

5-6-2 ネットワークによる時刻供給

5-6-2 *Time distribution using the network*

今村國康 後藤忠広 金子明弘 今江理人 栗原則幸
 IMAMURA Kuniyasu, GOTOH Tadahiro, KANEKO Akihiro,
 IMAE Michito, and KURIHARA Noriyuki

要旨

NTP (Network Time Protocol) は、ネットワークによる計算機間の時刻を同期させるためのプロトコルである。当所は日本標準時の発生、維持及び標準電波による供給を行っているが、日本標準時の元となる UTC (CRL) をネットワークを利用して供給する計画を進めてきた。今回、NTP を使ったネットワークによる時刻供給システムが完成し、サービスを実施する段階までに至ったので、その内容について報告する。

The network time protocol (NTP) is used by a network to synchronize time between computers. CRL generates a UTC (CRL) and standard time signal for Japan, and disseminates them to users by time-signal emissions. CRL has advanced a plan to distribute UTC (CRL) on the computer network. This paper described the composition and the content of service of the NTP time distribution system.

[キーワード]

NTP, ネットワーク時刻供給, ネットワーク時刻同期, 日本標準時, UTC(CRL)

NTP, Time distribution using the network, Time synchronization using the network, Japan Standard Time, UTC (CRL)

1 まえがき

ネットワークが普及することで、ネットワークに接続された計算機が著しく増加し、利用形態はますます進歩する中で、計算機による時刻の取扱いの重要性が増してきている。ネットワークを利用した計算機間の時刻同期手法としては、NTP (Network Time Protocol) を使う方法が広まってきている。現状のインターネットのように、経路の特定や遅延の補償ができない回線では、精度の高い時刻同期や時刻配信は難しい課題でありながら、NTP は日常生活に利用する上では十分な精度が得られることもあり、普及してきている。

当所では、NTP を使った時刻供給について、共同研究を進め、NTP 専用サーバの開発や NTP サーバのインターネットに対する公開実験等を実施してきた。これらの成果を基に、当所の持つ日本標準時の元である UTC (CRL) を、ネット

ワークを使って供給するシステムを完成させ、定常のサービスを実施することとした。以下に、これまでの取組を紹介し、ネットワーク時刻供給システムとサービスの内容について述べる。

2 NTP の原理とこれまでの取組

2.1 NTP の動作原理

NTP の動作原理については既に多くの記述があるので[1]、ここでは簡単に述べる。NTP は、時刻情報を提供するサーバと、その情報に従って時刻を同期させるクライアントから構成される。さらに、サーバ/クライアントの関係は階層的に構成され、NTP における階層を stratum と呼ぶ。

stratum 1 には、協定世界時 UTC に同期したサーバが想定され、一番上の階層として位置する。stratum 2 は、stratum 1 のサーバの時刻に、NTP による手法で同期している計算機を意味す

る。したがって、stratum 2 サーバはstratum 1 サーバから見てクライアントとして位置する。同様にstratum 3 のサーバはstratum 2 サーバに対するクライアントとして位置する。NTPでは、このような階層で時刻同期を行っている。

時刻の同期方法は、タイムスタンプを含めたパケットの交換により行われる。まず、クライアントの計算機は、サーバに対してパケットを送る。このパケットには送出した時点の時刻 T_{i3} (クライアントのローカル時刻)を入れておく。パケットを受け取ったサーバは受け取った時点の時刻 T_{i2} をパケットに追加記録し、クライアントに送り返す。送り返す時点の時刻 T_{i1} も同様に記録する。クライアントは三つの時刻が記録されたパケットを受信することとなるが、受信時点の時刻 T_i も記録する。この四つの時刻のデータからサーバとクライアントの時計の差を算出する。NTPではこのときネットワークによる遅延量を往復の行きと帰りが同一と仮定して、次式で計算される。

$$\Delta T = T_{peer} - T_{host} = \frac{1}{2} [(T_{i-2} - T_{i-3}) + (T_{i-1} - T_i)] \dots (1)$$

ここで T_{peer} はサーバの時計の時刻、 T_{host} はクライアントの時計の時刻を表す。

クライアントはこの時刻差情報を多数得ることで平滑化し、ネットワークの遅延によるばらつきの影響を少なくするとともに、複数のサーバから時刻情報を得ることで、安定した時刻情報が得られるサーバに従属することができる。クライアントはこれらの情報から、自身の時計の最終的な時刻差を算出し、計算機の時計の進み方(周波数)を調整して、徐々に時刻の同期を図る。一度に時刻をステップさせて同期させないのは、時刻情報の不連続を防ぐためである。

2.2 共同研究の実施経緯

NTPによる時刻供給の共同研究に関して当所では、1994年に国内のインターネットプロバイダである株式会社インターネット・イニシアティブ(IIJ)と、インターネットによる標準時の供給法に関する共同研究を開始した。この共同研究を推進するに当たり、当所側は当時の標準計測部周波数標準課及び同部時空計測研究室が担当し、当所が設定維持する日本標準時をインタ

