



## 精密時間について-PTP入門

信号処理経路のあらゆる面で、IPネットワークへ移行すると、パケットベースのネットワークは基本的に非同期で非決定的な性質を持っているため、正確なタイミングを取ることが難しくなっています。幸いなことに、IEEE 1588 Precision Time Protocol (PTP) という形式で解決策が用意されています。この技術を適切に使用すれば、何百ものノードを持つ大規模なネットワークにおいて、デバイスのクロックをナノ秒以内に同期させることができます。これらのクロックがGPS（全地球測位システム）信号から得られる場合、PTPは、最新のメディア運用において、あらゆるタイプの信号に対して非常に正確で安定したタイムベースを提供することができます。

### はじめに

映像信号は、アナログ、デジタル、圧縮形式を問わず、カメラから消費者のディスプレイに至るまでの配信チェーン全体に沿って、常に正確な同期が必要とされてきました。タイミングは信号配信のあらゆる側面を駆動し、特にビデオとオーディオを同期させて"リップシンク"を実現します。信号処理経路のすべての側面をIPネットワークに移行すると、パケットベースのネットワークは基本的に非同期で非決定的な性質を持っているため、正確なタイミングを取ることが難しくなります。幸いなことに、IEEE 1588 Precision Time Protocol (PTP) という形で解決策が用意されています。この技術を適切に使用すれば、何百ものノードを持つ大規模なネットワークにおいて、デバイスのクロックをナノ秒以内に同期させることができます。これらのクロックがGPS（全地球測位システム）信号から得られる場合、PTPは、最新のメディア運用において、あらゆるタイプの信号に対して非常に正確で安定したタイムベースを提供することができます。

### なぜ PTP なのか？

簡単な答えは、IPビデオ制作のための SMPTE ST 2110 や IPオーディオのための AES67 など、最新のメディア規格で PTPが必要とされているからです。しかし、それだけでは標準化グループの決定の背後にある理由は説明できません。深く掘り下げるには、まずビデオとオーディオの信号処理の歴史を簡単に見て、なぜ同期とタイミングが重要なのかを理解することから始めましょう。

まず第一に、ビデオ信号はタイミングの基礎の上に構築されています。ビデオ信号の各フレームは、数千から数百万のピクセルで構成されており、それぞれのピクセルのデータ値は、カメラによって生成されたり、正確な順序で正確な時間にディスプレイに配信されたりする必要があります。ビデオ信号には、各ビデオスキャンラインの開始位置と各ビデオフレーム内の各ラインの位置を示す同期信号が含まれています。これらの同期信号は、受信装置がビデオ画像内の適切な位置に各ピクセルを適切に配置するために使用されます。従来の SDI ベースのビデオネット

トワークでは、通常、シンク信号は集中的に生成され、各機器を「ハウジング」に「ゲンロック」するために、「ブラックバースト」または「3値シンク」信号の形で各機器に分配されます。デジタルオーディオでは、DARS (Digital Audio Reference Signal) を使用して同様の機能が実行されます。従来のスタジオアーキテクチャでは、これらの同期信号を分配するには、各デバイスに接続する個別のオーバーレイネットワークが必要で、システム全体に多大なコストと複雑さをもたらしていました。

本来、双方向性を持つイーサネットネットワークでは、IEEE 1588 PTPを使用して共通の時刻信号を、個別のオーバーレイ同期ネットワークを介さず、各デバイスに分配することが可能です。各デバイスは、内部クロックを単一のマスタークロックに正確に同期させることができます。その後、このクロック時間は、以下に説明するSMPTEエポックを用いて、メディア信号の同期を正確に達成することができます。

図1は、GPSから派生したPTPを使用して共通のクロックを共有する複数のデバイスで構成されたネットワークを示しています。このクロックを使用することで、各デバイスはSMPTEエポックを参照することができ、オーバーレイ・クロック配信ネットワークを必要とせずお互いに参照することができます。これを、ビデオ用に1つ、オーディオ用に別の同期配信パスを必要としていた、従来のセットアップと比較してみてください。明らかに、PTPベースのソリューションの方がはるかにシンプルです。

