



タイムトラベルズ PTPをもっと詳しく見る

精密時間プロトコルは、AES67 オーディオや SMPTE ST2110 ビデオ（および Dante オーディオなどの他の一般的なフォーマット）を含む最新の IP メディア規格のシステム要件です。このホワイトペーパーでは、システムアーキテクチャ、PTP デバイス構成、マルチキャストネットワークの考慮事項など、PTP 導入を成功させるために考慮しなければならない主要な要素について説明します。また、いくつかのトラブルシューティングのヒントもいくつか提供します。

PTP - なぜ必要なのか

IEEE 1588 Precision Timing Protocol (PTP) は、イーサネットスイッチや IP ルーターなどのパケットベースのネットワークにおいて、デバイスを単一の共有クロックに同期させるための方法を規定しています。この規格は、もともと実験室や産業施設向けに開発されたもので、現在では、SMPTE ST 2110 を使用した IP ビデオ/オーディオ信号の伝送や、AES67 を使用した IP オーディオ信号の伝送など、他のメディア・アプリケーションの中でも基本的なものとなっています。1588 の主な用途の 1 つは、複数のビデオカメラに共通タイムベース (GENLOCK) を作成したり、ビデオとオーディオ機器を統一されたクロック (タイムコード) で同期することです。

PTP メッセージフロー

PTP 同期化プロセスは、マスターデバイスとスレーブデバイスの間で一連のメッセージを交換することにより動作します。このプロセスの間に、スレーブはマスターからのネットワーク遅延の正確な量を決定し、そのクロックがマスターからオフセットされているかどうかを判断す

ることができます。これら 2 つの値を知ることで、スレーブは内部クロックをマスターのクロックに正確に一致するために修正する十分なデータを得ることができます。このプロセスは定期的に繰り返され、各スレーブがマスターとの同期を維持していることを確認します。次のページの図 1 はこのプロセスの概要を示しています。

1) 正しい時刻を知っているマスターデバイスは、定期的に同期メッセージを生成することでプロセスを開始します。同期メッセージは通常、特定のサブネット上のすべてのデバイスにマルチキャストされます。このメッセージには、マスターを識別するヘッダー情報が含まれており、そのメッセージにはマスターのネットワークインターフェースをいつ出たかの正確なタイムスタンプが含まれています。マスターのハードウェアとソフトウェアの構成に応じて、同期情報を 1 つのメッセージ (ワンステップ) として生成することも、マスターが 2 つのメッセージを高速で連続して発行することもできます (ツーステップ)

a) マスターがアウトバウンド同期メッセージの中に直接ハードウェアのタイムスタンプを含めることが

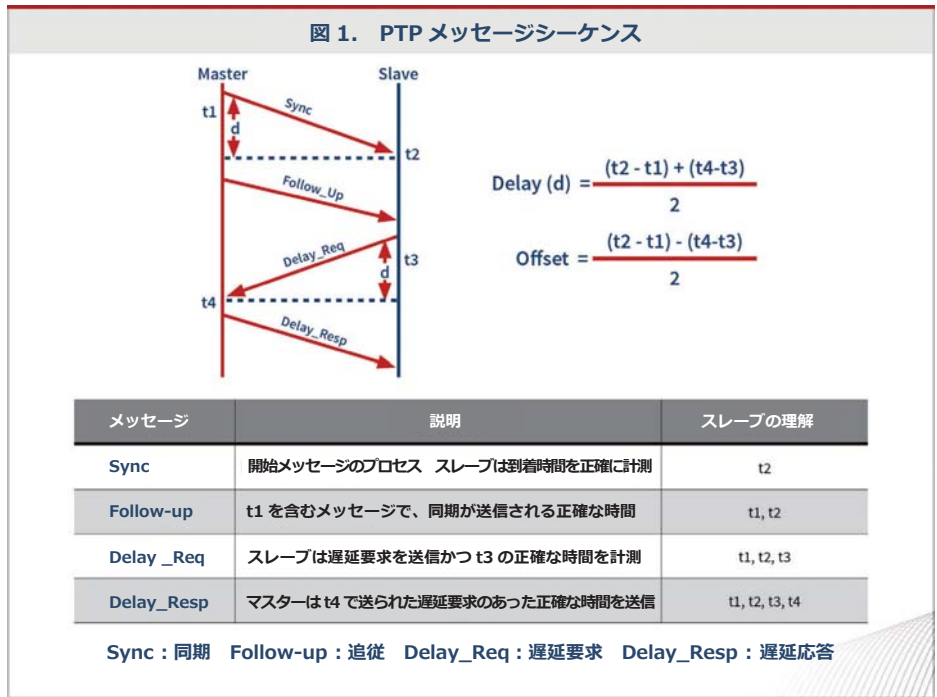
できず、正確なハードウェアのタイムスタンプを含む同期フォローアップ送信しなければならない場合には、ツーステップの操作が必要です。