ーネットに対して供給することを目的として掲げた。

当時、NTPサーバとして用いてきたUNIX計算機では、時刻分解能が十分ではないことや、処理速度の点とマルチタスクOSであるために時刻の取扱いにばらつきを生じさせる等の問題点があった。そこで、当所ではUTC(CRL)の信号を直接取り込めるNTPサーバ専用機を開発し[2]、この専用機を現在でも活用している。この共同研究の段階では、NTPサーバ専用機を利用して、所内のいろいろなネットワーク接続形態(LAN~WAN、専用線接続~パケット交換接続等)での実験が行われ、所要のデータが取得できたが、一般に対する公開までには至らなかった。

次のステップとしては、1998年10月に当所と日本電信電話株式会社(NTT)との間で共同研究を開始した。この共同研究では、NTTソフトウェア研究所(現NTT情報流通プラットフォーム研究所)が開発した「ISDN回線を用いた広域時刻伝送技術」を利用して、インターネット時刻配送網の構築を目指した。さらに、NTPサーバを公開し、日本標準時をインターネット上に効率良く供給することを目的として、IIJ及びインターネットマルチフィード株式会社(MFEED)との3機関による共同研究を1999年11月に開始した。この共同研究においては、インターネット時刻配送網のシステム構成について検討と実験を行い、方式についての方向性を得ることができた。

2.3 インターネット時刻供給公開実験

2000年12月から、CRL、NTT、IIJ、MFEEDの4機関により、インターネット一般利用者が実際に利用できるNTPサーバの公開等を目的として共同研究を進め、2001年4月より試験公開が開始された[3][4]。公開実験の概要は、次のとおりである。

- ・一般のインターネット利用者がNTPを用いて、日本標準時を利用できるように、サーバを公開した。
- ・今回の試みでは、標準時刻(日本標準時)と提供する時刻との誤差情報を、世界で初めてリアルタイムで提供した。また、信頼性を向上させるために時刻サーバには、当所とIIJで共同開発

した時刻供給方式と、NTTが開発したISDN回線を利用する時刻供給方式^[5]（以下、本方式のサーバを「ISDNサーバ」という。）の2方式で構築されたものを複数用い、運用にはMFEEDが開発した時刻配送網運用技術を使って、配信される時刻情報の精度の確保を目指した。構成を図1に示す。

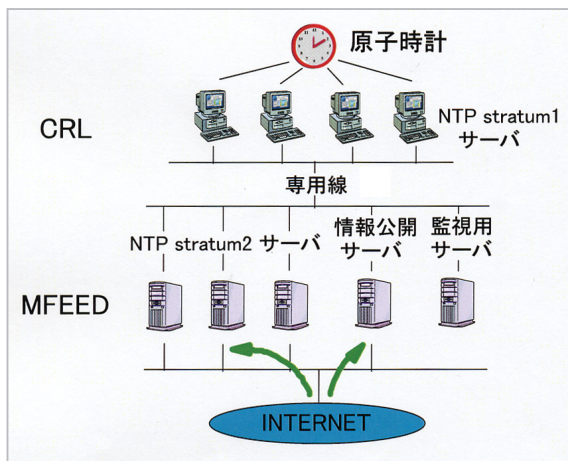


図1 公開実験のNTPサーバ構成図

本実験は、システムの時刻情報配信・配送網の検証、運用・管理技術の評価、時刻情報の監視方法の確立等を進めることを目標とした。

公開実験で用いたサーバの安定度及び精度に関する計測は、ISDNサーバを基準時刻とすることで、全く異なる時刻伝送方式により伝えられた二つの時刻を比較することにより評価^[6]を行った。

図2は、ISDNサーバから見た公開NTPサーバの時刻のオフセットを示したもので、計測期間中でその差は±1ms以内に収まっている。途中、ステップが2回生じているが、これはISDNサーバの再起動等により生じた、マスター側ISDNサーバとの時刻同期による誤差と考えられる。

当公開実験は、報道発表を行い、マスコミ、専門誌で紹介されるなど、公開当初から多くのアクセスを得ることとなった。図3は、公開したNTPサーバ(3台)それぞれに対する1日当たりのアクセス数を示したもので、日を追うごとに利用の増加が見受けられる。図中のデータにはないが、2002年10月には一番アクセス数の多いサーバにおいて、1日当たり300万アクセスに達している。図2及び図3より、公開NTPサーバの時刻同期誤差は、アクセスの増加に影響されることなく、精度を保ち続けていることが分かる。

