

## オフセット補正機能を用いたネットワーク長期時刻比較

岩間 司<sup>†a)</sup> 町澤 朗彦<sup>†</sup> 鳥山 裕史<sup>†</sup>

Long-Term Operation of Network Time Transfer Using Adjusting Data-Offset

Tsukasa IWAMA<sup>†a)</sup>, Akihiko MACHIZAWA<sup>†</sup>, and Hiroshi TORIYAMA<sup>†</sup>

あらまし 近年、情報の電子化の進展に伴い、正確で手軽な時刻の配信技術や時刻同期技術の実用化が進められている。タイムビジネス認定制度では遠隔地の原子時計との時刻比較には GPS (Global Positioning System) コモンビュー方式のみが定められているが、データの更新頻度は 1 日に 1 回であるため原子時計の時刻変動に直ちに対応することができない。これまで、高精度なハードウェア NTP (Network Time Protocol) 処理系と統計的なデータ処理を行うことで遠隔地の原子時計とほぼリアルタイムで高精度な時刻比較を行う抽出データ法について報告した。抽出データ法を用いて長期間安定した原子時計の運用を行うためには、ネットワークの状態変化に対応するための対策が必要である。そこで本論文では、ネットワークの状態の変化を解析し状態変化に対応するオフセット補正機能を開発した。更に抽出データ法にネットワークの状態変化に対応するオフセット補正機能を追加することにより、遠隔地の原子時計を実用上問題なく長期間にわたって運用できることを示した。

キーワード NTP, ネットワーク時刻比較, 片方向遅延時間, 抽出データ法, オフセット補正機能

## 1. ま え が き

近年、情報の電子化が世界的な規模で飛躍的に進展している。そして情報の電子化が進むにつれてセキュリティに対する意識も高まっており、電子署名やタイムスタンプなどの技術に対する重要性も増大している。これらを受けて総務省では平成 16 年 11 月に時刻配信業務及び時刻認証業務を総称したいわゆるタイムビジネスを対象に「タイムビジネスに係る指針」を策定した [1]。この指針を踏まえてタイムビジネス認定制度が開始され、書面の電子保存を可能とする e-文書法 (「民間事業者等が行う書面の保存等における情報通信の技術の利用に関する法律」) においても認定されたタイムスタンプの付与が要件となっている。また特許庁が公開している「先使用権制度ガイドライン (事例集)」においてもタイムスタンプの有効性について公証制度や郵便と同等の効果を認めている。

このように正確な時刻に対する需要は日に日に高

まっており、日本のみならず欧米各国でも盛んにビジネスへの利用が開始されている。

日本のタイムビジネス認定制度では、時刻配信局に原子時計を設置することが義務づけられており、標準時刻配信局から時刻配信局への時刻配信方法は GPS コモンビュー方式のみが定められている。GPS コモンビュー方式は世界的な時刻比較にも用いられている方式 [2] であり、高精度な時刻比較が可能であるが、時刻比較用の GPS 受信機が必要となることに加え、受信アンテナの設置と精密な位置測定、並びにケーブルや受信機内部の正確な遅延時間測定が必要であり、特にデータセンターなどにおける導入・設置が難しい。また、標準時刻配信局からのデータ公表を受けてから時刻比較を行うため、実時間で時刻比較を行うことが難しい。現在のところ、標準時刻配信局の時刻比較用データの更新頻度は 1 日に 1 回であり、翌日にならないとその日の時刻の正確さの監査ができない。このため、時刻配信局の原子時計にトラブルが生じた場合、最悪では 1 日分のタイムスタンプデータが無効となり、多大な損失が生じるおそれがある。

これまで我々はソフトウェア処理系の揺らぎの影響を受けない通過型高精度 UDP タイムスタンプ [PUTS] を開発し [3]、各種インターネット環境下において PUTS

<sup>†</sup> 情報通信研究機構, 小金井市

National Institute of Information and Communications Technology, 4-2-1 Nukui-kitamachi, Koganei-shi, 184-8795 Japan