b) ワンステップメッセージは、マスターがハードウェアから派生した正確なタイムスタンプを同期メッセージに含めることができる場合に使用されます。ワンステップまたはツーステップ動作の選択は、マスターデバイスとスレーブデバイスの両方の構成選択によって行われることに注意してください。

いずれの場合も、スレーブが同期（オプションで同期フォローアップ）メッセージを受信すると、スレーブは同期メッセージがいつハードウェアインターフェースに到着したかを正確に判断し、メッセージを読み取って、同期メッセージがマスターのハードウェアインターフェースを出た正確なタイムスタンプを判断することができます。これら2つのタイムスタンプの差は、スレーブとマスターのクロックの間にオフセットがない限り、マスターからスレーブへの一方行の遅延を表しています。

2) プロセスの次のステップは、スレーブがマスターに遅延要求メッセージ（遅延応答メッセージ）を送り返すことです。基本的にこのメッセージは同期メッセージと非常に似ていますが、ヘッダデータフィールドが変更され、メッセージの発信者としてスレーブデバイスを示すようになっています。

遅延要求メッセージは、元の同期メッセージと同じマルチキャストグループアドレスを使って送り返すこともできますし、マスターのIPアドレスに直接ユニキャストすることもできます。前者の場合、マルチキャストグループのメンバーである他のすべてのデバイスがメッセージを受信し、メッセージがマスターから発信されたものではないことを判断するために、メッセージを解析する必要があります。後者の場合、スレーブデバイスはマスターの



正しい（非マルチキャストの）IP アドレスを知る必要があります。場合によっては、このアドレスをスレーブデバイスの構成パラメータとして設定する必要があります（これによって、マスターデバイスの変更が困難になる可能性があります）。遅延要求メッセージを送信するためにマルチキャストまたはユニキャスト技術を使用するオプションは、通常、スレーブデバイスとマスターデバイスの設定で、構成パラメータとして設定されています。

3) マスターが遅延要求メッセージを受信するたびに、そのデバイスに遅延応答メッセージを送信しなければなりません。このメッセージには、遅延要求メッセージがマスターの入力で受信された正確なタイムスタンプと、遅延要求メッセージを送信したデバイスの ID が含まれています。このため、デバイスの数が多いシステムでは、多数の遅延要求メッセージの処理がマスターの負担になる可能性があることに注意してください。

スレーブデバイスは、遅延応答メッセージを受信すると、マスターからの遅延を計算し、スレーブの内部クロックがマスターからのオフセット（正または負）があるかどうか

かを判断するために必要なすべての情報を持っています。スレーブは、これら2つの値を使用して内部クロックを修正し、マスターのクロックに完全に一致するようにします。このプロセスでは、非常に厳しい精度レベルが達成されることが多く、クロックはマスタークロックの数ナノ秒以内に調整されることがよくあります。