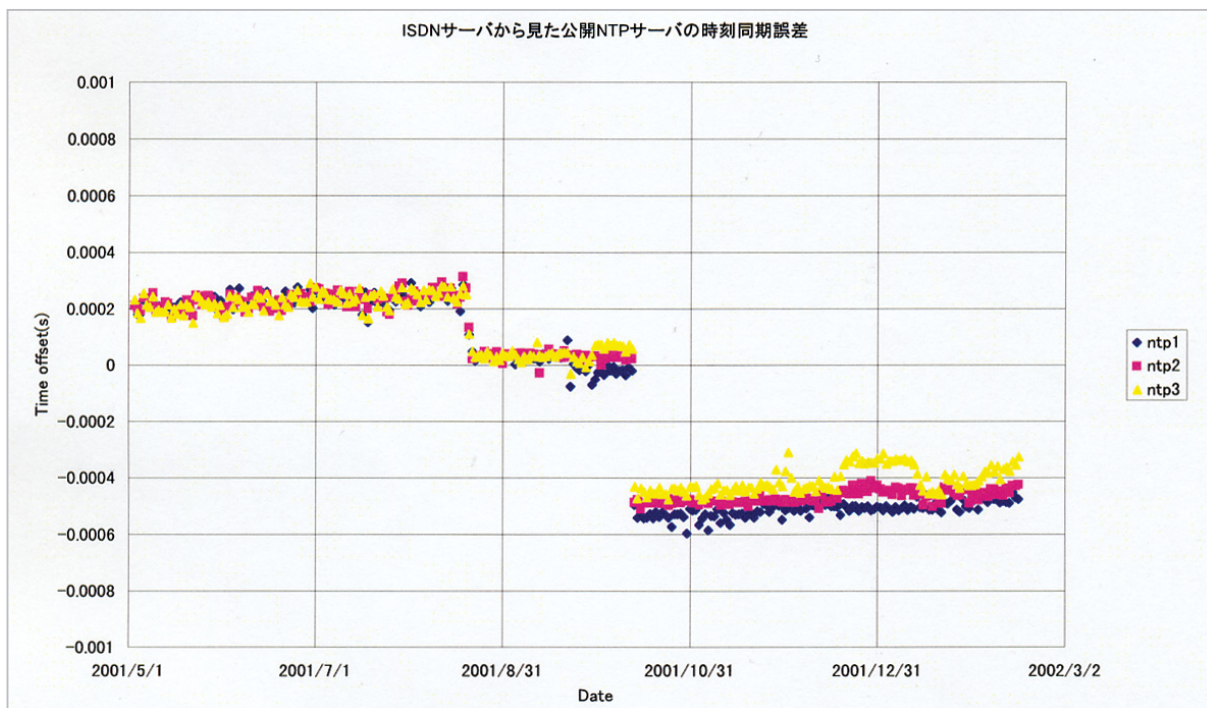


図2 公開NTPサーバの時刻同期精度

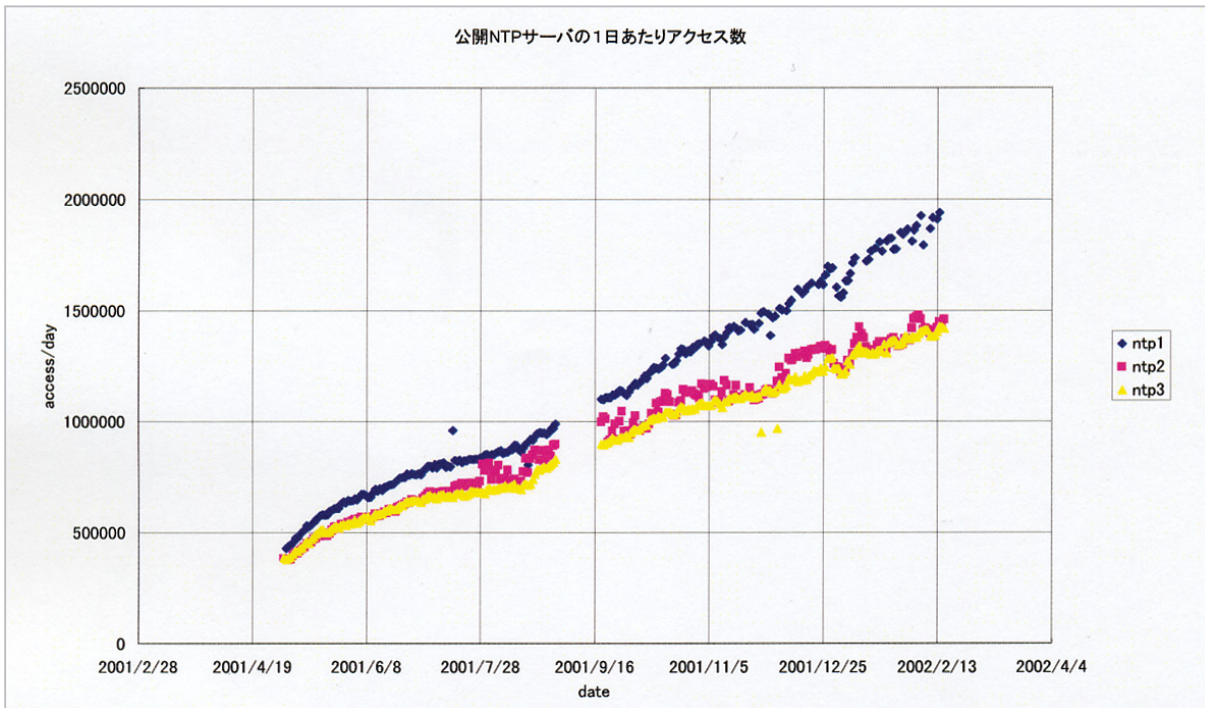


図3 公開NTPサーバのアクセス数

3 ネットワーク時刻供給システムとサービス

これまでの公開実験を踏まえ、実際に定常的な運用が可能なシステムの構築を行った。以下にその概要を述べる。

3.1 供給システムの構成

ネットワーク時刻供給システムの構成としては、公開実験で用いたシステム構成を元にして、複数の接続先への提供が可能となるようにした。具体的には、サーバの構成としては特段の変更を行わず、専用線接続を従来ブリッジにより接続していたものをルータ接続にし、ルーティング制御を行うことでサーバの共有化を図った。また、ルータには処理速度を向上させ、遅延を小さくするため、L3 (Layer 3) スイッチ・ルータ (CISCO Catalyst2948G) を採用した。構成を図4に示す。Layer 3とは、OSI (Open System Interconnection) 階層モデルのうち、3番目に位置する層で、ネットワーク層とも呼ばれる。Layer 3スイッチ・ルータは通常のソフトウェアルータに比べ、ハードウェア処理を行うため高

速なパケット処理が可能となっている。

