスの品質を向上する必要が生じる。

しかし、現在のインターネットでは、データの発信者、すなわち、ユーザが、利用しているネットワークの品質変動を正確に把握することが困難である。このため、アプリケーションを用いる際に、そのアプリケーションを実行するために必要とする品質が、どの程度確保されているか調べられない。また、サービスの品質が粗悪な場合にも、その原因追求に大変時間がかかることとなる。

このため、インターネット上で利用されているサービスの品質を、ユーザが、サービス別に、リアルタイムに把握する方法が必要とされてきている。さらに、QoS が変動したり、また、帯域の異なる多数の物理回線が利用されているため、その回線間の QoS 変動を把握する

ことも必要と考えられる。しかし、従来のインターネット管理方法では、サービス品質の確保に必要となる重要な多種情報をネットワーク全体より、リアルタイムに取得することは困難である。このため、ネットワークのサービス品質 (QoS) の把握を十分行なうための手法が必要となる。

我々はこのような背景から、インターネットの QoS を監視してリアルタイムに表示するインターネット QoS ビジュアライザの研究を進めている。本稿では、まず 2 節にてビジュアライザの目標と課題を述べ、3 節にてこの目標実現の観点から従来のインターネット管理の問題について述べる。次に 4 節にて QoS ビジュアライザに必要な機能を述べる。さらに、5 節にてビジュアライザにおける収集装置について述べ、最後に、6 節にて実験的に作成したビジュアライザについて述べる。

## 2 ビジュアライザの目標と課題

QoS 変動をリアルタイムに把握することにより、ネットワークの管理者にとっては、ネットワーク上の何処に QoS を低下させる箇所があるのか把握出来るようになる。またその変動の履歴により、その箇所の QoS 変動を調べることができ、特定の時間に発生する現象か、恒久的な QoS の低下を招いているのか知ることが出来るようになる。さらに、ユーザにとっては、どのようなアプリケーションが QoS をどの程度変動させるかというアプリケーションの性質を観測出来るようになる。

以上のように、QoS の変動の把握の結果、ユーザやネットワークマネージャに対してネットワーク上の QoS に関する問題点の提示や、アプリケーションがどの程度の品質で実行されるか、また、対象となるネットワークの QoS に関する性質を把握することが可能となり、ネットワークの性能を QoS にて評価し、それをネットワーク構築に反映することが可能となる。また、ネットワークの効率的な利用が可能となる。これらを実現するために、以下の二つを目標とするビジュアライザの研究を進めている。

- アプリケーションの視点から、対象となるネットワークの QoS について、その変動を把握して表示する。
- QoS の状態変動について、ネットワークリンク相互の関係をネットワーク全体について実時間で把握し実時間表示する。

上記目標を達成するためには、伝送遅延や帯域の利用等の、短時間で刻々と変化する QoS の変動を、smtp, ftp-data 等のようなプロトコル別にリアルタイムに把握しなければならない。

また、例えば、一つのバケットが複数のネットワークリンクを跨って、移動する様子を追いかけるといような、各ネットワークリンク上の QoS とその相互の関係を

を把握しなければならない。

さらに、ネットワーク全体の中のどの箇所で QoS がどのように変動しているか等の場所的な性質と、変動の履歴等の時間的な性質を容易に把握出来るように、ビジュアルに表現されることが好ましい。

以上の要求に答えるためには、以下のような課題がある。

- プロトコル別に連続して情報を収集し続ける。
- 収集した情報を互いに比較して相互関係を解析する。
- 履歴表示に加えて、大域的な QoS の変動を表示する。

## 3 従来の管理方法の問題点

インターネットの管理には、従来より、SNMP(Simple Network Management Protocol)[1]等のネットワーク管理プロトコルを利用してネットワークノードよりデータを収集する方法と、パケット監視装置を用いてネットワークリンク上を流れるバケットを収集する方法が行なわれている。以下では各方法の簡単な紹介と、前節での課題を解決する上での問題点を述べる。