クロックの配布

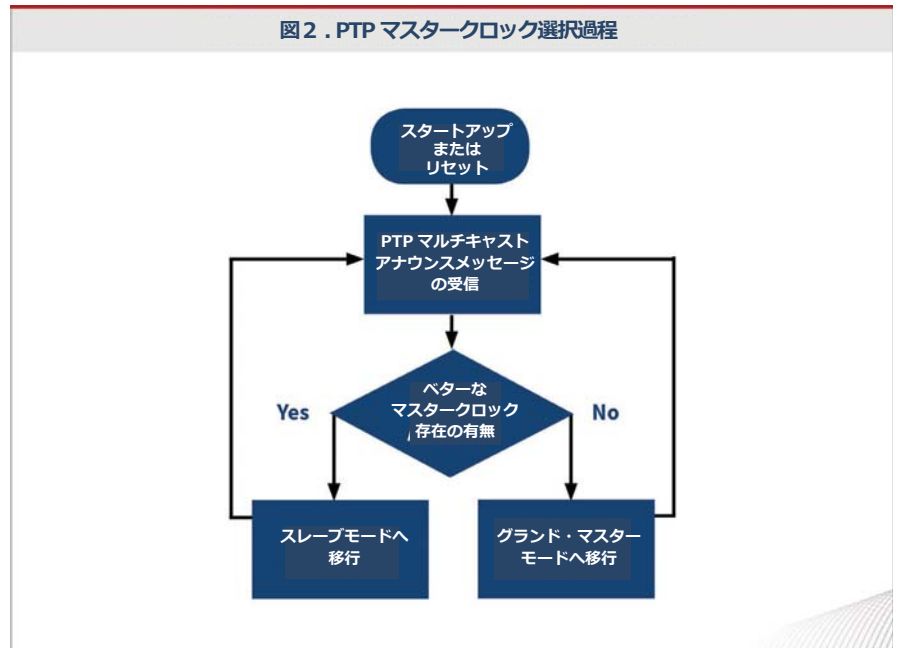
PTP ネットワークが適切に動作するためには、いくつかの一般的なネットワーク要件が必要です。何よりもまず第一に、上述の PTP 同期化プロセスでは、マスターからスレーブへ IP パケットを送信して往復できる双方向ネットワークが必要です。これにより、すべてのデバイスが同期、フォローアップ、遅延応答メッセージを受信し、遅延要求を送信することが可能になります。

各マスターデバイス、またはマスターになる可能性のあるデバイスは、他のすべてのマスターまたはマスターになる可能性のあるデバイスからのアナウンスメッセージを受信する機能を持っていなければなりません。アナウンスメッセージはアク

ディブなマスターから定期的送信され、それらのメッセージを受信する他のすべてのデバイスは、現在のマスターよりも優れたマスターになると判断しない限り、マスターになるべきではありません。マスターになる可能性のあるすべてのデバイスは、IEEE 1588 仕様で定義されている共通のベストマスタークロックアルゴリズムを実行しなければなりません。ベストマスタークロックが選択されると、他のすべてのマスター候補デバイスはアナウンスメッセージの送信を停止し、共通のベストマスターからタイミングを受信しなければなりません。このプロセスを図 2 に示します。

2つのグランドマスタークロックを比較するには、複数の基準に基づいて A 対 B の比較を行う必要があります。表 1 は、2つのクロックが比較されるたびに使用される基準のリストを示しています。このプロセスでは、リストの一番上から順に各基準を調べていき、クロック A とクロック B を比較していきます。一方のクロックが他方のクロックよりも優先されるとすぐに、プロセスは停止し、そのクロックがグランドマスターになります。もう一方のクロックは自動的にアナウンスメッセージの送信を停止し、選択されたグランドマスターからのアナウンスメッセージを定期的受信し続けている間サイレントのままとなります。

ネットワーク管理者は、表 1 に



示す基準のリストの中で、2つの優先度を設定することができます。優先度 1 は 8 ビットのフィールドで、特定のデバイスの優先度を高くするか低くするかを調整するために使用できます。優先度 2 (図 3 の 5 行目に示されている) は、2 次的な 8 ビットの優先度フィールドで、カテゴリ 1 から 4 までのすべてで一致するクロック間の連携を解除するために使用できます。この基準は、一致したペアのどのクロックが優先されるべきかを稼働中のシステムで定義するのに適しています。また、基準 6 は究極のネットワークタイプレーカーであり、2つのクロックが

同一の MAC アドレスを持たない限り (持つべきではない)、常に一方のクロックがもう一つのクロックよりも選択されることに注意してください。

基準 2、3、4 は特定のクロックの品質に関連しており、異なるレベルは IEEE 1588 仕様で定義されています。過度な詳細は省きますが、より高品質なソースに接続されているクロック、より正確な内部電子回路を持つクロック、より安定しているクロックが他のクロックよりも選択されます。これらのフィールドで使用されている値の中には、クロック