本システムは設置スペースの問題もあり、ラック3本で構成している。現状ではラック収納容量の限界から接続先の可能数は12回線となっている。スイッチ・ルータは48ポートあるため、スペースの問題が回避できれば、接続先の増加は対応可能である。

3.2 システムの冗長性

システムを停止させる可能性を低下させ、安定して時刻を供給するために、システムは冗長性のある構成としている。当所の標準時発生には2系統のシステムが運用されており、UTC (CRL) にはそのいずれかが選択されている。二つの系統はいずれもUTCに対して数十ns以内に同期しており、NTPの基準時計としては十分過ぎる精度を持っている。このことから、基準時計にこの2系統 (A系、B系) を利用し、システムダウンのリスク軽減をすることとした。

サーバには2.3で述べたように、方式の異なる2種類のものを用意し、更にそのそれぞれを基準時計ごとに用意することで、合計4台のNTP stratum1サーバを準備した。

利用者に対しては、通常専用線で直接接続を行うが、回線不具合にも対処できるようISDNサ

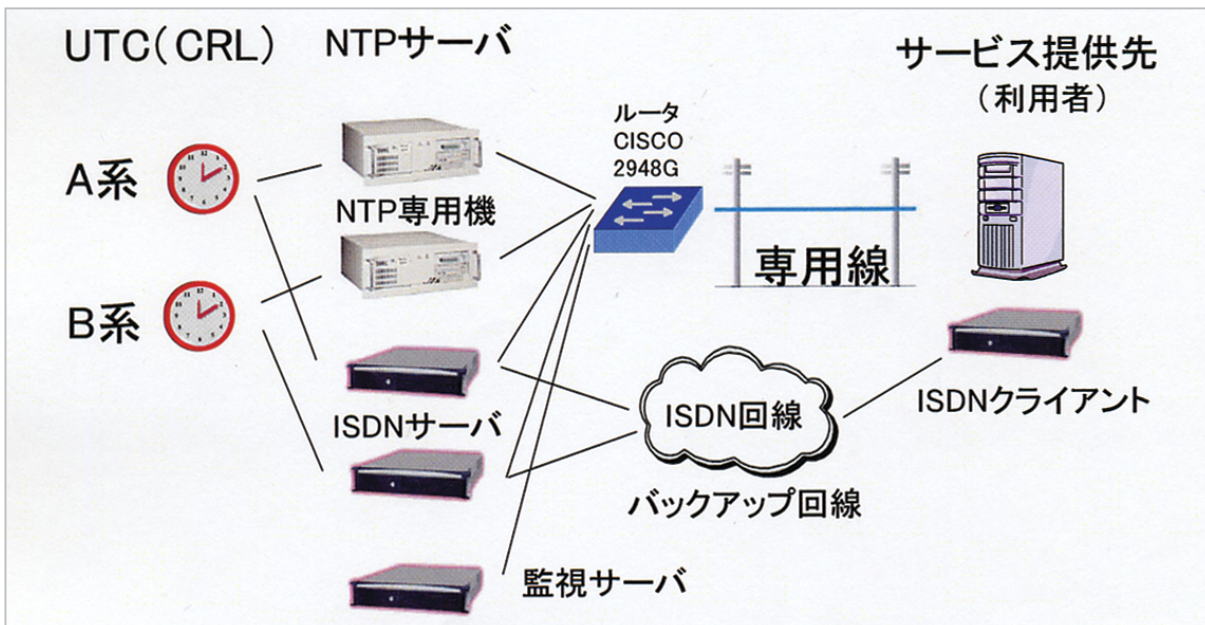


図4 ネットワーク時刻供給システム構成図

ーバにより ISDN 公衆回線接続によるバックアップを用意している。

電源設備に関しては、所内の標準時計用電源設備(商用電源+20kVAUPS及び55kVA発電機)を利用しているが、更に基準時計の系統ごとにUPSバックアップを行っている。

