

コンピューター・システムと時刻

1. はじめに

コンピューター・システムにおいて、高速な正常動作やシステム管理の観点から、正確なシステム時刻を維持することは非常に重要な意味を持ちます。ここではコンピューター・システムにおける時刻同期の方法や、ICTにおける時刻同期の役割、どのような場面で使われているかについて説明します。

2. 標準時刻

日本標準時(JST)は国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)により決定・維持されています。複数台のセシウム原子時計と水素メーザー原子時計の時刻を平均・合成することで協定世界時 UTC (NICT) を生成します。これを9時間進めたものがJSTとなります。

一方で、国際標準となる協定世界時 UTC は、NICT を含む各国の機関から集められた標準時を基に国際度量衡局(BIPM)が決定しています。

私たちは標準時刻を基準とし日々の活動をおこなっています。コンピューター・システムも同様に標準時刻に基づき動作することで、様々な恩恵を受けることができます。

3. 標準時刻の配信方法

日本においては、電波時計で利用されている標準電波(JJY)や電話回線を用いたテレホンJJYなどでNICTが標準時配信をおこなっています。

また、GPSのような位置を測定するための衛星測位システム(GNSS)を用いても、容易に正確な時刻を取得することが可能です。

一方、コンピューター・システムには、ネットワーク経由で時刻配信する仕組みがあり、NTP(Network Time Protocol)と呼ばれる方式が最もよく利用されています。インターネットにはNICTなどが運用するNTPサーバーが公開されており、一般家庭においても手軽に利用することができます。

4. ネットワーク時刻同期の基本原則

NTPは階層構造を持ち、最上位のサーバー(Stratum 1)が原子時計、標準電波、GNSSなどから標準時を取得し、下位のホストは図1のように各々上位層の時刻を参照します。

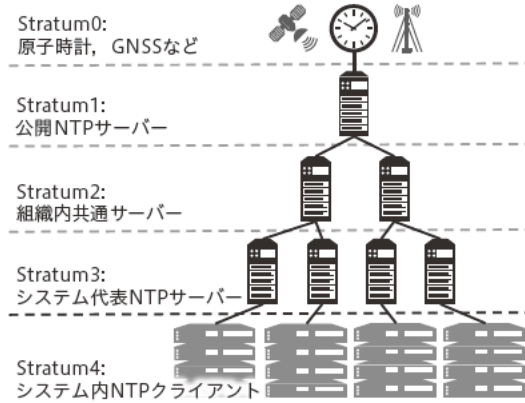


図1 NTP階層構造

NTPではサーバーとクライアント間で各々の時刻情報を送受信することでミリ秒単位の時刻同期精度を実現しています。この基本原理(T_1 - T_4 方式)を図2に示します。

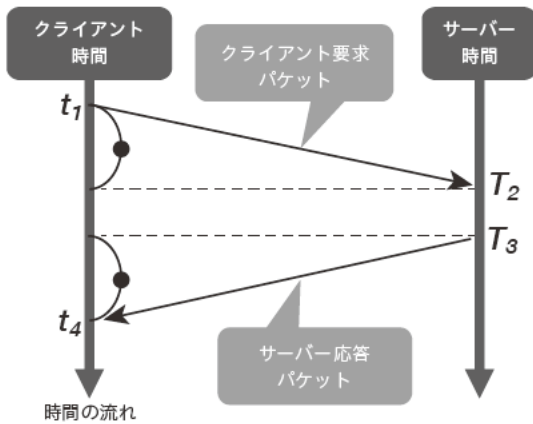


図2 NTPの基本原理 (T₁-T₄方式)

クライアント要求の送信時刻を t_1 、クライアント要求の受信時刻を T_2 、サーバー応答の送信時刻を T_3 、サーバー応答の受信時刻を t_4 とすると、伝送遅延は

$$\frac{1}{2} \left\{ (t_4 - t_1) - (T_3 - T_2) \right\} \quad (1)$$

クライアントとサーバーの時刻差は

$$\frac{1}{2} \left\{ (T_2 - t_1) + (T_3 - t_4) \right\} \quad (2)$$

となります。クライアントは式(2)で得られた時刻差を用いてシステム時刻を補正します。

T₁-T₄方式では伝送距離はどんなに長くとも問題ありませんが、式(1)からも分かる通り、T₁-T₄方式では上り下りの伝送時間差がないことを仮定しているため、伝送時間の非対称性には弱いという特徴があります。したがって、伝送遅延時間差を小さくするようにシステム構築すれば高精度化を図ることが可能です。

5. 時刻同期の重要性

複数台のコンピューター・ネットワークでは、ログやファイルの記録時間の時系列解析、スケジュール処理の定時動作、分散処理の協調動作などにコンピューター間の時刻同期が不可欠です。

このようなシステムの好例として、課金システムがあります。利用時間に応じて料金が決まるサービスや利用時間帯によって料金変動するようなサービスでは、正当に課金するために時刻が正確でなければなりません。

実際の商用システムでは、ネットワークの揺らぎによる時刻同期の精度低下を防ぐため、またセキュリティの観点からインターネット接続はおこなわず、閉鎖環境内にNTPサーバーを構築することがよく行われています。また、近年は求められる時刻同期精度が非常に高くなってきています。

