



電話系通信や法人向け専用線通信等を支える新クロック供給装置の実用化

NTTネットワークサービスシステム研究所

ひさしま たかあき さかいり たける あらい かおる むらやま ひでつぐ くろかわ おさむ こうだ かつとし
久島 孝昭 /坂入 健 /新井 薫 /村山 秀胤 /黒川 修 /行田 克俊

これまでNTTでは、電話や専用線などで採用されているTDM (Time Division Multiplexing : 時分割多重) を用いた通信を行うために、高精度な周波数同期を実現してきました。近年、周波数だけでなく、時刻についてもモバイル系を中心に高精度な同期に対する需要が高まっています。ここでは、パケットトランスポートネットワーク上で高精度な周波数同期および時刻同期を可能とする「新クロック供給装置 (新CSM)」について紹介します。

開発のねらい・背景

現在、固定電話やデジタル専用線といったサービスは、TDM (Time Division Multiplexing : 時分割多重) 方式を用いたネットワークにて提供されています。TDM方式では、デジタル多重分離を行うために、ネットワーク内の各装置の周波数を高精度に一致させる必要があります。その実現のために、現在はクロック供給装置 (CSM: Clock Supply Module) を用いたクロックパス網を構築することで、ネットワーク全体での周波数同期を実現しています。このように、周波数同期を必要とするサービスはCSMおよびクロックパス網が継続的に必要となります。

現状のクロックパス網は最上位ビルの高精度な周波数源であるマスタクロックと各ビルに設置されたCSMの間をSDH (Synchronous Digital Hierarchy) リンクシステムで接続したSDHネットワークを介して、周波数情報を伝送しています (図1)。また、信頼性を高めるために、N (Normal) 系、E (Emergency) 系の冗長パス構成を採用しており、N系パスの周波数情報が途絶えた際に、E系パスに自動で切り替えることにより、安定した周波数同期を可能としています。このように、ルート分散を考慮したク

ロックパス網を効率的に構築するためには、さまざまなリンク系システムへの対応が必要不可欠です。また、リンク系システムのパケットトランスポート技術への移行に伴い、クロックパス網においても、その対応が必要となります。

さらに、近年では、ネットワーク内の

装置間で時刻を一致させる時刻同期が必要となるアプリケーションが登場してきたことで、網同期技術の適用分野が拡大しています。例えば、モバイル分野では、5Gにおけるさらなる広帯域サービスに対応するために、基地局間の時刻誤差を数十ナノ秒以内にする時刻同