a) E-mail: iwama@nict.go.jp

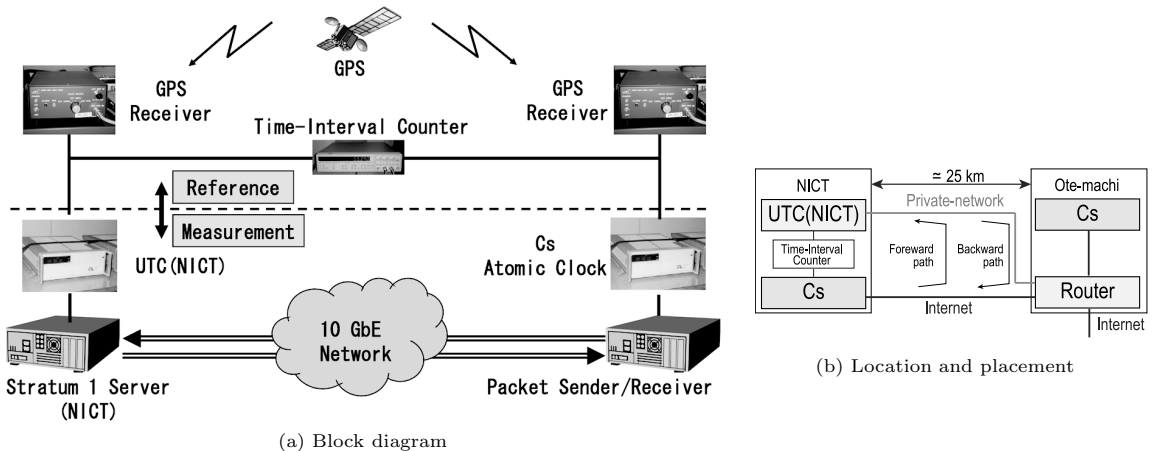


図 1 ネットワーク時刻比較システム  
Fig. 1 Block diagram of Internet time-transfer system.

を用い片方向遅延時間測定について報告してきた [4] ~ [6] . 更に PUTS のファームウェアを改良しハードウェア NTP ボードとして動作させ [7] , クロストラヒック等で変化するネットワーク環境下で抽出データ法を用いることにより遠隔地の原子時計の時刻比較に利用できる高精度ネットワーク時刻比較システムについて報告した [8] . この抽出データ法では, 時刻比較データを取得するための所要時間は 10 分程度であり, 原子時計のトラブルに早急に対応できる .

しかし, 実際に抽出データ法を用いて長期間安定して原子時計の運用を行う場合, 物理的に専用の回線を敷設しない限り, 回線の切換や通信機器の動作変動などのネットワークの状態が変化することを考慮する必要がある . このようなネットワークの状態変化が生じた場合, パケットの片方向遅延時間が不連続に変化し, かつ, 多くの場合は経路方向により変化量が異なる . これにより, 時刻比較の値が大きく変化して正確さが損なわれる . このことから, ネットワークの状態変化に対応するための対策が必要である . そこで本論文では, ネットワークの状態変化に対し統計的な処理で準リアルタイムに変動量を補正するオフセット補正機能の付加を提案する . 更に抽出データ法とオフセット補正機能を組み合わせて 1 年間ネットワーク時刻比較を行った場合の結果とその適用方法について検討する .

## 2. ネットワーク時刻比較システム

今回, 実運用について検討する上で一つの基準となるのが, タイムビジネス認定制度で採用されている

GPS コモンビュー方式である . GPS コモンビュー方式は, 正確なアンテナ位置登録やケーブル等の遅延時間補正を行うことにより, 時刻比較の正確さとして数十 ns 以下のオーダの正確さが実現できる .

これまで, 筆者らはハードウェア NTP ボードと抽出データ法によるデータ処理を行うことにより GPS コモンビュー方式と同程度の正確さを実現できるネットワーク時刻比較システムを提案した [8] . 抽出データ法を用いたネットワーク時刻比較システムが GPS コモンビュー方式と同程度の正確さを実現するための条件は以下のとおりである .

- ・両端にハードウェア NTP ボードを設置
- ・全体が 1 Gbit/s 以上の高速回線であること
- ・平均化時間内の全送受信パケットの片方向遅延時間の標準偏差が 200 ns 以下であること

物理的に上記の条件を満たすような専用回線を敷設した場合, 抽出データ法を用いることで GPS コモンビュー方式に匹敵する時刻比較システムが構築できる . しかし, Vertical Private Network など仮想的な専用回線やインターネットのように他のシステムと共用する回線の場合は, トラヒックや物理的な要因によって通信経路の切換や通信機器における変動などのネットワークの状態が変化することを考慮する必要がある .

ネットワークの詳細な状態変化との比較を行うため, 図 1 に示すようなネットワーク時刻比較システムを構成した . 図 1 (a) の左側の原子時計が日本標準時のもととなる UTC (NICT), 右側が比較対象のセシウム (Cs) 原子時計である . この二つの時刻源はともに

NICT 内に設置されており、タイムインターバルカウンタによって精密に時刻比較を行っている。また上側が測定結果の比較対象となる GPS コモンビュー方式を用いた時刻比較システムである。

ネットワーク時刻比較システムは図 1 (b) に示すように東京の小金井市に設置したパケット送・受信機から約 25 km 離れた東京都千代田区大手町まで 10 Gbit/s の共用回線で接続し、大手町で折り返して 10 Gbit/s の専用回線を利用して小金井市に設置した Stratum1 サーバに接続している。すなわち UTC (NICT) と比較対象の Cs 原子時計は物理的には同じ敷地内に設置してあるが、ネットワーク上は約 50 km 離れた場所に設置してあることになる。