## 同期に SMPTE エポックを使う

カメラのグループをゲンロックしたり、複数のマイクを同期させたりするためには、2つの基準が必要になります：同期されたクロックとメディア信号の各タイプの位相基準です。この2つ目の要件は「エポック」の目的であり、複数の信号の共通の時間基準として機能する（非常に）特定の時間のポイントです。SMPTE規格ST2059-1:2015「SMPTEエポックへのインターフェース信号の生成と整列」は、正確には1970-01-01T00:00TAI（真夜中、1970年1月1日国際原子時）であるこの基準点を提供しています。

信号の正確な周期の倍数として単純に計算することができます。この基本的な概念を使用して、各デバイスは、共通のエポックを参照した（正確な）現在時刻を知るだけで、共通のアライメントされた参照に自分自身をアライメントすることができます。

この概念を説明するために簡単な例を挙げてみましょう。40 msecの周期を持つ25 HzのSDビデオ信号を考えてみましょう。ST2059-1で定義されているように、この信号のデジタルバージョンのアライメントポイントは、このビデオ信号のライン1の水平サンプル732です。定義により、このアライメントポイント

は、エポックの時間に正確に発生しました。図2に示すように、別のアライメント・ポイントが正確に40ミリ秒後に発生し、それに続いて80ミリ秒後に別のアライメント・ポイントが発生しました。この信号に位相を合わせるためにデバイスが必要なのは、エポックから何ミリ秒後に発生したかを計算し、その結果を40で割ることです。この除算の残りは、アライメントポイントが

最後に発生してからのミリ秒数を与えます（図2のt1として示されています）、これは3つの順番で次のアライメントポイントが発生する時間を計算するために使用することができます（図2のt2）。そして、デバイスが必要とするのは、その内部ビデオ同期リファレンスをそのアライメントポイントに合わせるだけで、そのデバイスは、共通のエポックを参照している他のすべてのデバイスと同期されます。



エポックがあれば、そのエポックを参照することができる任意の周期信号の位相を計算することが可能になります。SMPTEや他の規格で定義されているように、すべてのメディア信号タイプ（例えば、ビデオやオーディオ）は、定義されたアライメントポイントを持っています。そして、すべての信号は、エポックの正確な瞬間に他のすべての信号のアライメントポイントと同時にそのアライメントポイントが発生するように定義されています。この共通の原点から、任意の信号の将来のアライメント点の発生時間は、その後、

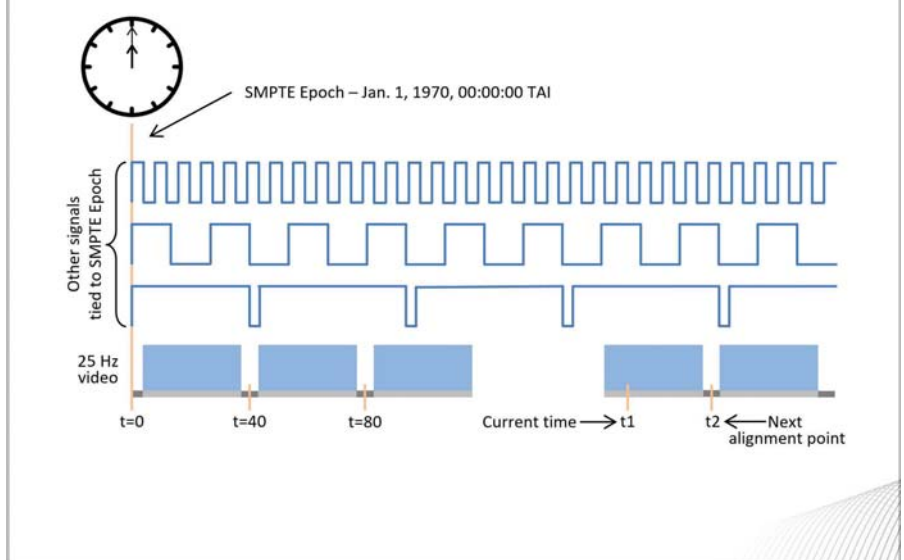


## PTP の利点

正確な時間配分により、複数のデバイス間で時計を設定する必要がなくなり、NTP を実行するシステムと同様に、精度が大幅に向上します。さらに、PTP は、以下のようなメディアネットワークにとって非常に有利な多くの利点を提供します。