管理プロトコルを利用する方法とは、SunNet Manager[5]のように、ネットワークノード(agent)が、SMI[2]と呼ばれるスキーマに従って記述された MIB(Management Information Base)[3]が示す内容の情報データベースを持ち、この情報をネットワーク上の一箇所の管理ステーション(manager)より管理プロトコルを利用して取得する方法である。

ところで、ビジュアライザには、繰り返し多くの情報をサービス別に取得するという課題がある。このため、管理プロトコルを利用する方法には以下の問題がある。

- 情報の提供のためには、ネットワークノードのリソースを非常に消費する。
- 情報を収集するためにかかる応答時間が長い。
- 情報データベースはサービス別の情報を持たない。

以上の問題のため、管理プロトコルの利用は、QoS ビジュアライザのための情報収集には適切ではない。

パケット監視装置を用いてデータを収集する方法とは、NStat[6]やSniffer[7]のように、複数のネットワークリンク上に監視装置を設置し、ネットワーク上を流れるバケットを収集し、その時刻と共に保存する方法であり、その収集結果よりプロトコル別の統計情報が作成されている。

これは、装置が設置された箇所のネットワークリンクについて、どのようなサービスを利用したバケットがどの程度流れていたか等の、リンクの利用についてプロトコル別に性質を収集することが出来る。しかし、統計情報とは、15分や1日といった長い期間収集したデータを解析した結果であるため、QoS の変動といった短時

間で変化する情報の表示には適さない。また、装置の時計が正確に同期していないため、あるパケットが複数地点をどのように経由したかのような、パケットの動作を時系列に沿って把握できない。このため、ネットワークリンク相互の時間的な関係を把握することは難しい。

以上のように、現在のインターネット管理方法では、QoSの変動を把握するために必要となる多種情報を、ネットワーク全体よりリアルタイムに取得することは困難である。

#### 4 ビジュアライザの構成概要

前節で述べた問題を解決し、実時間でのプロトコル別のQoS把握をできるようにするため、以下の6機能からなるQoSビジュアライザの作成を進めている。

- 「プローブ」 ネットワークリンク上を流れるパケットを収集する。バックボーンネットワークを考えると、一次群、二次群、三次群、等の高速インタフェースを用意する必要がある。
- 「フィルタ」 収集したパケットの中で、必要なパケットのみを抽出する。様々なサービス別のQoS情報を次々と収集するためには、変更が容易なように、プログラマブルなフィルタ機能が必要である。
- 「タイムスタンプ」 抽出したパケットに対して正確な時刻のタイムスタンプを押す。この時刻により伝送遅延等の時間に関するQoSパラメータが測定可能となる。
- 「収集」 時刻情報が付与されたパケットを、遠隔の観測点から収集する。ユーザのデータ通信ネットワークの障害等の影響を受けないようなデータ収集網を構築する必要がある。
- 「分析」 収集されたデータを多数の観測点より収集して解析する。観測点各々のデータを比較して相互関係を解析する必要がある。
- 「表示」 ユーザに対して、ネットワークリンクのQoS変動をネットワーク全体を把握できるように表示する。大域の変動と履歴の表示が必要である。

プローブ、フィルタ、タイムスタンプ、収集の各機能を達成するために必要な要素技術について5節で述べる。また、分析と表示の機能については6節にて、実験的に作成したビジュアライザを例に述べる。

### 5 パケット収集装置

#### 5.1 時計同期

タイムスタンプを付与する方法には、収集した時点で付与する方法と、収集したデータの送信先で一括してタイムスタンプを付与する方法がある。後者は、収集した地点から分析する地点までデータを送信する際に、送信遅

延による時刻の影響を受けるため、時系列の把握が正確に出来ない可能性がある。そこで、パケット収集装置では、収集した時点で時刻を付与する方法を採用する。このためには、各機器が時刻同期する必要がある。