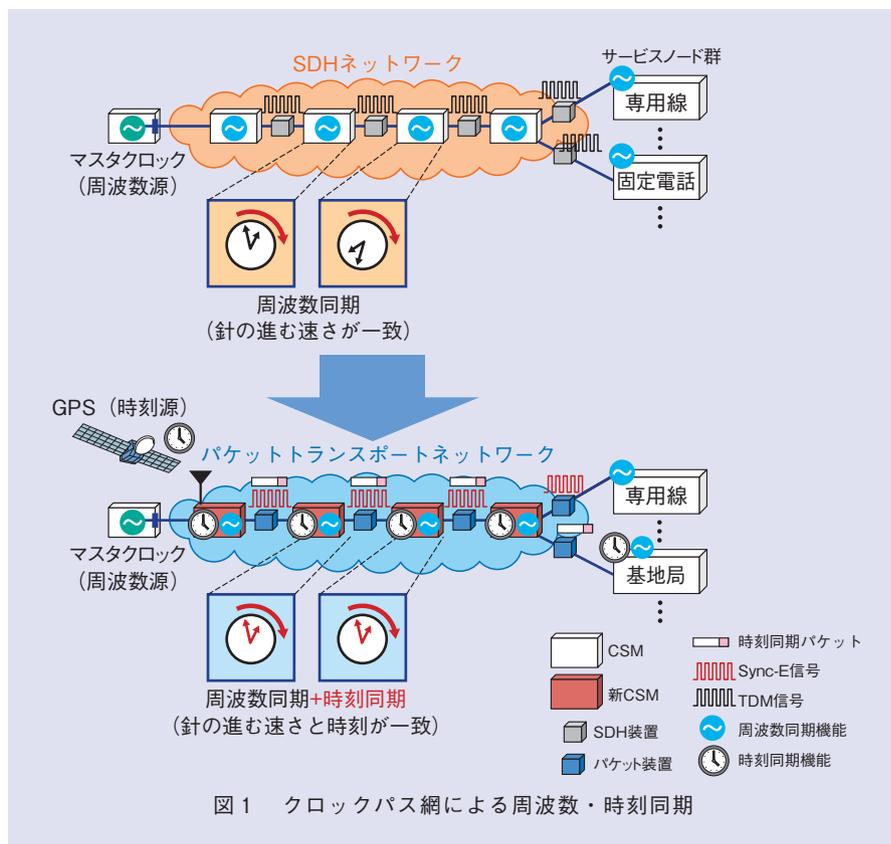


図1 クロックパス網による周波数・時刻同期

期が必要だと提案されています⁽¹⁾。

このような背景から、パケットトランスポートネットワークで周波数および位相情報の伝送を可能とし、かつ高精度な時刻同期を行うことができる「新クロック供給装置（新CSM）」を開発しました。

新CSMは、基本ユニット、拡張ユニット、中継ユニット、位相調整ユニットの4つのユニットから構成されています（図2）。基本ユニットはマスタクロック（周波数源）、GPS（時刻源）および上位のCSMと同期することで周波数情報および時刻情報を伝送するユニットです。拡張ユニットは、交換機や専用線装置などのサービスノードの収容数を拡張するためのユニットです。中継ユニットは、周波数情報および時刻情報を伝

送する距離を延長するユニットです。位相調整ユニットは、現行CSMから新CSMへの置換を効率的に行うユニットになります。これらのユニットには、特徴的な技術として、①位相情報伝送技術、②高精度時刻同期技術、③クロック自動置換技術を具備しています。ここではこれらの技術に対するポイントについて紹介します。

実現に向けた課題

■パケットトランスポートネットワークでの周波数・位相伝送

パケットトランスポートネットワークでの周波数情報の伝送方式として、シンクロナイザ（Sync-E）技術が標準化されています⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。Sync-E技術を用いることで、電気ノイズの影響を受け

ることなく周波数情報を伝送することが可能となります。しかし、周波数情報を受信するサービスノードの一部は、同一ビル内の他装置との通信において、フレームの先頭タイミングを合わせる必要があるため、周波数だけでなく位相の同期も求められます。パケットトランスポートネットワークにおいて、パケットを用いて位相情報を伝送する場合、ほかの packets の影響で送受信する周期に時間的な揺らぎが生じ、高精度に位相を伝送することができません。

■高精度時刻同期への対応

時刻同期の実現手法として、パケットトランスポートなどのネットワークに適用可能な時刻同期プロトコルであるPTP（Precision Time Protocol）が標準化されています⁽⁵⁾。PTPはマスタ装置、