3.3 監視システムの構成

定常的にサーバの運用を行う上で、監視機構は欠かせない。今後、公開実験で用いたシステムを元に監視システムを構築する計画である。

監視の方法は、専用の監視サーバ(UNIX)を用意し、監視の対象とする stratum 1 サーバに対して NTP デモンソフトウェア ntpd で時刻同期させておく。監視サーバでは NTP の peer 状態を監視するプログラム ntpq を一定時間間隔で起動して、時刻同期精度に関する情報を得る。データのばらつきが大きいときは、当該サーバは機能停止している可能性があるため、アラートを挙げる。さらに、時刻オフセットが一定範囲を超えたとき、時刻供給の精度が低下したとみなし、アラートを挙げる。アラートは電子メール等で通知され、オペレータがチェックを行う。自動停止などの機構はまだそろえていないが、公開実験運用では致命的な異常を発生することなく運用されてきている。

3.4 サーバの特性

stratum 1 サーバに使用しているものは、そのデザインについて報告[7]を行っているのでここでは省略する。このサーバのタイムスタンプの分解能は $1\mu s$ であるが、実際のネットワークインターフェイスを NTP パケットが通過する時刻と、プログラムでタイムスタンプを付した時刻と、プログラムの遅延が存在するのかを評価したので、その結果について述べる。

実際の NTP パケットの信号を検知できるように、ネットワークインターフェイスに 10Base-T を使用して、送信信号及び受信信号を取り出しタイムインターバルカウンタへのトリガとして入力した。その測定構成を図 5 に示す。10Base-T を使用したのは、パケットのプリアンプル信号を取り出すのが容易であるため、プリアンプル信号の開始ポイントをカウンタのスタート信号として使用した。

なお、ここで使用しているサーバの緒言は表 1 のとおりである。

タイムインターバルカウンタは、NTP パケットの開始タイミングから UTC (CRL) の 1PPS タイミングまでの 1 秒以下の時刻差 t を計測する。カウンタ計測値 t を取り込んだ時点の秒単位の時刻は $T(n)$ であるので、実際のパケット送出開始時刻 T は次式で表される。