今回の測定では、毎秒約 9 回のパケット送受信を行い、10 分間で最大で 5,400 パケットの往復データを取得する。この取得したデータを Cs から UTC (NICT) へ向かう経路 (以降 Forward path という) 及び UTC (NICT) から Cs へ向かう経路 (以降 Backward path という) それぞれに抽出データ法で処理して Forward path の片方向遅延時間データと Backward path の片方向遅延時間データを求め、NTP と同様にそれぞれの片方向遅延時間データの差分から時刻比較データを取得する。以降の片方向遅延時間データ及び時刻比較データはすべて 10 分間の平均化時間で取得したデータを用いる。

### 3. ネットワークの状態変化

#### 3.1 状態変化の分類

実際に抽出データ法を用いて 2006 年 7 月 1 日から 2007 年 6 月 30 日までの 1 年間時刻比較データを取得した結果と図 1 のタイムインターバルカウンタによって精密に時刻差を計測した結果との時刻差を図 2 に示す。図 2 において、縦軸の 0 の値がタイムインターバルカウンタによって測定された時刻差なので、プロットされた値はネットワーク時刻比較システムによる時刻比較誤差ということになる。

図 2 で縦線で示している部分は時刻比較誤差の値が不連続になっている部分である。時刻比較誤差の値が不連続になっている部分はネットワークの状態変化によって片方向遅延時間データの不連続が生じている部分である。また、図から大きく外れるため表示していないが、2006 年 11 月後半の 1 週間は大規模なネットワーク工事のため通信経路の迂回があり、約  $70 \mu\text{s}$  の時刻比較誤差が生じた。

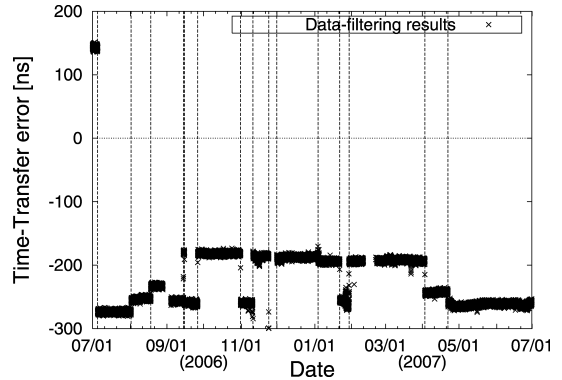


図 2 ネットワークの状態変化  
Fig. 2 Comparison results between time-interval counter and data-filtering data.

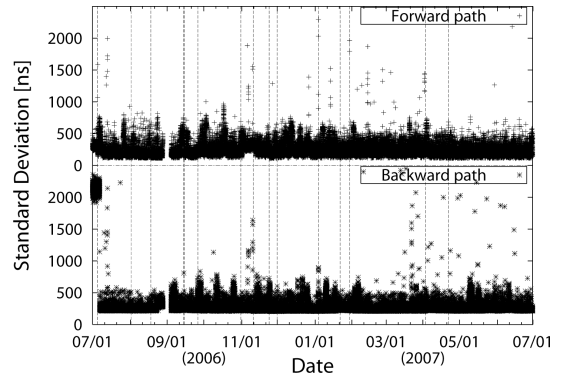


図 3 平均化時間内の全パケットの遅延時間の標準偏差  
Fig. 3 Standard deviations of one-way delay data within the sampling period.

測定期間中の平均化時間内の全送受信パケットの片方向遅延時間の標準偏差は図 3 に示すように 500 ns 以下の部分が多い。なお図 3 の縦線の部分は図 2 の縦線の時刻比較誤差の値が不連続になっている部分と対応している。図 2 から今回の測定時の時刻比較誤差の計測データ幅は不連続部分を除き一定であり大きくない。比較誤差の値の不連続がない部分を拡大した結果が図 4 である。図 4 から時刻比較誤差の計測データ幅は 10 ns 程度であり、GPS コモンビュー方式の精度とほぼ等しい。このことから不連続部分を補正することにより今回の時刻比較データの計測精度は GPS コモンビュー方式と同程度の精度が期待できる。ここで、一部クロストラヒックの影響で 2,000 ns 程度の値の期間もある。

図 2 の時刻比較誤差が変化している部分を詳細に検討すると、ネットワークの状態変化には大きく 2 種類

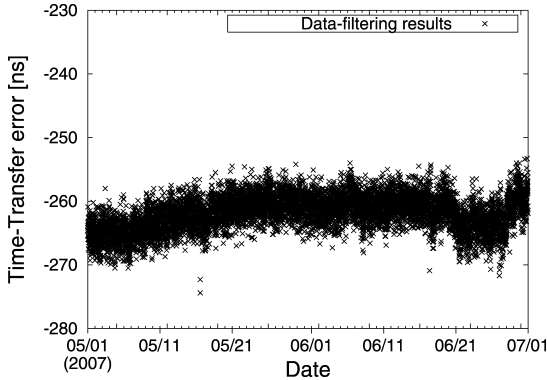


図 4 時刻比較誤差の計測データ幅  
Fig. 4 Deviation width of time-transfer errors.