モバイル通信分野における第5世代移動通信システム(5G)では、データ通信の高速化に伴い時分割多重通信による周波数帯域の効率利用や基地局間での連携・制御のため数十ナノ秒単位の時刻同期精度が求められます。

設備のIP化が進んでいる放送分野や、超高速・超高頻度の取引が実施される金融/証券分野においてもサブマイクロ秒単位の時刻精度が必要とされています。

このような高精度時刻同期システムでは時刻が少しでも狂うと、通信障害、テレビ放送停止、証券取引停止といった問題が起こり、社会に大きな影響を与えてしまいます。

近年、時刻同期の重要性が増している背景にはこういった社会の変化があるのです。

6. 高精度時刻同期の方法

前節で述べたような高精度同期はNTPでは実現困難であるため、PTP(Precision Time Protocol)と呼ばれる別の方式を利用することになります。

PTPも基本原理はNTPと同様にT₁-T₄方式ですが、精度低下につながる伝送遅延誤差を可能な限り抑える仕組みが追加されています。例えば図3のように、装置内部の遅延・揺らぎを減らすために専用回路を装備したり、図4のようにメッセージ中継装置で時刻を再生・再配信したり、また、メッセージの装置滞留時間を記録・送信したりします。

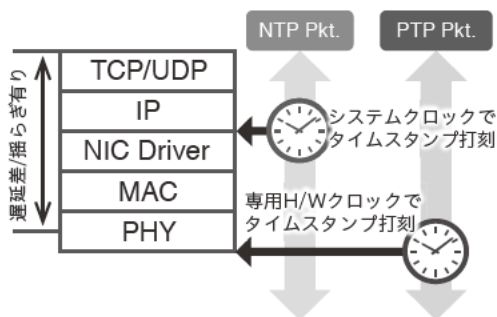


図3 遅延・揺らぎ対応の専用回路

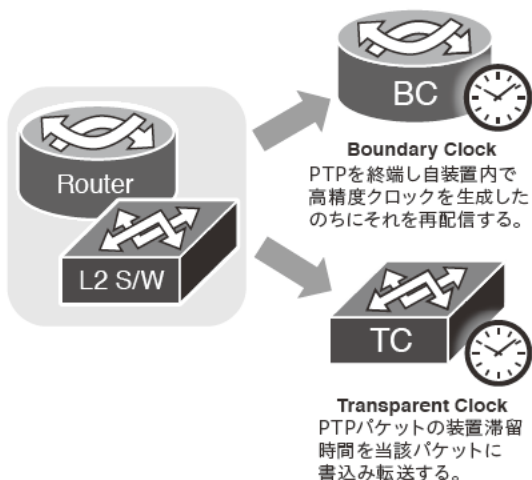


図4 PTP専用メッセージ中継装置

7. うるう秒とシステム障害

UTCは原子時計に基づき決定されますが、これとは別に世界時(UT1)と呼ばれる地球の自転に基づく時刻系が存在します。地球の自転速度は一定ではないため、UT1における1日の長さ(LOD: Length of Day)も一定とはならず、長くなったり短くなったりします。現在の平均的なLODは約86400.001秒とUTCに対して0.001秒長いので、およそ3年(=1095日)でUT1とUTCには1秒の差が発生してしまいます。うるう秒とはこの差を調整するためにUTCに挿入(または削除)される秒のことを言います。

一般的にコンピューター・システムでは1日の長さを86400秒と定義していますが、うるう秒の実施日は86401秒(または86399秒)になります。この不定期に起こる変化に対応

できないと想像以上に大きな問題が発生する可能性があります。例えば2012年にうるう秒が挿入された際は、Linuxカーネルのバグにより世界中のWebサービスやSNSサービスが長時間ダウンするなど多数のシステム障害が起きました。

ここで、うるう秒処理の次善策としてICT業界に浸透しつつある手法を紹介します。図5に示すように、うるう秒の1秒を(例えば1/7200に)分割し、長時間かけてシステム時刻に加算することで時刻の連続性を保ち、プログラムにうるう秒を意識させないというものです。

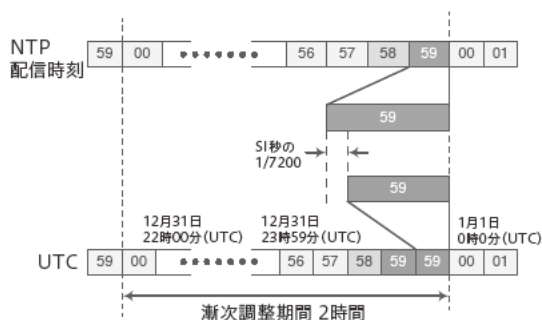


図5 うるう秒の分割挿入

この手法で優れているのは、前述のLinuxのバグのように問題のあるプログラムであっても、調整に気づくことなく何事もなかったかのように正常動作できる点にあります。

このように、コンピューター・システムの時刻同期では、標準時刻に高精度に同期するだけでなく、システムが障害を起こさないように、場合によっては時刻を誤魔化すといったこともおこなわれています。

8. おわりに

当社では、20年以上にわたりNTPサーバー製品を提供し続けています。また、近年の高精度要求に答えるためPTP対応製品の提供およびネットワーク構築の技術サポートもおこなっています。

今後もコンピューター・システムの時刻同期技術の普及活動を通して社会に貢献していきたいと考えています。