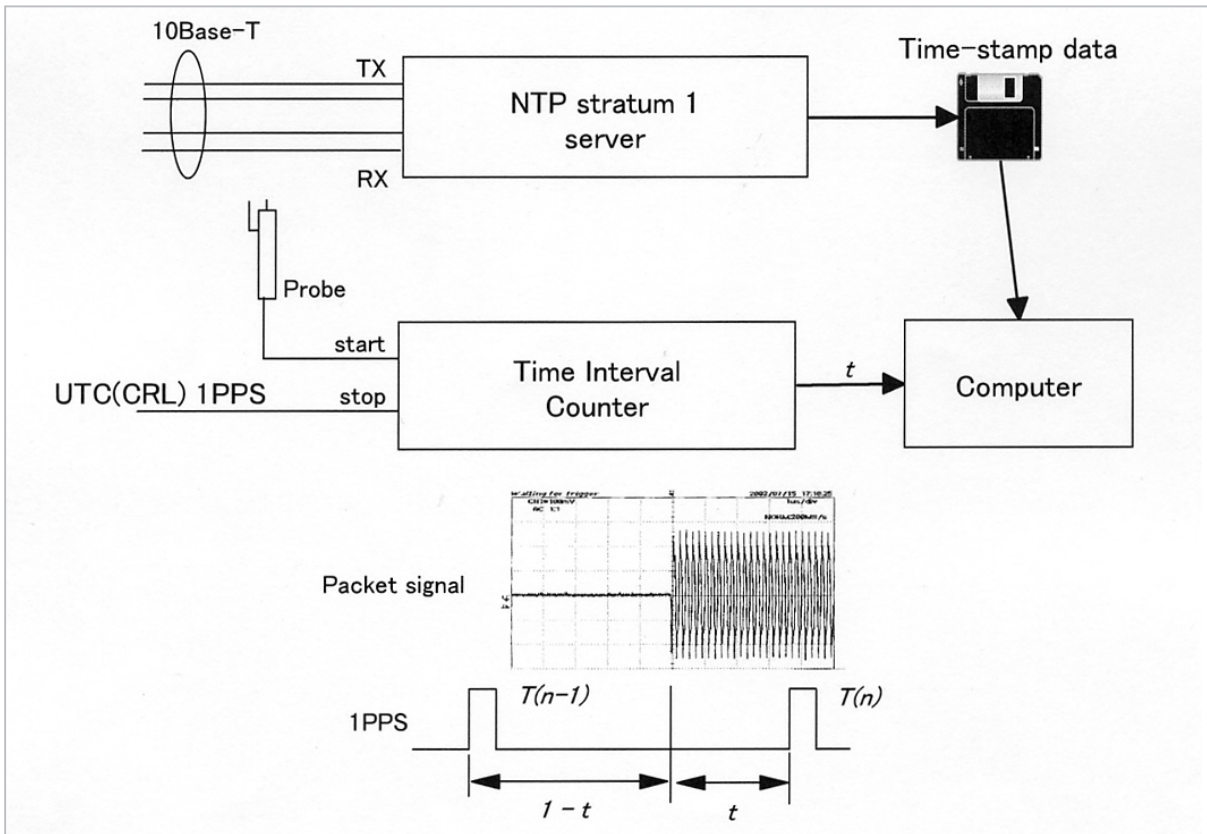


図5 NTPパケット内部遅延の計測

表1 NTPサーバの緒言

NTP stratum 1 server specification	
CPU	Intel pentium III 800MHz
chip set	Intel 440BX AGPset
Network Interface	intel PRO/100+
Time coder	NTP time code generator card (Cosmo research)
OS	IBM PC DOS 2000
Packet Driver	e100bpkt (Crynwr version 11.9)
NTP software	PCNTP (CRL original)

$$T = T(n) - t \quad \dots \dots \dots (2)$$

この測定方法により計測した時刻 T とサーバのプログラムにおいて付加されたタイムスタンプの時刻を比較して、内部処理に要する遅延時間を計測した。

送信パケット及び受信パケットそれぞれについて計測した結果を、ヒストグラムとしてグラフにしたものが図6及び図7である。

パケット送出時は、タイムスタンプ処理後即座にパケットは送出キューに蓄えられ、ネットワークの輻輳がない限り直ちに送出される。このため、遅延も約 $42.6 \mu\text{s}$ と小さく、ばらつきも

約 $5 \mu\text{s}$ と小さい。これに対し、パケット受信時の遅延は、約 $145 \mu\text{s}$ と大きい。これは、NTPパケットの長さ(プリアンプル+イーサネットヘッダ+IPヘッダ+NTPパケットデータ+Frame Check Sequence)の約 $90 \mu\text{s}$ (注：10Base-Tにおける転送速度の場合。)を必要とするため、プログラムによるタイムスタンプ付加までの遅延は約 $55 \mu\text{s}$ 程度と推定される。ただし、パケット送出と異なり受信では遅延のばらつきが2倍以上に広がっている。これはネットワークインターフェイス(カード)やドライバの影響と考えられる。

NTPはそのプロトコル上、パケットの往復遅延時間は同一と仮定するので、送受信の遅延時間の差が同一でない計算機間の時刻同期では、その差がオフセットとして現れる。

3.5 サービス運用ポリシー

サービスの運用上、セキュリティの確保は重要となるので、セキュリティポリシーの策定が必要となる。ここでは、ネットワーク時刻供給サービスを行うサーバシステムをその対象範囲と