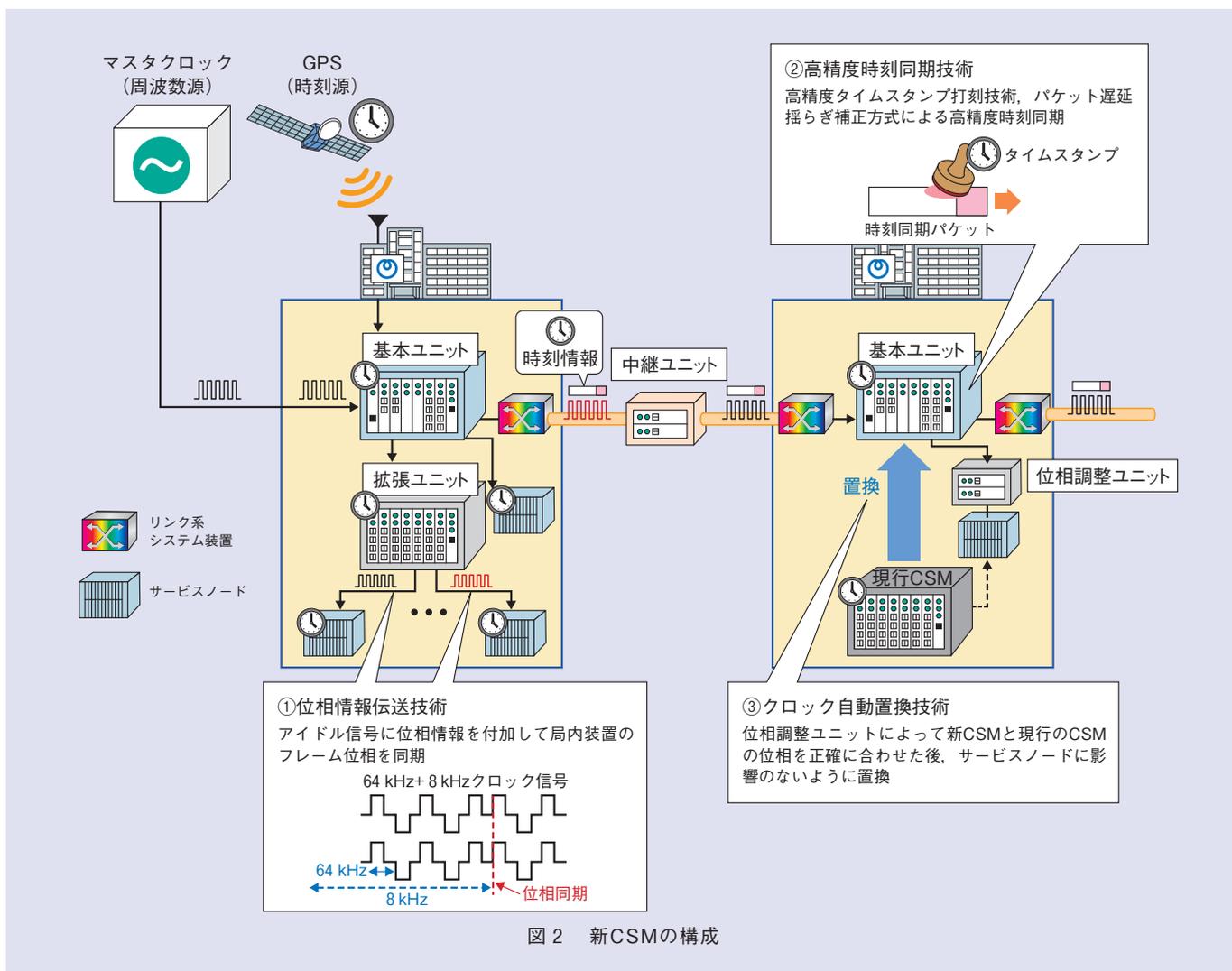


図2 新CSMの構成

スレーブ装置で構成されるネットワークにおいて、時刻同期用のメッセージを双方向にやり取りし、マスタ装置に対するスレーブ装置の時刻のずれを補正するプロトコルです。時刻同期用のメッセージには送受信時刻のタイムスタンプ情報が格納されており、このタイムスタンプ情報を用いることで時刻のずれを算出します。タイムスタンプ情報は装置内でのハードウェア処理にて付与されますが、処理性能によっては、本来タイムスタンプ情報として付与すべき時刻からの誤差が発生する場合があります。このタイムスタンプ情報の打刻誤差は時刻同期精度に対する直接的な誤差要因になるため低減が必要です。