表 1. PTP マスタークロック選択基準

クロック選択基準 (優先度の高い順番)	特長	詳細
優先フィールド (ユーザ提供)	数値が小さい方が高い優先度	8bit フィールド、マスター可能 128, スリープのみ可能 255
クロッククラス	クロック状態のクラス	GPS, 自由動作, 残分
クロック精度	番号付きの UTC までの精度範囲	例 25 - 100ns
クロック変動	周波数安定度	クロック発振器のジッタとワンドを表すログスケール統計量
優先度 2 のフィールド (ユーザ提供)	小数値が高優先度	8bit フィールド、プライマリー / バックアップクロック表示に使用
ソースポート ID	イーサネット MAC アドレス	他のすべての基準が同一である場合の最終手段

ク使用の特定のプロファイルに特化したものがあることに注意してください。特に、SMPTTEは、基本的なIEEE標準にあるものを超えたいいくつかの追加のクロッククラス（基準2）を定義しています。

トランスペアレントおよびバウンダリクロック

PTPネットワーク内では、イーサネットスイッチは、グランドマスターとスレーブデバイス間を含むデバイス間の接続を提供します。これらのスイッチは、バウンダリ、トランスペアレント、または非PTP対応の3つの異なるモードのいずれかで動作します。後者の状態は、小規模なネットワークで他に選択肢がない場合に使用される可能性がありますが、これは推奨されません。スイッチがPTP対応でない場合、PTPメッセージの通過時間が変化することがあり、これはダウストリムのクロックの精度に影響します。PTP同期または遅延要求メッセージが短時間でも、遅延するたびに不正確な遅延またはオフセット値が計算され、スレーブのクロックに影響を与え、安定性に影響を与えます。中程度のトラフィック負荷であっても、管理されていないイーサネットスイッチは、PTP配布システムの不安定性の原因となります。

ネットワークでは、トランスペアレントクロック（TC）とバウンダリクロック（BC）の両方が、複数のデバイスにPTPメッセージを適切に分配するために使用されます。実際には、図4に示すように、両方のタイプのデバイスがPTPクロックレイヤーの異なるレイヤーに存在している場合があります。TCとBCを適切に設定して機能させれば、数千台のデバイスをナノ秒単位の精度で共通のマスタークロックに同期させることができます。

トランスペアレントクロックは、PTP（および他のすべての）ネットワークトラフィックが通過するパスの中に配置され、できる限りトラフィックからは見えなように努め

ます（図3）。これは、まず、PTPメッセージがTCデバイスを通る際に費やす時間をナノ秒単位で計算することで実現します（他の作業では、イーサネットスイッチの正確な知念遅延）。この値は、PTPメッセージヘッダに含まれる補正フィールドに追加されます。メッセージが宛先に到達すると、受信デバイスはこのフィールドの値を使用してTCの遅延を補正することができます。

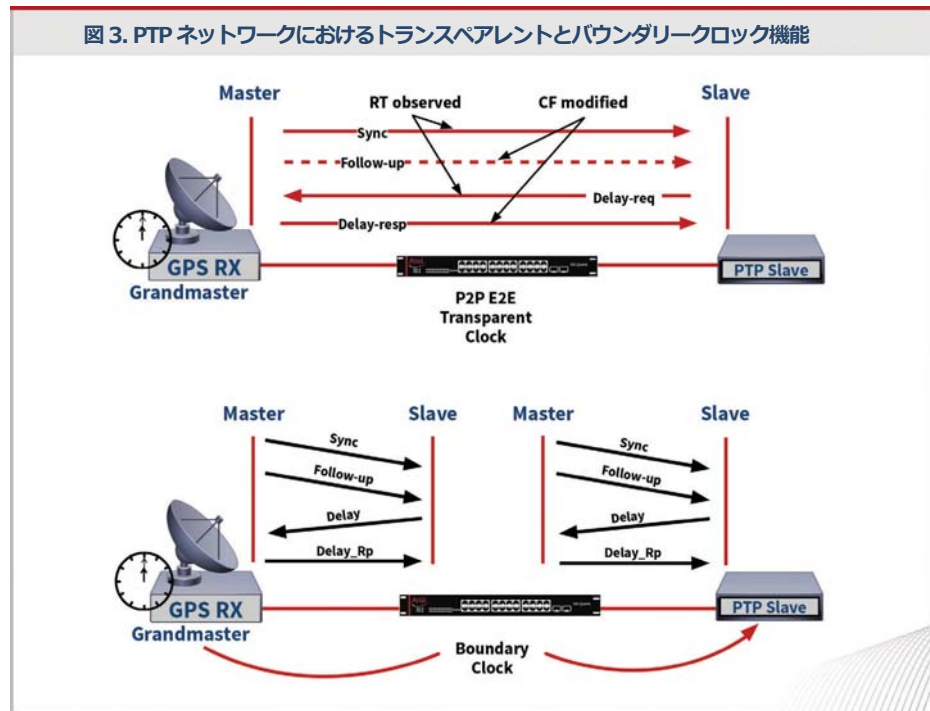
バウンダリクロックは、スレーブデバイスの大規模な集団にPTPメッセージを伝搬させるために、スレーブとマスターの両方の役割を果たします。（図3）BCに設定されたイーサネットスイッチには、通常、PTPスレーブとして設定されたポートが1つあり、そのポートはグランドマスターまたは別のマスタークロックと同じネットワーク内にあります。スイッチ内の他のポートのすべてまたは一部をBCマスターポートとして設定することができ、これらのポートに接続されているデバイスは、このスイッチに直接同期できることを意味します。ネットワークにおけるBCの主な利点は、スレーブデバイスからマスターへのトラフィック量を減らすことです。マスターデバイスは、スレーブデバイス