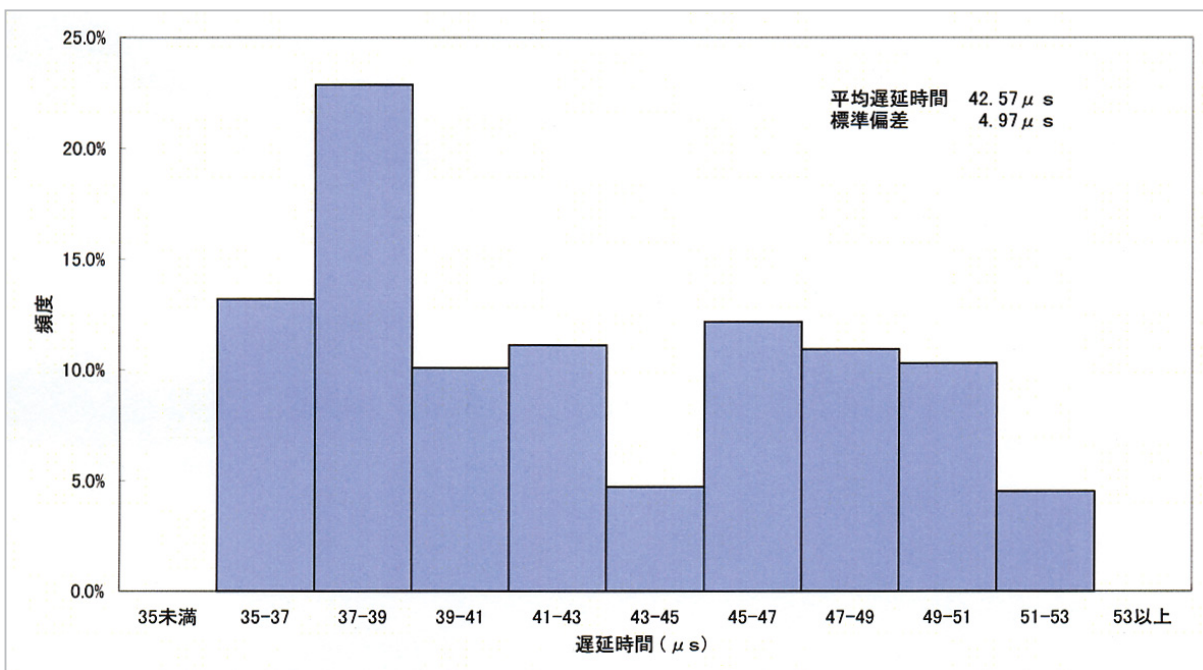


図6 パケット送出遅延時間のヒストグラム

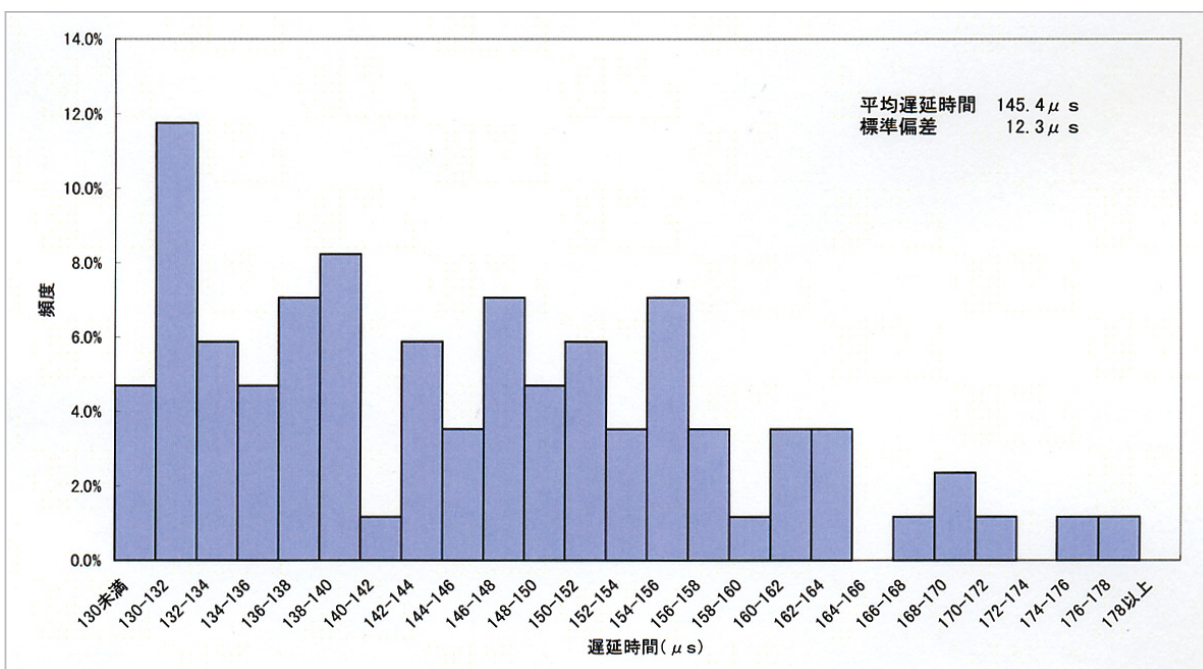


図7 パケット受信遅延時間のヒストグラム

する。特に時刻情報を扱う点から、その情報の完全性は重要であると考え。ここで完全性とは、ハードウェアの動作の正確性、時刻データの正確性、ネットワークにおけるデータ伝送の正当性等を示す。

サービス提供を行う相手先(企業等)とは、契約を取り交わすことでセキュリティ確保等の担保とする。サービス提供の基本的考え方は、

- ・ 企業等の行うサービスの内容に関しては、CRLは有料／無料を問わない。
- ・ 責任分界点の明確化。
- ・ 運用は常時とするが、メンテナンス等での停止は随時行う。
- ・ NTPサーバの接続トラブル、時刻情報の誤りに関する責任について、CRLは免責される。
- ・ 本サービスは、企業等に置かれるNTP str-