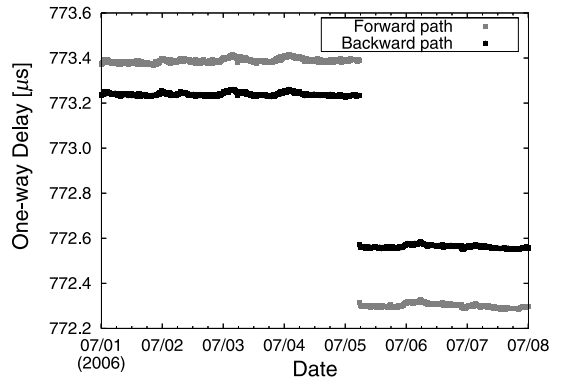
あることが分かった。

一つは、通信経路の切替である。通信経路の切替の例を図 5 に示す。図 5 では、2006 年 7 月 5 日の 6 時付近で通信経路の切替が生じ、Forward path では  $1.1 \mu\text{s}$  程度片方向遅延時間が減少したのに対し、Backward path では  $700 \text{ ns}$  程度の減少しか生じなかった。このため、図 5 (b) の時刻比較データではこの差分の  $400 \text{ ns}$  程度のデータのオフセットが生じている。

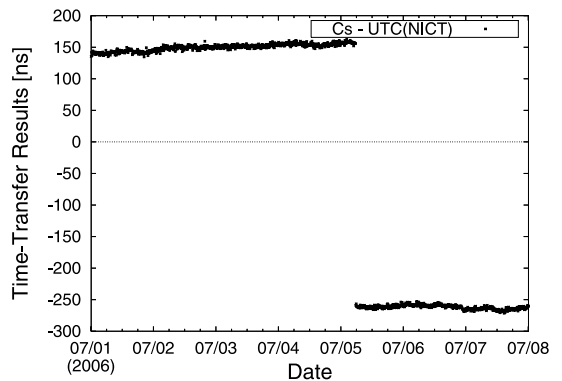
通信経路の切替が生じた場合は、オフセット量は切り換えた通信経路長差に依存し今回の測定結果でも数 ns から最大約  $70 \mu\text{s}$  まで様々であるが、10 分間の平均化時間から求めた片方向遅延時間データを用いているため、図 5 のように瞬時的に切り換わる。ここで、実際に通信経路が切り換わる時の 10 分間では、抽出データ法の抽出対象となる Bell shape が 2 箇所できるため、平均化時間内の全送受信パケットの標準偏差が一時的に大きくなる。図 3 で遅延時間の標準偏差が大きくなる部分は数多くあるが、図 2 の縦線で示すデータが不連続な部分では必ず図 3 の図 2 に対応した縦線で示す部分でどちらかの標準偏差が大きくなっていることから読み取ることができる。

また図 3 から 2006 年 7 月 1 日から 7 月 6 日までの Backward path では、平均化時間内の全送受信パケットの片方向遅延時間の標準偏差が約  $2,000 \text{ ns}$  もあったが図 5 に示すように片方向遅延時間データ及び時刻比較データに劣化などの影響は見られない。

もうひとつはネットワークの通信機器で生じる変化である。通信機器における変動の一例を図 6 に示す。これは図 6 の 16 時付近の Backward path のようにトラヒック変動などの影響で短時間のみ片方向の遅延



(a) One-way delay



(b) Time transfer

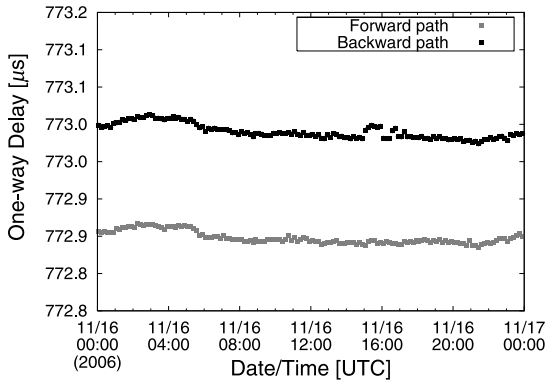
図 5 通信経路の切替による変化  
Fig. 5 Data of network-link changed.