QoSパラメータの一つである伝送遅延を考えると、そのデータはmillisecondオーダの単位で収集される。このため、分散した計算機環境下で、QoSの測定に必要な精度の時刻の同期のためには、millisecond単位より下での時刻同期が必要となる。NTP(*Network Time Protocol*)[4]を利用した場合には、millisecond単位での時刻の同期は正確になされているが、millisecondより高精度な同期は困難である。

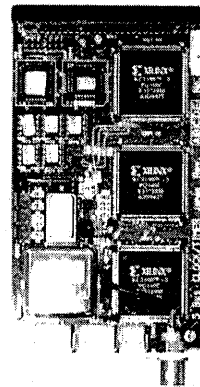


図1 ISDNを用いた時計同期ボード

この問題を解決するため、ISDN回線より供給されるフレーム同期信号を利用した広域時計同期技術[8][9]を用いる。これは各々の時計を、この信号と周波数同期することにより、時計の進み方の同期を取る技術である。時刻ソースとしてはGPS(*Global Positioning System*)を用い、これにより正確な時刻を与える。一度時刻を与えると、年差500 $\mu$ secの精度で分散した計算機を時刻同期させることが可能である。図1に、時刻同期用のボードを示す。本ボードは、sbusインタフェースを持ち、現在solaris2.3以降で使用できるドライバーが用意されている。

#### 5.2 パケット監視ボード

各種ネットワークのインタフェースを用意した装置をネットワークリンク上に設置し、そのリンク上を流れるパケットを実際に収集する必要がある。現在のインターネットバックボーンを考えると、ethernetに加えて、FDDI、基本群、一次群、二次群、三次群、のインタフェースが必要となる。図1に現在試作を行なったパケット収集ボードを示す。このボードは、基本群、一次群、二次群、10BaseTのインタフェースを備えている。図のボー

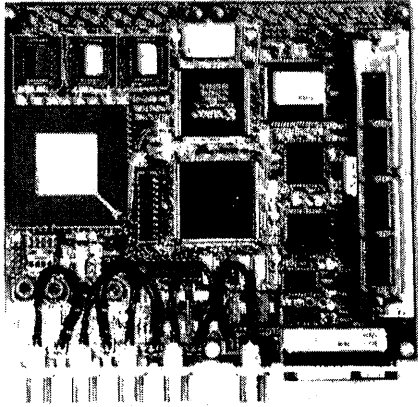


図2 IPパケットの監視ボード

ドは、sbus インタフェースを持ち、Solaris2.3以降で動作するドライバが用意されている。

上記ボードを利用するパケット収集装置は、分散環境下にあっても、広域時計同期ボードを利用することにより時刻を高精度に同期させることが出来る。この時刻を利用して、監視ボードで収集したパケットにハードウェアで時刻を刻印する。この時刻情報により、ネットワーク上でパケットがどのように動作したかをトレースすることが出来るようになり、時間に関係のあるQoSデータの把握が正確に出来る。

### 5.3 パケット収集装置の構成

パケット監視装置を用いて構成される監視網を図3に示す。監視網は回線監視ノードと集中監視サーバからな

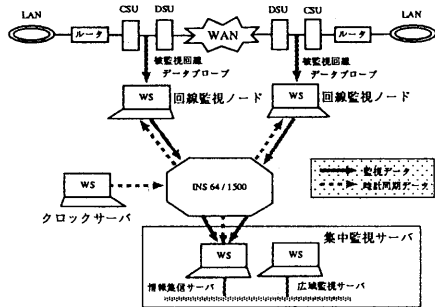


図3 収集装置の構成図

る。両者は、INS64を用いて、ユーザ網とは独立した監視用ネットワークにより接続され、必要に応じて監視サーバにデータを集約できるようにしている。これにより、ユーザ網の一部に障害が発生しても、収集したデータを監視サーバに集めることが出来る。システムの機器