また、PTPは双方向の遅延時間が等しいことを前提とした同期方式になります。そのため、マスタ装置とスレーブ装置の間をリンク系システム装置で接続した構成に対してPTPを適用すると、時刻同期精度が劣化する可能性があります。これは、リンク系システム装置内のパケット処理の競合により、遅延時間の揺らぎがランダムに発生することが原因になります。そのため、高精度に時刻を同期するためには、遅延揺らぎによる時刻誤差の低減が必要となります。

■現行CSMからの置換

新CSMを用いたクロックパス網を構築するためには、現行CSMからの置換が必要となります。本工程をクロック伝送ケーブルの接続変更のみで対応した場合、周波数情報については、現行CSMと新CSMを周波数同期させることで置換が可能ですが、位相情報については、置換の前後で正確に位相情報を合わせるができないため、位相情報を受信しているサービスノードで位相が跳躍し、サービス品質に影響を与える可能性があります。現行CSMの一世代前の装置から現行CSMに置換した際は、この位相合わせをオシロスコープなどの波形をモニタしながら、作業者が手動で行っていましたが、数千台の現行CSMの置換を実施するためには、より短時間かつ正確に位相を合わせるこ

と求められます。

課題解決のための技術的ポイント

■位相情報伝送技術

パケットトランスポートネットワークでは、不連続な信号であるフレーム信号の送信を行うために、フレーム信号が送信されていない状態においては、アイドル信号の送信を行います。アイドル信号はパケットの送受信状況に非依存で送信可能なため、新CSMでは、このアイドル信号に着目し、一部のアイドル信号を規定に違反しない別のアイドル信号（位相アイドル信号）に書き換えて位相情報を伝送する方式を採用することにより、位相情報の正確な伝送が可能となります。

■高精度時刻同期技術

新CSMでは、課題であったタイムスタンプ打刻誤差、リンク系システム装置による遅延揺らぎによる誤差を解決するために、バーニアスケールを用いたタイムスタンプ打刻方式、および統計分布データの蓄積によるパケット遅延揺らぎ補正方式を用いることで、高精度な時刻同期を実現しています。

(1) バーニアスケールを用いたタイムスタンプ打刻方式

タイムスタンプの打刻誤差は、装置の内部クロック周波数によって決まります。例えば、内部クロック周波数が100 MHzであれば、最大10ナノ秒の打刻誤差が発生する可能性があります。内部クロック周波数を高くするには物理的な限界があるため、打刻誤差が一定量発生することは避けられません。本課題に対し、新CSMでは2つの内部クロック周波数を用いることで打刻誤差の大幅な低減を行いました。この考え方は、バーニアスケールと呼ばれる方式であり、2つの内部クロック周波数を主尺と副尺に見立て、主尺と副尺の間隔をずらすことにより、細かい分解能で値を読み取ることができます（図3）。本方式の適用により、タイムスタンプ打刻誤差を0.5ナノ秒以下に抑えることを可能としています。

(2) 統計分布データの蓄積によるパケット遅延揺らぎ補正方式

伝送装置の遅延揺らぎによる時刻同期誤差を低減するには、双方向の遅延時間が等しくなるように時刻同期パケットの受信時刻を補正する必要があります。この受信時刻補正を行う従来方式としては、時刻同期パケットの受信時刻