時間が変化して急にもとの状態に戻るような変化をすることが多い。このような場合のオフセット量はせいぜい数十 ns 程度であるが、数時間にわたることもある。片方向遅延時間データのみが一時的に変化するため、図 6 (b) のような一時的な時刻比較データの変化が生じる。

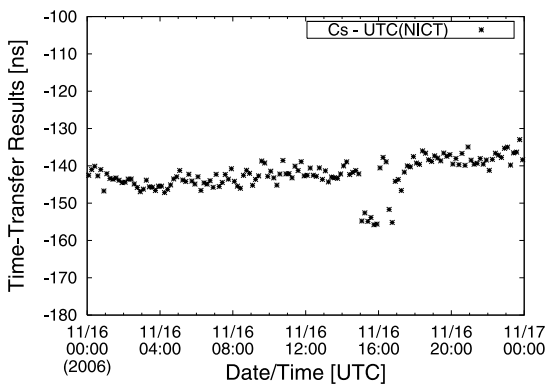
### 3.2 状態変化の推定

ネットワークの状態変化に適切に対応するためには、状態変化を正確に推定する必要がある。Cs 原子時計は短期安定度が  $1 \times 10^{-13}$  以下と非常に高いため、短時間であれば片方向遅延時間データを直線近似することができる。そこで、図 7 に示す回帰分析のモデルを用いて状態変化の推定を行う。

最初に値を推定する直前までの  $N$  個の片方向遅延時間データを用いて最小二乗法による回帰分析を行い、回帰直線を求める。そして回帰直線を外挿して次の片方向遅延時間データを推定した値  $P$  を求め、実際に抽出データ法で求めた片方向遅延時間データ  $R$  との推



(a) One-way delay



(b) Time transfer

図 6 通信機器における変化

Fig. 6 Irregular data caused by network-equipments.

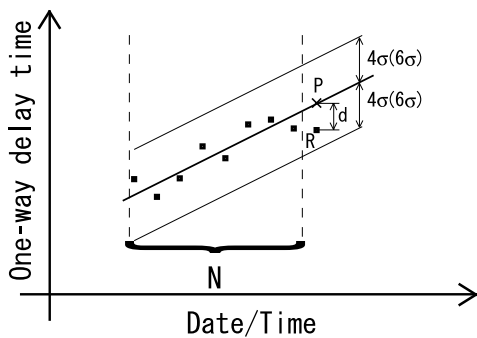


図 7 状態変化の推定

Fig. 7 Estimation of prediction error and data-offset.

定誤差  $d$  を求める。この推定誤差  $d$  が一定のしきい値以上になった場合、ネットワークの状態が変化すると推定する。

回帰分析の推定精度を高くするためには、 $d$  の残差平方和が最小となる片方向遅延時間データ長  $N$  を求

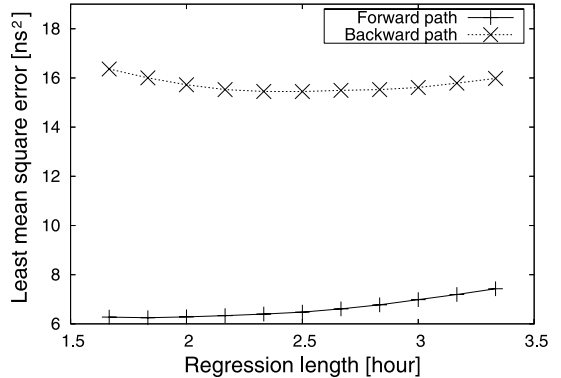


図 8 回帰分析データ長と平均残差平方和

Fig. 8 Relationship between regression length and least mean square errors.

める必要がある。今回のネットワークにおける推定用の片方向遅延時間データのデータ長と推定値の残差平方和との関係を図 8 に示す。図 8 では、ネットワークの状態変化がない連続した Forward path 及び Backward path の片方向遅延時間データ 1 か月分を用いて 1 データずつ逐次移動しながら推定値と抽出データ法で得られた値との残差平方和の平均値を求められている。

図 8 から Forward path ではデータ長 2.5 時間まではあまり変化がなくそれ以上になると徐々に値が大きくなっていく。一方、Backward path ではデータ長 2.5 時間が最小で最適な長さである。この結果から、残差平方和が大きい Backward path の結果を基準として今回のネットワークでは回帰分析用に推定する片方向遅延時間データの直前の 2.5 時間分すなわち 15 データを用いる。

通信回線の伝搬遅延特性を実測した周期変動特性 [9] の例でも  $10^3$  秒以上で気温等外部要因による光ファイバ自身の変動が主体となってくるため  $10^3 \sim 10^4$  秒あたりの偏差が最も小さい。よって、今回のネットワークにおける 2.5 時間分というデータ長はこの範囲内であるため妥当な長さといえる。

最後に状態変化の基準となるしきい値を設定する。今回の回帰分析の際の推定誤差  $d$  のデータは 1 か月 (31 日) 分で約 4,500 データあり、その分布形状はどちらの path においても正規分布している。そこで推定誤差  $d$  の標準偏差を  $\sigma$  とすると、状態変化が生じていないケースでは回帰分析の相関係数  $r$  が大きい場合には統計的に  $d$  は  $\pm 4\sigma$  以内に存在する確率が極めて