からの遅延要求メッセージを定期的に受信し、それぞれに個別の遅延応答メッセージを送信する必要があります。1つのマスターに依存するスレーブデバイスの数が増えると、メッセージ処理時間も増えます。この負荷が大きくなりすぎると、マスターデバイスの負荷分散が難しくなります。そのため、大規模なPTPネットワークではBCが一般的な機能となっています。

マスターデバイスは定期的なスレーブデバイスから遅延要求メッセージを受信し、それぞれに個別の遅延応答メッセージを送信する必要があります。1台のマスターに依存するスレーブデバイスの数が増えると、メッセージの処理時間も増えます。この負荷が大きくなりすぎると、マスター装置の負荷分散が難しくなります。そのため、大規模なPTPネットワークではBCが一般的です。

冗長化システム

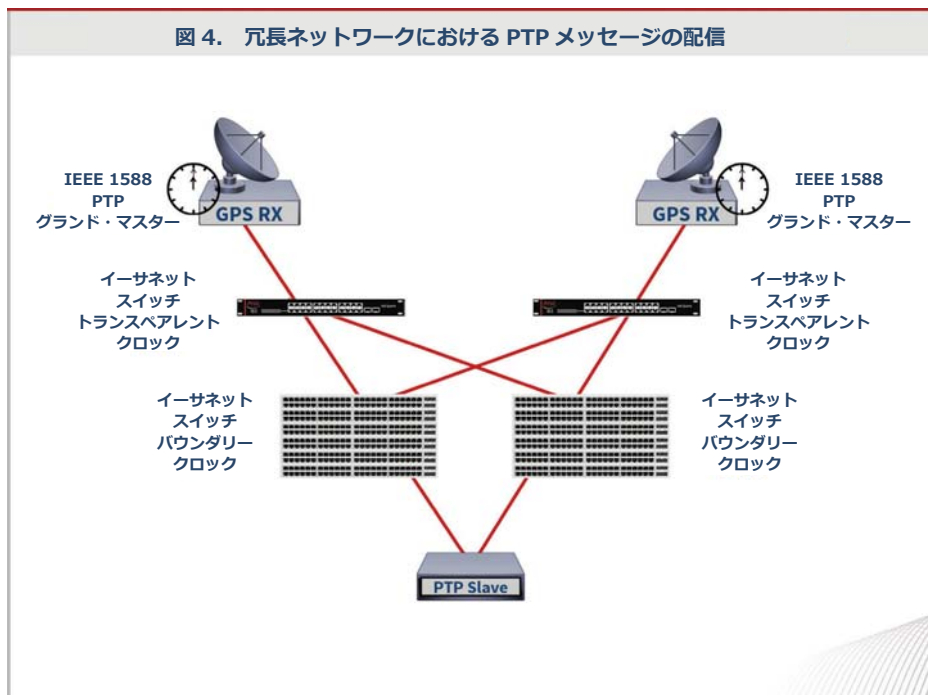
最近のメディアネットワークの多くは、重要なシステムインフラストラクチャに冗長ハードウェアを使用しています。もちろん、この方法は、