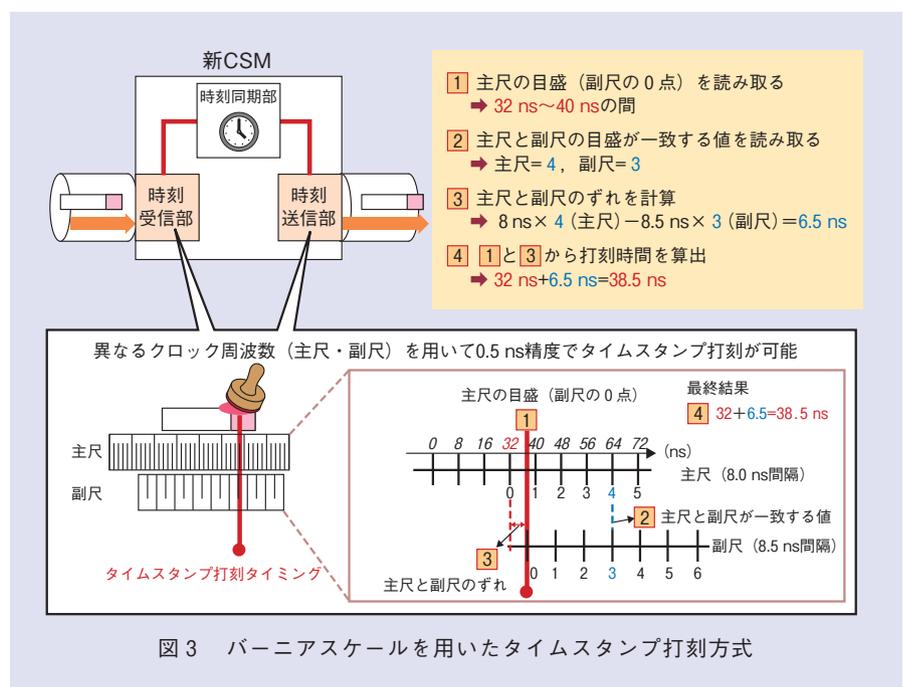


図3 バーニアスケールを用いたタイムスタンプ打刻方式

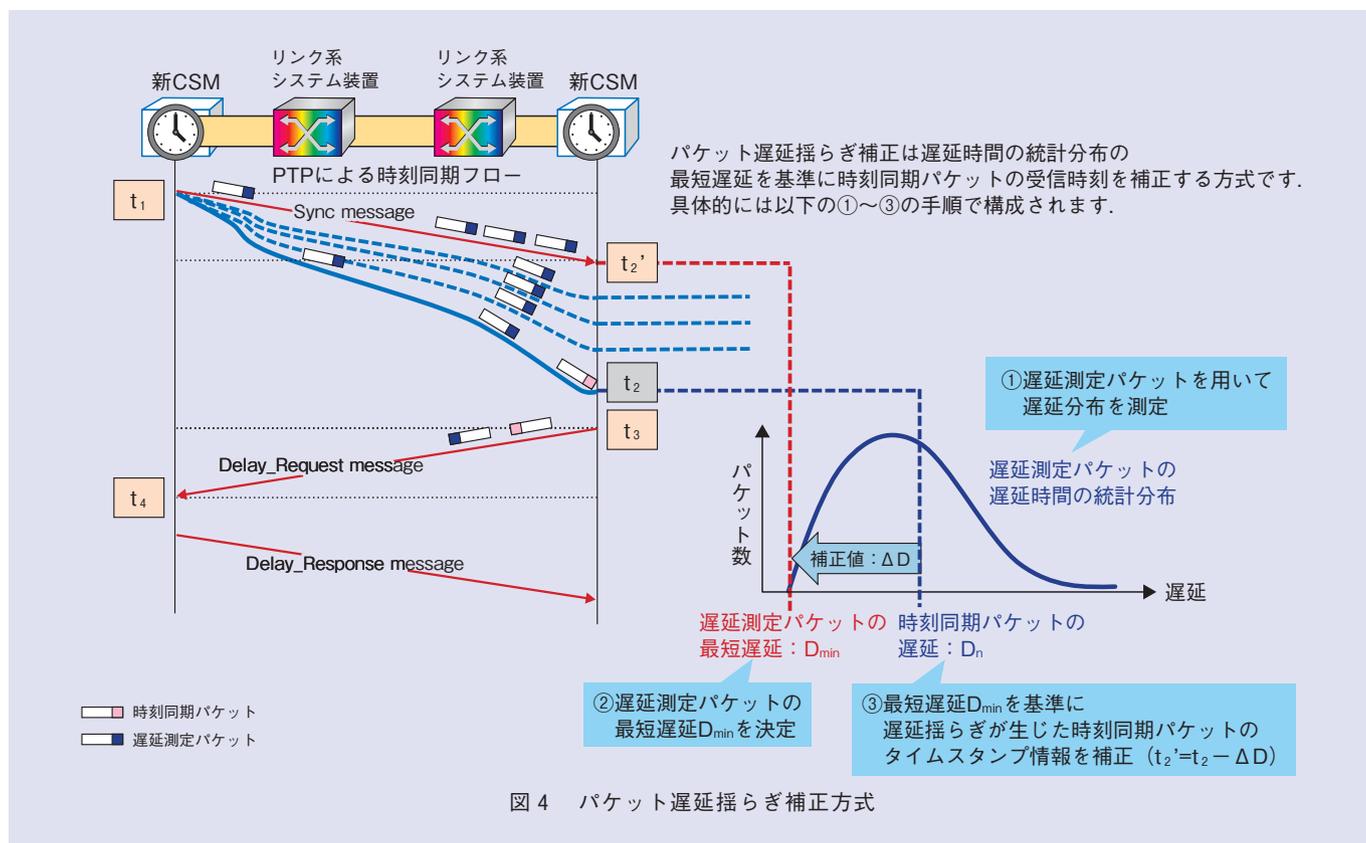


図4 パケット遅延揺らぎ補正方式

を平均化する方法が知られています。この方式は双方向の遅延時間の平均値が一定の場合には有効ですが、ユーザパケットのトラフィックは時々刻々と変わるため、双方向の遅延時間の平均値は必ずしも一致しません。そこで、新CSMでは、複数の遅延測定パケットの遅延時間を実際に測定し、遅延揺らぎ特性を統計的に把握することにより、時刻同期パケットの遅延揺らぎを補正可能としています(図4)。

■クロック自動置換技術

短時間かつ正確に位相合わせを行うために、新CSMでは、新CSMおよび現行CSMの波形特性、接続ケーブル長、装置内遅延量などのパラメータを用いたアルゴリズムを動作させることで自動的に適切な位相差補正を行う、自動位相調整機能を具備しています。また、パラメータの投入に際し、設定操作の簡易化、設定順序の可視化、異常発生時の警報通知を行うことが可能な制御用アプリケーションを実装することで、作業の正確性を向上させています。

本機能により、作業者が必要なパラメータを投入するだけでナノ秒オーダーの位相合わせを実現することができます。

今後の展開

ここでは、NTTネットワークサービスシステム研究所が開発した、位相情報伝送技術、高精度時刻同期技術、クロック自動置換技術を実装した新CSMについて紹介しました。

今後は新CSMの導入および運用に向けた円滑な支援を継続的に行うとともに、さらなる高精度化のニーズに対応する研究開発を行っていく予定です。

■参考文献

- (1) ITU-T Rec. G.8271/Y.1366: "Time and phase synchronization aspects of packet networks," 2012.
- (2) ITU-T Rec. G.8261/Y.1361: "Timing and synchronization aspects in packet networks," 2008.
- (3) ITU-T Rec. G.8262/Y.1362: "Distribution of timing information through packet networks," 2007.
- (4) ITU-T Rec. G.8264/Y.1362: "Timing Characteristics of synchronous Ethernet equipment slave clock (EEC)," 2008.
- (5) IEEE Std. 1588: "IEEE Standard for a

Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems," 2008.



(後列左から) 坂入 健/ 久島 孝昭/
新井 薫
(前列左から) 村山 秀胤/ 行田 克俊/
黒川 修

今後も高品質・高信頼性を求めるお客さまのニーズにこたえるシステム開発をめざし、研究開発を行います。

◆問い合わせ先

NTTネットワークサービスシステム研究所
ネットワーク伝送基盤プロジェクト
高速リンクシステムDP
TEL 0422-59-3886
FAX 0422-60-6033
E-mail hisashima.takaaki@lab.ntt.co.jp