- 複数のメディアフォーマット - 上記のクロック / エポックシステムを使用すると、どのようなデバイスでも、あらゆるメディア信号（ビデオ、オーディオなど）の正確な電流位相を正確に計算することができます。米国のメディアネットワーク用の PTP と欧州のメディアネットワーク用の PTP を使い分ける必要はありません。- どちらのシステムも同じ精度のタイミング信号で動作します。
- 同期オーバーレイネットワークが不要 - PTP クロック信号は、メディア信号にも使用できるイーサネット接続を介して分配されるため、同期を分配するためのオーバーレイネットワークを設置する必要がありません。これにより、特にカメラを制御装置に接続するケーブルシステムの複雑さを大幅に軽減することができます。
- あらゆる IP 接続デバイスに対応 - PTP に必要なタイムスタンプ機能を提供するインターフェースカードやモジュールは、広く市場に出回っています。PTP が他の市場（金融サービス、配電、工場の自動化など）にも浸透してくると、これらのコンポーネントや適切なネットワーク・インフラストラクチャ・デバイスの利用可能性はますます高まっていきます。
- メディアアプリケーションのための正確さ - 1 マイクロ秒を超える

図 2. SMPTE エポックと一致する



精度レベルで、PTP はビデオ同期をサポートするために必要とされる精度よりもはるかに優れた精度を提供し、オーディオアプリケーションでは余裕を持っています。

例えば、PTP は 96kHz のオーディオ信号のサンプリング周期の 10 分の 1 を超える精度を提供し、既知の実用的なアプリケーションに適しています。

- 複数の場所の同期化 - PTP のグラウンドマスターは一般的に GPS 信号に接続されているため、数百マイル離れた複数の場所にも正確なクロック信号を配信することができます。各ロケーションは同じ SMPTE エポックと同じ GPS 基準にロックされたクロックを使用できるため、各ロケーションは他のロケーションと正確に同期された映像信号と音声信号を共有することができます。あるロケーションから別のロケーションに同期信号を分配する必要がありません。

## PTP システムコンポーネント

IP/Ethernet ネットワーク上で PTP を配布するには、共通のコア機

器の形で、またエンドデバイス内で、いくつかの特殊な機器を必要とします。主なシステムコンポーネントには以下のものがあります。

- グラウンドマスタークロック - 通常、冗長性のためにペアで設置されますが、グラウンドマスターはネットワーク内の PTP クロック信号の単一の共通ソースを提供します (PTP ドメインと呼ばれます)。一度にアクティブになれるのは 1 つのグラウンドマスターだけなので、すべてのデバイスが共通のアルゴリズムを実行して、1 つのデバイスだけがグラウンドマスターになるようにします。このプロセスはまた、アクティブなグラウンドマスターが失敗した場合、別のデバイスが引き継ぐことを保証します。
- トランスペアレントまたはバウンダリクロック - グラウンドマスターからエンドデバイス (PTP 仕様ではスレーブと呼ばれています) への信号の配信は、バウンダリクロックとトランスペアレントクロックの責任です。これらの機能は通常、IP ルーターやイーサネットスイッチなどのネットワーク機

機器に組み込まれています。

トランスペアレントクロックを使用すると、PTP パケットがデバイスを通る際にパケットがデバイスを通じた時間を表す補正係数をパケットに追加しながら、PTP パケットをデバイスを通させることができます。この値を使用して、エンドデバイスはデバイスの入力とグラウンドマスターの出力の間のネットワーク遅延量を正確に計算し、正確な PTP 時間を計算することができます。

バウンダリクロックは、上流の（グラウンド）マスターへのスレーブデバイスとして、また下流のエンドデバイス（スレーブと呼ばれる）へのマスターデバイスとして機能します。これにより、グラウンドマスターの出力を、グラウンドマスターに負荷をかけることなく複数のダウンストリームデバイスで共有することができます。精度のレベルは、トランスペアレントクロックで達成できるものに近いです。

トランスペアレントクロックやバウンダリクロックをサポートしていないスイッチを使用して、少数のデバイスだけで小規模なネットワークを実行することは可能ですが、配信されるクロックの全体的な精度は低下します。一握り以上のデバイスや複数のスイッチを使用するネットワークでは、信号の整合性を確保するためにトランスペアレントクロックまたはバウンダリクロックを使用する必要があります。

- ハードウェア・タイムスタンプ - マイクロ秒以内にデバイスを正確に同期させるためには、パケットが特定のネットワーク・インターフェースを出入りする時間を正確

に測定する必要があります。そのためには、PTP アルゴリズムで使用されるデータを収集できるすべてのネットワーク・インター

IP Networks" や AES67 "High-performance streaming audio over IP interoperability" など、メディア制作業界全体で使用されて