PTP クロック分配システムだけでなく、これらのシステム内のデバイスを相互接続するために使用される大規模なイーサネットスイッチにも適用されるべきです。完全に冗長化されたイーサネットバックボーンを持つことは非常に理にかなっており、正しい PTP アーキテクチャに対応することができます。図 4 は、冗長化された PTP タイミングソースと冗長化されたイーサネットスイッチを持つメディアネットワークを簡略化した図です。

この例では、ネットワークは冗長な PTP 信号を生成するために 2 つの別個のグランドマスターが利用可能ですが、常にアクティブになるのは 1 つだけです。ポート数の少ないトランスパレントイーサネットスイッチは、グランドマスター出力を、境界クロックとして機能する可能性のある冗長エンタープライズクラスイーサネットスイッチに分散するために使用されます。

アクティブネットワークからスタンバイネットワークへの切り替えの場合、両方のシステムに分散されたグランドマスターを持つことで、スレーブデバイスはクロックやマスターの不連続性なしに動作を継続することができます。このため、アクティブなグランドマスターからのアナウンスメッセージがスタンバイのグランドマスターに伝搬することを許可することが非常に重要です。イーサネット・トラフィックのループが形成されるのを防ぐために、慎重なネットワーク・セットアップが必要になる場合があります。



PTP ドメインとプロファイルの構成

PTP ドメインは、一緒に動作するマスターとスレーブを識別するために使用されます。同じドメイン内にあるデバイスだけが一緒に動作することができます。他のドメインから PTP メッセージを受信したマスターとスレーブは、それらを無視します。ドメイン番号はすべての PTP デバイスに設定され、それはすべての PTP メッセージのヘッダーで運ばれます。

IEEE 1588 の仕様のこの機能により、1 つのネットワークで複数の異なる PTP システムを同時にサポートすることができますが、現代のメディアネットワークでこれが役に立つアプリケーションは考えにくいです。(IEEE 1588 仕様のバージョン 1 では、ドメインは番号ではなく名前が付けられていましたが、現在のバージョンの 1588 では番号のみが使用されています)。

PTP プロファイルは、PTP ネットワークの主要な運用特性の多くを定義します。異なるプロファイルを

異なるアプリケーションに使用することで、システム性能を独自の要件に合わせて微調整することができます。例えば、PTP 技術を使用して、何百キロにも及ぶ電力会社の送電網の動作を同期させ、長いメッセージ送信時間を発生させることができます。そのようなアプリケーションに適したプロファイルは、単一の建物内のメディアネットワークと比較して、異なるポーリング時間とメッセージのタイムアウトを使用することができます。幸いなことに、PTP プロファイルは、各アプリケーションのパフォーマンス要件個別に満たすように定義することができます。メッセージのタイミングは、PTP プロファイルが活躍する分野の 1 つです。PTP プロファイルは、アナウンスメッセージの頻度、同期メッセージの頻度、および遅延要求メッセージの頻度を定義します。より頻繁なメッセージは、スレーブクロックをマスターに素早く収束させることができるため、一部のアプリケーションでは望まれています。ネットワーク上の PTP メッセージのトラフィック量が増加するという欠点があります。

表 2 . AES と SMPTE 標準間の互換性

パラメータ名	AES67 範囲	SMPTE 2059 範囲	提案値
domainNumber	0 to 255	0 to 127	0
log Announce Interval	0 to		0 (1sec)
announce Receipt Timeout	2 to 10	2 to 10	3 (3sec)
logSincInterval			-3 (.125 sec)
log Min Delay Req Interval (based on log Sync Interval = -3)	-3 to 2	-3 to 2	-3 (.125 sec)

domainNumber ドメイン番号, logAnnounceInterval ログアナウンス間隔
 announceReceiptTimeout アナウンス受信タイムアウト, logSincInterval ログ同期間隔
 logMinDelayReqInterval (based on log Sync Interval = -3) ログ最小遅延要求間隔 (ログ同期間隔=-3 に基づく)