表2 ネットワークによる時刻情報供給サービス設備基準

通信総合研究所（以下、CRL という。）のネットワークによる時刻情報供給サービスへ接続を行う場合は、以下の技術的要件を満足すること。

1. ハードウェアの技術基準
 - ・ CRL に設置する機器は、CRL が準備したラック内にすべて設置すること。
 - ・ 使用可能なラックスペースは、有効面積W 4 1 0 mm×D 3 8 0 mm、高さ 4 U 以内とする。
 - ・ 使用可能なコンセントは、接地極付き 2 P 1 個とする。
 - ・ 使用可能な電源電圧は、AC 100V/50Hz とする。
 - ・ 使用可能な電源容量は、200VA 未満とする。
 - ・ NTP サーバとの接続は、10/100Base(RJ45) 1 ポートによる接続とする。
2. 経路制御に関する技術基準
 - ・ 接続用アドレス空間は設置側で準備すること。ただし、プライベートアドレスを使用する場合は、CRL がそのアドレスを割り振るものとする。
 - ・ 接続用アドレス空間は、外部ネットとは別に準備し、外部からのパケットを接続用アドレス空間に流さないこと。
 - ・ 接続は静的経路制御により行う。
 - ・ 設置側ルータではアクセス制御を行い、別途定めるパケット以外のパケットを CRL 側ルータに流さないこと。
3. サーバへの接続基準
 - ・ 1 接続あたり、CRL Stratum 1 Server へアクセスする機器の台数は、別途定める台数以下とすること。
 - ・ 1 台の Stratum 2 Server の Polling Time は 6 4 秒以上とすること。
4. その他
 - ・ ここに記載されていないもので、必要となる技術的条件は、相互の協議により決定するものとする。

tum 2 サーバの時刻精度を、保証するものではない。

- ・ ISDN サーバは、接続先に限定して利用を許可。
 - ・ ルータへの接続 IP は、グローバルな接続を許可しない。
 - ・ NTP サーバへアクセスする装置の台数制限をする。
 - ・ 接続に係る設備の費用、工事費用及び通信回線料等については、接続先の負担とする。
 - ・ CRL の NTP サーバへの接続(アクセス)は特定の機器に限定し、不特定としない。
- 等である。

接続に当たっては、接続装置の設備基準を設けている。その内容は表2の「ネットワークによる時刻情報供給サービス設備基準」として制定する予定である。

これらの条件を満足させ、特定の接続先への

みサービスを提供し、かつ、NTPに関するパケット以外をネットワークに流さない、インターネットに直接接続しない等と制限することで、システムのセキュリティ確保を図っている。

4 まとめ

ネットワークへの標準時供給のテーマは、初回の共同研究開始より10年が経過しようとしている。その間にインターネットは高度に発達を遂げてきているが、時刻同期に関してはいまだに古くて新しい課題であると考えられる。その理由は、ユーザの時刻に対するニーズが明確でないことと、精度の更なる向上には技術的なブレークスルーも求められているからである。本ネットワーク時刻供給サービスが、実際に稼働し、運用が定常化する中で、新たな方向性が見いだ

せてくるであろう。

今回これまでの成果として、日本標準時のネットワーク時刻供給サービスを可能とするシステムを完成することができた。精度、安定度などに関し、現状の要求には十分応えられるものとする。一方、現在は時刻認証というビジネスマーケットで時刻情報の有用性・重要性が取り上げられており、ネットワークにおけるインフラという点からも、本システムは更にブラッシュアップしていく必要があると考えている。

謝辞

これまでの共同研究でご協力いただいたIIJ、NTT及びMFEEEDの各位に感謝するとともに、公開実験サーバに関するデータを提供いただいたMFEEEDの伊藤氏に謝意を申し上げます。

参考文献

- 1 David L.Mills, "Network Time Protocol (Version 3) Specification, Implementation and Analysis", RFC-1305, 1992-3.
- 2 今村國康, 後藤忠広, "NTPによる時刻同期", 通信総合研究所季報, Vol.45, Nos.1/2, Mar./Jun. 1999.
- 3 報道発表資料, <http://www2.CRL.go.jp/pub/whatsnew/press/010410/010410.html>
- 4 今村國康, 後藤忠広, 金子明弘, 今江理人, 栗原則幸, "ネットワークによる日本標準時供給システム", 情報科学技術フォーラム, 2002年9月.
- 5 Satoshi ONO, Takao YAMASHITA, "Precision Synchronization of Computer Clock using ISDN", Asian '96 Computer Networking Workshop, Dec. 5, 1996.
- 6 伊藤大輔, 山下聡, 三宅延久, 外山勝保, "インターネット上の高精度な時刻配信サーバの運用", 情報科学技術フォーラム, 2002年9月.
- 7 Kuniyasu IMAMURA, Akihiro KANEKO, Michito IMAE, Noriyuki KURIHARA, Tadahiro GOTOH, "The UTC (CRL) time dissemination server by Network Time Protocol (NTP)", Asia-Pacific Workshop on Time and Frequency 2000, Nov. 2000.



いまむらくにやす
今村國康

電磁波計測部門日本標準時グループ主任研究員
周波数標準



ごとうただひろ
後藤忠広

電磁波計測部門時間周波数計測グループ研究員
GPS時刻比較



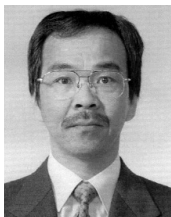
かねこあきひろ
金子明弘

電磁波計測部門タイムスタンププラットフォームグループ研究員
周波数標準



いまえみちと
今江理人

電磁波計測部門時間周波数計測グループリーダー
周波数標準



くりはらのゆき
栗原則幸

電磁波計測部門日本標準時グループリ
ーダー
周波数標準、空間計測