大きい．そこで状態変化の基準となるしきい値は  $\pm 4\sigma$  と規定する．ただし相関係数  $r$  が低い場合は推定値の信頼性が低い．そこで誤動作を避けるためしきい値を 1.5 倍して  $\pm 6\sigma$  とする．ここで回帰分析の相関係数  $r$  の高低の基準としては相関係数  $r$  の 1% 有意水準の値を用いる．

これらの基準を今回のネットワークに適用すると，回帰分析のデータ数が 15 であるので自由度 13 のときの相関係数  $r$  の 1% 有意水準は 0.64 である．すなわち以下のように状態変化のしきい値を定義する．

- ・しきい値： $\pm 4\sigma$  ( $r > 0.64$ )
- ・しきい値： $\pm 6\sigma$  ( $r \leq 0.64$ )

また，相関係数が小さな場合には，特異的にしきい値を超える場合がある．そこで状態が変化したと判断するためには 2 回連続でしきい値を超えた場合とする．

また，Forward path 及び Backward path の推定誤差  $d$  の標準偏差  $\sigma$  はそれぞれ 2.5 ns 及び 4 ns である．

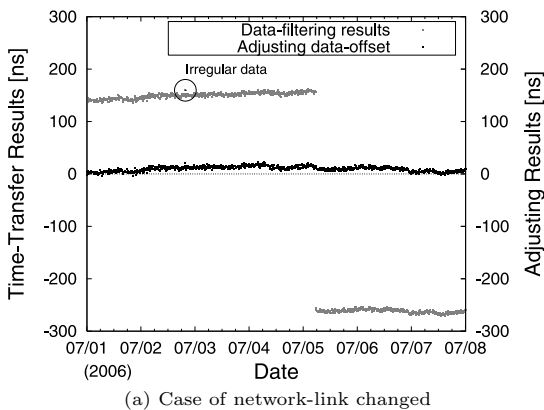
### 3.3 オフセット量の推定と補正

次にネットワークの状態変化を補正するためのオフセット量について検討する．定性的にはオフセット後の 15 個の片方向遅延時間データから回帰直線を求めその差分を求めることが望ましい．しかし，短時間で推定してデータを補正するために 2 回連続してしきい値を超えた場合，それぞれ測定誤差の平均値をオフセット量として片方向遅延時間データを補正することとする．これにより推定精度は低下するが，ネットワークの状態変化が生じた場合，遅くとも 20 分後には状態変化の補正ができることとなる．

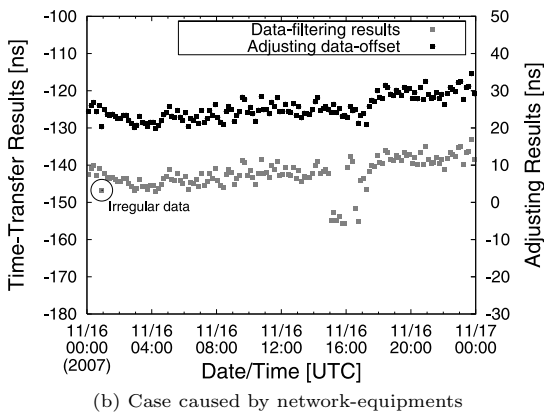
このオフセット補正方法を用いて図 5 及び図 6 の時刻比較データを補正した結果が図 9 である．図 9 よりこの補正方法では，通信経路の切替と通信機器における変化の双方に有効であることが分かる．また，図 9 (a) の 2006 年 7 月 2 日の 20 時付近及び図 9 (b) の 1 時付近で示しているデータのような単発的な特異データではオフセット補正を行っていない．これは，オフセット量の補正には 2 回連続してしきい値を超える必要があるが，図 9 の で示してあるデータは単発のデータだからである．図 9 からこの単発的な特異データの前後は連続しているため，このオフセット量の補正を行わなかったことは適切である．

### 4. オフセット補正機能の適用

オフセット補正機能を図 2 の時刻比較データ全体に適用した結果が図 10 である．図 10 は図 2 と同様に抽出データ法で求めた時刻比較データにオフセット補正を行った結果と，タイムインターバルカウンタと



(a) Case of network-link changed



(b) Case caused by network-equipments

図 9 オフセットを補正した結果

Fig. 9 Data samples from adjusting data-offset.