メッセージの周波数と収束時間のバランスを慎重にとることは、機能的で安定したネットワークを実現するために不可欠です。興味深いことに、AES 67 規格と SMPTE ST 2059 規格では、これらのさまざまなメッセージ周波数の値に 2 つの異なる範囲が定義されています。両規格の共通の動作ポイントを見つけるために 2016 年に調査が行われ、その結果が上記の表 2 に示されています。

ネットワークに関する考察

PTP システムにやや特殊なネットワークの側面をいくつか挙げておきます。これらはマルチキャストクエリ、レガシーデバイス (非 PTP) と PTP 対応デバイスの両方を持つ複合ネットワークの使用、ポート速度の不一致の問題です。

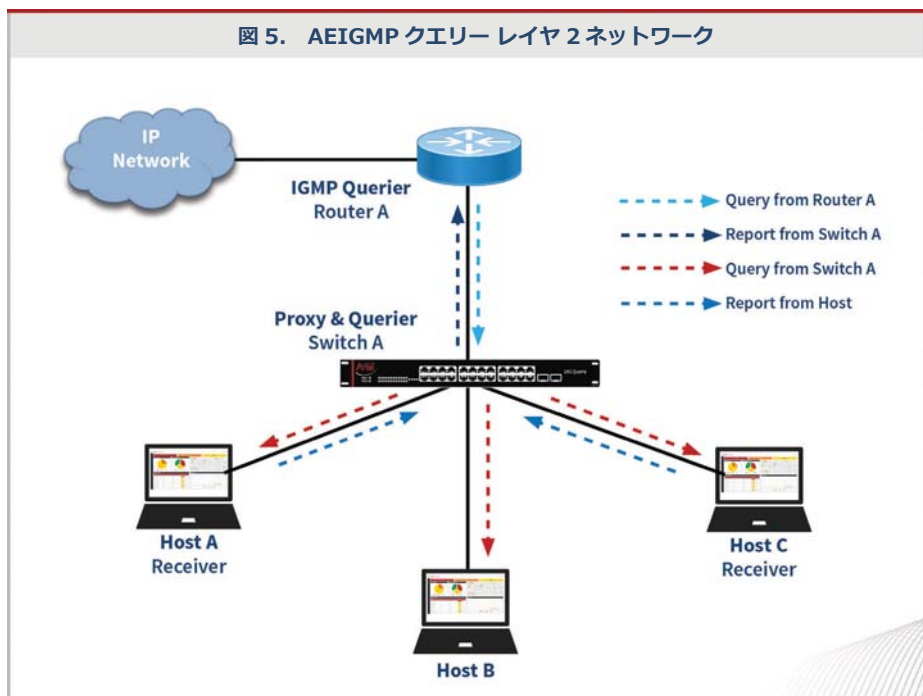
マルチキャスト技術の大きな進歩の 1 つは、イーサネットスイッチ内での IGMP スヌーピングの開発です。この技術により、スイッチはエンドデバイスとネットワークルータの間を流れる IGMP メッセージをリッスンし、特定のマルチキャストに参加しているデバイスを持つスイッチポートのみにマルチキャストメッセージの配信を制限することができます。この技術が機能するためには、各エンドデバイスは、スイッチが監視できる IGMP メンバーシップレポートメッセージを定期的に生成しなければなりません。このプロセス

を容易にするために、マルチキャストネットワークには、通常、エンドデバイスがメンバーシップレポートを送信するように促すために、定期的に IGMP メンバーシップクエリを送信するクエリとして動作するデバイスが含まれています。メディアネットワークの場合によく見られる純粋なレイヤ 2 ネットワークでは、IGMP クエリが必要です。各サブネットでは、常に 1 つのクエリのみがアクティブになっている必要があります。最近のマルチキャスト対

応スイッチの多くは、適切なスイッチ構成コマンドを使用して様々なポートで有効にすることができるクエリ機能を内蔵しています。図 5 は、複数のスイッチと必要なメンバーシップ・クエリ・メッセージを生成する IGMP クエリを備えたネットワークを示しています。