全体を、5.1節で述べた、INS64上のデジタル網フレーム同期信号を利用した広域時計同期を行なう。このデジタル網は、監視用ネットワークと同一のものである。

図の回線監視ノードは、5.2節で示したパケット監視ボードを利用しており、ネットワーク上よりパケットを収集して時刻を付与する機能を持つ。パケットに対して正確な時刻を刻印して保存することを実現したことにより、ネットワークの片道遅延やその変動を正確に把握できるようになる。

次に、高速回線上で、網内を流れる膨大な収集データの中から注目するアプリケーション関連のパケットを収集するため、また、取りこぼし等ないようにするためには、必要なパケットを選択するフィルタリングが必要となる。現在はBPF(Berkeley Packet Filter)を利用することにより、収集装置のカーネル上で実現している。これにより、特定パケットのネットワーク上での動作をトレースすることが可能となり、サービス別のQoS変動を収集出来る。

監視サーバでは、回線監視ノードより送られる時刻付パケットを解析する必要がある。さらに、SNMPによるノードの情報を収集する機能も有する。これらの情報を解析して、その結果を広域監視サーバに送る。広域監視サーバ上では、ユーザに対してQoSの変動を表示する。

なお、回線監視ノードは試験パケットを生成することが出来る。各々の回線監視ノードは、正確に時計が同期しているため、他のリンク上の監視ノードにて試験パケットを収集することにより、片道伝送遅延等のネットワークリンク相互間の関係を知ることが出来る。

## 6 QoSの分析と表示

### 6.1 実験システムの概要

QoS ビジュアライザの分析と表示を実験するため実験システムを作成した。このシステムでは現在情報の収集のためにICMPやSNMPを用いているが、今後はパケット収集装置から得られる情報を用いて分析表示を行なうように改良を進める。

実験システムはSUN(SunOS4.1.4)ワークステーション上で、Tcl/TkとPerl、及び、cmu-snmppを用いて作成した。システムの構成を図5に示す。このシステムは、複数のコマンド群とGUI部分から構成される。それらの実行結果を編集することによりRTTや各利用率を算出する。その結果を線(ネットワークリンク)の幅や、色の変化を用いて、大域的に表現する。また変動の履歴をグラフにより表示する。システムの動作例を図4に示す。