ライブコンサートやリモートプロダクションはPTPの恩恵を受けることができます。

フェースにタイムスタンプ測定用のハードウェアを組み込む必要があります。

ソフトウェアのタイムスタンプは、プロトコルスタック内で発生するタイミングの不正確さのため、PTP を適切に実装するのに十分な精度を持っていません。数ミリ秒以上の精度は確かにソフトウェアで可能ですが、それは NTP（ネットワークタイムプロトコル）がハードウェアをサポートしていないインターフェースを使用して実装することができる理由です。PTP は NTP の 1000 倍以上の精度を必要とするため、ハードウェアのサポートは不可欠です。

## メディア向け PTP アプリケーション

本書の冒頭で述べたように、PTP は、SMPTE ST 2110:2017 "Professional Media over Managed

いるさまざまな規格で必要とされています。これらの規格における PTP の主な用途は、ビデオ、オーディオ、その他の信号を同期させるために使用できる安定したタイムベースを提供することで、それらを簡単に処理し、ローカルおよびリモートの視聴者に配信することができるようにすることです。

ライブコンサート会場内でのオーディオ制作のニーズを考えてみましょう。多くの場合、複数のスピーカーを調整する必要がありますが、それらのスピーカーからの出力音がエコーや位相の不一致によってお互いを打ち消し合うことなく、観客全員に届くようにしなければなりません。観客の大部分に最高のサウンドを提供するためには、スピーカー出力の一部にディレイを加えて、会場内の他のスピーカーから発せられる音と同位相になるようにする必要があります。また、スピーカーアレイは、各スピーカーエレメントに供給



されるオーディオ信号のタイミングを調整することで、特定の方向への「音場」出力が最大になるように調整することができます。PTPは安定したタイムベースを提供し、すべてのスピーカーを正確に同期させることができます。のスピーカーを正確に同期させることができます。

リモートビデオ制作では、すべてのカメラ、マイク、信号処理装置を共通のクロックに結びつけることができるPTPの恩恵を受けることもできます。これらの信号が長距離リンクを経由してテレビ制作施設に戻ってくるとき、信号間のタイミング関係を利用して、ビデオ信号間の正確な切り替えや、ビデオ/オーディオ信号の適切な調整が可能になります。

PTPクロックは、各ビデオおよびオーディオデータパケット内のタイムスタンプを生成するために使用されるため、これらの埋め込まれたタイミング関係は、IPメディア信号が

配信される場所であればどこでも使用することができます。

PTPをサポートするIPルータやイーサネットスイッチの恩恵を受けることができるアプリケーションは、メディア領域以外にもあります。例えば、金融サービス会社や市場では、証券取引や記録保持のために正確なタイムスタンプを必要としています。工場の自動化システムでは、さまざまなタスクのために機械がロックステップで動作する必要があります。電力会社は、損傷を与える電流サージを避けるために、ネットワーク上の高電圧源や信号の位相を正確に制御する必要があります。自動車システムを含む他の多くのアプリケーションは、正確で信頼性の高いPTP対応ネットワークの恩恵を受けることができます。

## 将来を見つめて

IPビデオおよびオーディオ技術が

IPネットワークのドメインに急速に移行する中で、IEEE-1588 精密時間プロトコルは、メディア制作のあらゆる面で絶対的に必要不可欠なものとなるでしょう。この基本的な技術により、何百台、何千台ものデバイスが絶対的な同期をとりながら連携し、適切にフォーマットされたメディア信号に不可欠なタイミング関係をすべてサポートすることが可能になります。イーサネットスイッチやその他のデバイスを含むネットワークインフラストラクチャーは、この技術で達成できる最高レベルの精度を提供するために、PTP機能をネイティブにサポートする必要があります。ヒットレス保護スイッチングには、信頼性の高いネットワーキングにおいて「見逃せない」未来があります。