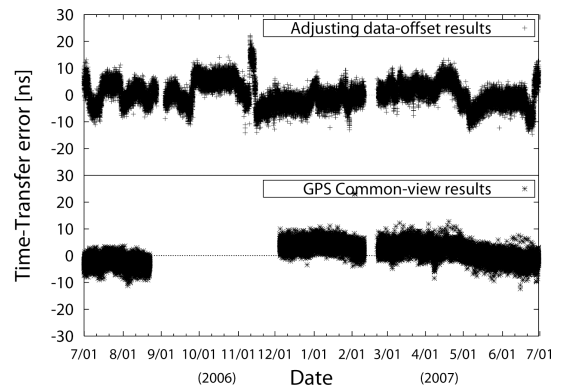


図 10 オフセット補正の効果 (時刻比較誤差)

Fig. 10 Results of adjusting data-offset. (Time-transfer error)

の時刻比較誤差である。また図 10 では、GPS コモンビュー法における時刻比較誤差も併せて表示している。図 10 において、2006 年 8 月半ばから 12 月までは GPS 受信機の故障のため、GPS コモンビュー法における時刻比較誤差のデータが欠落している。また 2007 年 2 月半ばにはタイムインターバルカウンタの故障のため、ネットワーク時刻比較、GPS コモンビュー法それぞれの時刻比較誤差のデータが欠落している。

図 2 と図 10 の結果を比較すると、今回のオフセット補正機能はネットワークの状態変化に有効に動作することが分かる。また、その時刻比較誤差も  $\pm 10$  ns にほとんど収まっていて GPS コモンビュー法とほぼ同等であるといえる。また今回のオフセット補正方法は直前の 15 データと直後の 2 データのみに依存するため、基本的に前回のオフセット量との相関はない。

ただし図 10 の結果からも分かるようにしきい値以下のオフセットには動作しない。また 11 月や 4 月に見られるように時間をかけて時刻比較データがドリフトした場合も動作しない。これは、原子時計に不具合が生じた場合は、このような位相/周波数のドリフトが生じるため、このような現象を補正してしまうと原子時計の不具合が検知できないため、本システムの仕様である。また本システムはオフセット補正機能により通信回線の切替にも対応しているため、突然のネットワーク障害等に伴うバックアップ回線への切替時にも有効に動作して時刻比較を継続できる。このようにオフセット補正機能を備えることにより、準リアルタイムで GPS コモンビュー方式と同程度の正確さを有して長期間にわたって原子時計の時刻比較ができることは実運用の面で大きな利点である。

また図 3、図 5(a)、図 9(a) 及び図 10 の結果と参考文献 [8] の結果から、抽出データ法を用いたネットワーク時刻比較システムが GPS コモンビュー方式と同程度の正確さを実現するための条件のうち平均化時間内の全送受信パケットの片方向遅延時間の標準偏差について  $2 \mu\text{s}$  以下の値まで拡張できることが分かった。

最後に実際に遠隔地の Cs 原子時計のネットワーク時刻比較にオフセット補正機能を追加した結果を図 11 に示す。図 11 の原子時計は東京都千代田区大手町に設置してある Cs 原子時計で、平均化時間内の全送受信パケットの片方向遅延時間の標準偏差が  $40$  ns 以下の場合が多い通信回線を使用している。

このネットワークでは、抽出データ法の結果から帰帰分析に必要なデータ長  $N$  は直前の 9 データであつ

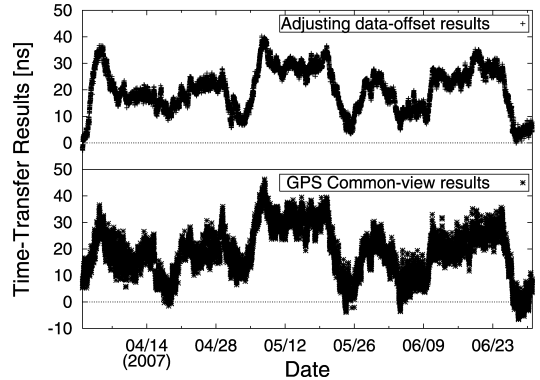


図 11 オフセット補正の効果 (東京・大手町 Cs)  
Fig. 11 Results of adjusting data-offset. (Cs at Otemachi, Tokyo)

た。また Forward path 及び Backward path の推定誤差  $d$  の標準偏差  $\sigma$  はそれぞれ  $1.2$  ns 及び  $1.25$  ns なので  $4\sigma$  は  $4.8$  ns 及び  $5.0$  ns になる。しかしハードウェア NTP ボードの時間分解能が  $8$  ns なのでここでは Forward path 及び Backward path とともに  $4\sigma = 8$  ns を使用する。更に自由度 7 のときの相関係数  $r$  の 1% 有意水準である  $0.80$  を用いてオフセット補正を行った。

図 11 のシステムではタイムインターバルカウンタを使用できないため時刻比較データそのものの比較である。図 11 の結果から、平均化時間内の全送受信パケットの片方向遅延時間の標準偏差が  $40$  ns 以下の通信回線では準リアルタイムで GPS コモンビュー方式以上の精度を取得できる。この結果から専用回線など平均化時間内の全送受信パケットの片方向遅延時間の標準偏差を小さくできる場合は GPS コモンビュー方式以上の精度が期待できる。