次節からは、QoSの大域的変動と変動の履歴について、ノードの状態、及び、ネットワークリンクのQoS表示を行なった例について詳しく説明を行なう。

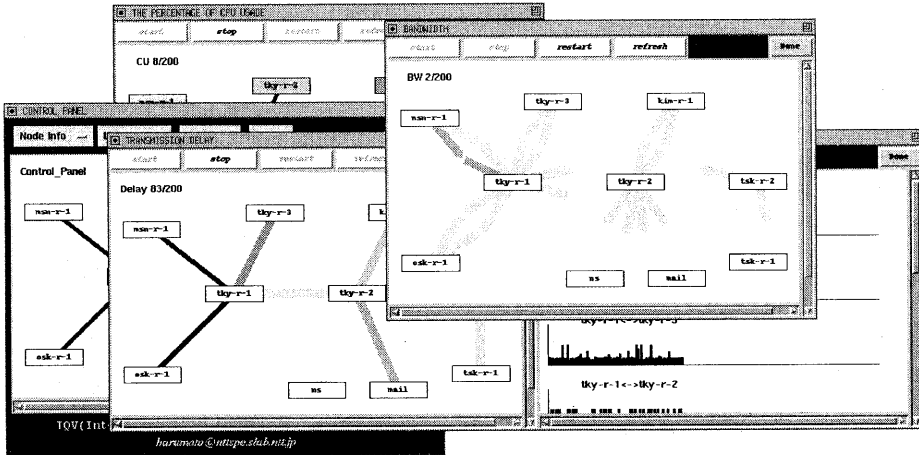


図4 インターネット QoS ビジュアライザの表示例

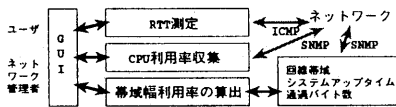


図5 実験システムの構成

## 6.2 CPU 利用率

CPU 利用率の表示を例として、表示例を説明する。図6に表示例を示す。図では、箱はノード、ノード内の

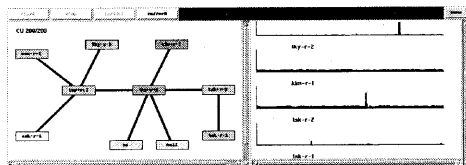


図6 CPU 利用率の表示例

テキストはノード名、線は物理的な回線を示す。ネットワーク上の各ノード（ルータ）より、SNMPを利用してCPU利用率を検索し情報を得る。この結果より、各ルータのCPUの利用率を、図にあるように色の変化で表示を行なう。色の濃いルータは、CPUの利用率が高いルータである。

実際に、kim-r-1というルータは、BGPというプロトコルを利用して、この表示対象となっているネットワークの国内、及び、国際接続を行なっており、そのpeerの数は、10個に及ぶ。また、tky-r-2という名前

のルータは、このネットワーク中で、最もユーザ収容数の多いルータであり、6個のプロトコル用プロセスが動作しており、その間でプロトコル変換がなされている。これらのルータは、履歴を見てもわかるように、常にCPUが利用されており、注意が必要なことがわかる。以上のように、このネットワークのノードのCPU利用の性格を把握することの出来る表示を行なっている。

## 6.3 ネットワークリンクの QoS 表示

### 6.3.1 帯域幅利用率

ネットワークリンクの QoS 表示例の一つとして、帯域幅利用率の表示例について説明する。図7に表示例を示す。図では、箱はノード、ノード内のテキストはノー

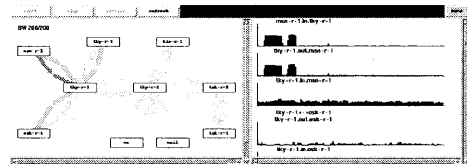


図7 帯域幅利用率の表示例

ド名、線は物理的な回線を示し、その矢印は、登り、下りについてノードに対するパケットの入出力を示す。ネットワーク上の各ルータよりSNMPを利用して、回線帯域、ルータが起動してからの時間（システムアップタイム）、インタフェースごとの伝送パケット量を収集する。この値と、前回の収集結果の差分により帯域幅利用率を算出する。その結果を図にあるように、線の色と幅で示す。色が濃く、幅が狭い線は、パケットで占める帯域の利用率が高いことを示す。

例えば、msn-r-1 と tky-r-1 の間の片側は、大変利用率が高く、その履歴を見ても常にこの方向でパケットの転送が多いことがわかる。これは、msn-r-1 の奥に大変利用頻度の高いサーバホストがあることを示している。以上のように、ネットワークのパケットの転送量について、ネットワーク全体での把握が可能であり、また、その変化を履歴により把握可能となる。これにより、ネットワークリンクの利用のされ方を把握することが出来る。

### 6.3.2 IP パケットの伝送遅延

ネットワークリンクの二つ目の QoS 表示例として、伝送遅延の表示例について説明する。図 8 に表示例を示す。図では、箱はノード、ノード内のテキストはノード

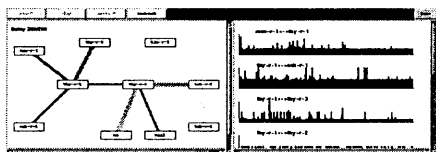


図 8 IP パケットの伝送遅延の表示

名、線は物理的な回線を示す。ネットワーク上の msn-r-1 というルータより IP パケットを全てのルータに対して、送出し、その返送により RTT(Round Trip Time) (往復伝送遅延) を測定する。各々のリンクについて、図 9 にあるように、ルータの測定装置側のインタフェー