## うるう秒と PTP

SMPT Eのエポックは、IEEE-1588 で使用されているものと同じで、最も正確な原子時計を持つ世界中の研究室で使用されているTAI（国際原子時）エポックを参照しています。一般的に使用されているもう一つのエポックは、GPS（Global Positioning System）のエポックで、1980年1月6日の0000 UT（真夜中）であり、TAIから一定の19秒だけオフセットされています。協定世界時（UTC）のエポックはTAIと密接に関連していますが、UTCのエポックは1972-01-01T00:00:00Zであり、SMPT Eのエポックより正確には63,072,010秒遅れていることを除いては、TAIと密接に関連しています。ネットワークタイムプロトコル（NTP）もUTCに基づいています。UTCとSMPT E/PTPの時間の違いは固定されておらず、それはうるう秒が発生するたびに変更されます。

うるう秒とは、地球の自転速度に時計を合わせるために使われる秒数のことです。通常の1日は86,400秒（60×60×24）ですが、実際には地球が1周するのに1ミリ秒ほど余分にかかります。偏差の量は一定ではなく、季節や地震などの自然現象によって、地球の自転が早くなる日もあれば遅くなる日もあります。うるう秒を調整すると、アプリケーションによっては頭痛の種になることがあるため、SMPT Eシステムではうるう秒を使用していません。その代わりに、SMPT Eエポックからの時間を測定するために使用されるクロックは、うるう秒を追加せずに直線的に増加します。UTCは異なるアプローチを取り、1日を86,401秒に指定することで必要な時にうるう秒を追加しています。最後のうるう秒は、2016年12月31日から2017年1月1日までの間の、UTCの午前0時に発生しました。この日以降、TAI時間とUTCの差は37秒となっています。



## 著者について

### ラファエル・フォンセカ、製品管理担当副社長

ラファエルは、創業間もない企業や新興企業で、経営陣の管理、製品管理、マーケティング、営業、販売業務の分野で豊富な経験を持っています。それ以前は、製品管理、マーケティング、セールスエンジニアリングの副社長であり、技術、通信、マルチメディア IP ソリューションに特化した GENBAND に買収された Cedar Point Communications の設立チームのメンバーでした。キャリアの初期には、ベル研究所の技術チームの一員として、データ通信および光ネットワークシステムのネットワーク同期化および均等化の研究開発を担当していました。彼は、次世代サービスの提供にかかる運用コストやその他のトピックについて、いくつかの記事を執筆し、業界の場で講演を行っています。コーネル大学で電気工学の修士号、プエルトリコ大学マヤヘス校で電気工学の理学士号、ウォートンスクールオブビジネスで MBA を取得しています。

## 関連製品

### Artel の Quarra PTP イーサネットスイッチ



Artel Quarra 10G PTP Ethernet Switch



Artel Quarra 1G PTP Ethernet Switch

Artel の Quarra ファミリーは、システムタイミングと定義のための SMPTE ST 2110-10 規格と、従来のゲンロック SDI 機器と IP ベースのメディア機器の相互運用可能な使用を可能にする ST 2059-2 規格をサポートしています。Artel Quarra スイッチは、正確なタイミングと制御が要求されるオーディオ/ビデオ放送、防衛およびセキュリティ、金融、公益事業、電気通信、およびエンタープライズ IT アプリケーション向けに設計されています。

## アーテルについて

Artel Video Systems は、グローバル市場にサービスを提供する革新的なリアルタイムマルチメディア配信ソリューションの世界クラスのプロバイダーです。今日、米国のライブイベントの大半は、ミッションクリティカルなワークフローをサポートするために Artel 製品を使用しています。Artel の IP およびファイバーベースの技術に関する専門知識は 30 年以上に及び、Artel は信頼性の高い標準ベースの IP インフラストラクチャの開発における信頼できるパートナーとしての地位を確立しました。Artel の統合ソリューションには、ファイバーおよび IP ベースのマルチメディア配信、精密タイミング、OTT、データネットワークなどがあります。2014 年から従業員が所有する事業。詳細は、[www.artel.com](http://www.artel.com)。

記載の内容は予告なく変更することがあります。©2018 AR207-900002-00\_B\_J



Artel Video Systems Corp.  
5B Lyberty Way Westford, MA 01886,  
USA  
Tel : 978-263-5775  
Email : [customercare@artel.com](mailto:customercare@artel.com)  
Website : [www.artel.com](http://www.artel.com)

株式会社デジタルクエスト  
〒176-0012 東京都練馬区1-6-3  
Tel 03-5946-3101 Fax 03-5946-3102  
Email : [info@digitalquest.co.jp](mailto:info@digitalquest.co.jp)