## 5. む す び

本論文では準リアルタイムで高精度なネットワーク時刻比較を行うことができる抽出データ法に、ネットワークの状態変化に対応するためのオフセット補正機能を追加することで長期間にわたり高精度なネットワーク時刻比較が可能であることを示した。

ここでオフセット補正機能を有し、抽出データ法を用いたネットワーク時刻比較システムが GPS コモンビュー方式と同程度以上の正確さを実現するための条件は以下のとおりである。

- ・両端にハードウェア NTP ボードを設置
- ・全体が  $1$  Gbit/s 以上の高速回線であること

・平均化時間内の全送受信パケットの片方向遅延時間の標準偏差が  $2 \mu\text{s}$  以下であること

今回提案したネットワーク時刻比較システムでは測定後 10 分で時刻比較データが算出できるため、リアルタイムに近い形で時刻比較が可能となり、これまでの GPS コモンビュー方式よりもきめ細かな時刻同期システムを構築することが可能となる。ただし高精度な計測結果を得るためにはあらかじめ原子時計の初期値を正しく合わせてあることが前提である。なお、オフセット補正機能では、通信回線の切換に対応しているため、突然ネットワーク障害が生じた場合であってもバックアップ回線に切り換えることで時刻比較を継続できる。

今回のオフセット補正機能の追加により抽出データ法を用いたネットワーク時刻比較システムはタイムビジネスなどの利用では十分実用に耐えるシステムとなった。現在のところ、タイムビジネス認定制度では GPS コモンビュー方式のみが定められているが、本システムを併用することにより、時刻配信局の原子時計にトラブルが生じた場合に準リアルタイムで異常を検出できるため、ビジネス上のリスクを最小限に抑えることが可能となる。

謝辞 本論文を執筆するにあたって、様々な御指導・御助言を頂きました電気通信大学情報システム学研究所岡田和則教授に感謝致します。

## 文 献

- [1] 総務省報道資料, “タイムビジネスに係る指針 (ネットワークの安心な利用と電子データの安全な長期保存のために) の策定,” 総務省, Nov. 2004.
- [2] Bureau International des Poids et Mesures, “Annual Report of the BIPM Time Section (2003),” Bureau International des Poids et Mesures, 2004.
- [3] 町澤朗彦, 鳥山裕史, 岩間 司, 金子明弘, “通過型高精度 UDP タイムスタンプの開発,” 信学論 (B), vol. J88-B, no.10, pp.2002-2011, Oct. 2005.
- [4] 鳥山裕史, 町澤朗彦, 岩間 司, 金子明弘, “高速インターネット環境におけるパケット遅延時間の精密測定,” 信学技報, IA2004-24, Jan. 2005.
- [5] 金子明弘, 岩間 司, 町澤朗彦, 鳥山裕史, “ネットワークによる時刻比較,” 2005 信学総大, B-16-1, March 2005.
- [6] 岩間 司, 金子明弘, 町澤朗彦, 鳥山裕史, “インターネット環境における遅延時間の統計処理,” 2005 信学総大, B-16-2, March 2005.
- [7] 鳥山裕史, 町澤朗彦, 岩間 司, “ハードウェア SNTP サーバの開発,” 信学論 (B), vol. J89-B, no.10, pp.1867-1873, Oct. 2006.
- [8] 岩間 司, 金子明弘, 町澤朗彦, 鳥山裕史, “高速ネットワークを利用した高精度時刻比較,” 信学論 (D), vol. J89-D,

no.12, pp.2553-2563, Dec. 2006.

- [9] A. Imaoka and M. Kihara, “Long-term propagation delay characteristics of telecommunication lines,” IEEE Trans. Instrum. Meas., vol.41, no.5, pp.653-656, 1992.

(平成 19 年 7 月 20 日受付, 11 月 12 日再受付)



岩間 司 (正員)

昭 58 山梨大・工・電子卒。昭 60 東工大大学院修士課程了。同年郵政省電波研究所 (現情報通信研究機構) 入所。以来、電波伝搬特性解析, 移動通信のセル構成, 標準時, 時刻認証基盤技術の研究に従事。現在、電磁波計測部門タイムアプリケーショングループ主任研究員。平 2 本会篠原記念学術奨励賞受賞。IEEE 会員。



町澤 朗彦 (正員)

昭 59 上智大・理工・電気電子卒。同年郵政省電波研究所 (現情報通信研究機構) 入所。平 6 科学技術庁に出向し, IMnet 立上げに参加。平 8~11 Univ. Canterbury 客員研究員。平 15 JGN2 立上げに参加。画像の高効率符号化, 視覚情報処理, 計算機ネットワークの研究に従事。



鳥山 裕史 (正員)

昭 58 名大大学院情報工学専攻博士課程前期課程了。同年郵政省電波研究所 (現情報通信研究機構) 入所。平 2~5 ATR 通信システム研究所。平 5~6 ドイツテレコム研究所客員研究員。画像符号化, 情報通信などの研究に従事。