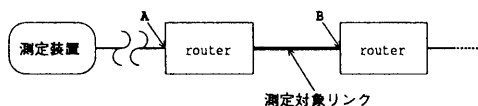


図 9 ICMP パケットの受信点

スに対して A, B, A の順に ICMP echo メッセージを送り、reply を受けとり RTT を測定する。B への RTT 値から、始めに A で測定した RTT 値を引いて差分を求め、同様に最後の A で測定した RTT の値との差分を求める。両値を比較し、その値に一定以上の差がなければリンクの RTT として採用する。RTT の大小は、線の色と幅で示す。色が濃く、幅が狭い線は、遅延の大きいことを示す。

この表示では、大域的表示を見ると、突然大量のパケットが転送されたことによる伝送遅延の変動を把握することができ、また、履歴を見ることにより、リンク別の遅延の傾向を見ることが出来る。例えば、msn-r-1 と tky-r-1 の間の遅延は常に大きい傾向にあるが、tky-r-1 と tky-r-2 の間は小さい傾向にあることがわかる。

上の RTT による測定では、msn-r-1 から、目的のルータまでの経路上にある、複数リンクの遅延変動の影響をうけるため、遅延の値は大変不正確である。しかし、例えば ICMP timestamp を利用するような、各ルータの時計により RTT を測定する方法では、各ルータが正確に、少なくとも 1msec 以下の単位で時計が同期していなければ、その計測結果が意味をなさない。しかし、通常時計の同期には NTP が利用されており、この精度では RTT の測定は不可能である。従って、各ノードが正確に時計同期をしていないかぎり、RTT のような、一つのホストの時計により測定する方法が、現状では最も好ましい。

## 7 おわりに

多彩なアプリケーションが利用するインターネットの QoS について、その変動を把握するためのビジュアライザについて述べた。収集装置はネットワーク上の複数箇所に設置され、正確に時計が同期されており、QoS の変動を正確に把握可能である。さらに、収集した QoS の情報を、ネットワーク全体について、また、履歴について表示するビジュアライザについて述べ、実験的に作成したインターネット QoS ビジュアライザを紹介した。

今後は、一つのパケットのネットワーク内での動作を把握するような、パケットトラッキング手法、及び、QoS データの効果的な解析方法について考察を進める。

最後に、本研究の御支援、御指導頂く後藤滋樹広域コンピューティング研究部長ならびに、日頃御討論頂くソ並 G の皆様に感謝します。

## 参考文献

- [1] M. Schoffstall, M. Fedor, J. Davin, J. Case, "A Simple Network Management Protocol (SNMP)", RFC1157, May, 1990.
- [2] K. McCloghrie, M. Rose, "Structure and Identification of Management Information for TCP/IP-based Internets", RFC1155, May, 1990.
- [3] K. McCloghrie, M. Rose, "Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based internets: MIB-II", RFC1213, Mar, 1991.
- [4] David L. Mills, "On the Accuracy and Stability of Clocks Synchronized by the Network Time Protocol in the Internet System", Computer Communication Review, Vol.20, No.1, pp.65-75, Jan, 1990
- [5] "SunNet Manager 2.2.2 Reference Manual", SunSoft, Aug, 1994.
- [6] Daniel C. Lynch, Marshall T. Rose, "Internet System handbook", ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY INC., Jan, 1993.
- [7] "エキスパート Sniffer ネットワーク・アナライザ操作説明書", Network General(東洋テクニカ).
- [8] 山下, 小野, "高速デジタル網を用いたクロック周波数同期", Tech. Report of IEICE, CPSY94-119, pp.25-31, Mar, 1995.
- [9] 山下, 小野, "ISDN 網を用いた分散高精度時刻/周波数同期", 情処研報 Vol.95, No.61, pp.37-42, Jul, 1995.