従来のビデオ機器から IP および PTP ベースの映像機器への移行時には、PTP タイミングをサポートしていないレガシー機器を新しい機

図 5. AEIGMP クエリ レイヤ 2 ネットワーク



器と同期させる必要がある状況が間違いないで発生します。この状況に対処するには、2つの方法があります。一つ目の方法は、デュアルファンクションマスター（PTPと標準同期出力の両方を持つ）を使用して、放送スタジオに長年存在しているような同期分配ネットワークに接続します。もう一つの方法は、レガシー信号を必要とする各デバイスにローカル同期を提供する PTP システムに接続された小型のアダプターを使用します。どちらの方法でも動作するようにでき、レガシー機器から PTP 対応機器への移行時にはどちらの方法も使用することができます。イーサネットのビットレートを変更するスイッチなどを通過するネットワーク接続では、ポート速度の不一致が発生します。例えば、100M ビットのデバイスを1ギガビットのポートにフォーマットコンバータを使用して接続すると、ポート速度の不一致が発生し、約4マイクロ秒のクロックオフセット（位相誤差）が発生します。この問題は、一方の方向の packets 転送速度と他方の方向の packets 転送速度が一致しないため、PTP 計算でオフセットが発生します。この問題は、問題のあるデバイスを削除するか、影響を受けるイーサネットスイッチポートを設定してタイミングオフセットを補正することで修正できます。

トラブルシューティング

PTP ネットワークのインストールは、システムが動作するために適切に設定する必要がある多くの異なる設定パラメータがあり、少し厄介な場合があります。良いニュースは、ネットワークが設定され、適切に動作していれば、ネットワーク上に存在するすべてのデバイスに正確なクロック信号を分配するために、通常は非常にうまく機能するという事です。

ネットワークのトラブルシューティングの最初のステップの1つは、問題が発生しているかどうかを判断することです。これは一般的に、ネットワーク上のアクティブなマスター

からのアナウンスメッセージをデバイスが受信しないことが原因です。(PTP デバイスは、他のマスターからのアナウンスが受信されないときはいつでも PTP マスターとして引き継ぐことになっていることを覚えておいてください。) これが起こっているかどうかを観察する良い方法は、PTP マルチキャストアドレスのトラフィックを見て、アナウンスメッセージが複数のソースから来ていないか、またはマスターになるべきではなかったソースから来ていないかを確認することです。このような状況を避ける一つの方法は、アナウンスメッセージが届かなくてもマスターとして引き継ぎごうとしないよう、通常のデバイスをすべてスレーブオンリーに設定することです。

ラボテストで問題が発生しているもう一つの分野は、IGMPv2 と IGMPv3 が混在するネットワークです。IGMPv3 には、ソース固有のマルチキャストと呼ばれる貴重な機能が追加されており、これは多くの異なるソースを持つ大規模ネットワークで有用です。しかし、現在の世代のデバイスの多くは IGMPv2 しかサポートしていないため、ネットワークの設置に頭痛の種となる可能性があります。特に、IGMPv3 デバイスのデフォルトの動作は、IGMPv2 デバイスからメッセージを受信すると、IGMPv2 モードでの動作に戻ります。ベストなアドバイスは、バージョン 2 またはバージョン 3 のいずれかを選択し、ネットワーク上のすべてのデバイスがそのバージョンを完全にサポートし、それに応じて設定されていることを確認することです。

トラブルシューティングの質問

ここでは、PTP ネットワークのトラブルシューティングの際に役立つと思われる質問をいくつか紹介します。

1. スレーブデバイスはマスターのマルチキャストに含まれるネットワークセグメント内にありますか？
2. スレーブとマスターは同じ PTP ドメインを使用していますか？
3. スレーブ、マスターともに1ステップ、2ステップの設定になっていますか？
4. スレーブとマスター間のパスにネットワークの非対称性（例えば 100BaseT <-> GigE）はありますか？
5. スレーブからマスターに遅延要求メッセージが届きますか？
6. 遅延応答メッセージはマルチキャストですかユニキャストですか？
7. PTP マルチキャストにマルチキャストクエリーを設定して、スイッチ内部のスヌーピングデータが適切に入るようにしていますか？
8. グランドマスターはネットワーク上の他のデバイスよりも優先度が低い（良い）値になっていますか？

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。

ラファエルは、いくつかの記事を執筆し、次世代サービスの提供にかかる運用コスト、メディアトランスポート、IP を介したオーディオなどについて、業界で講演を行っています。

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、データネットワーキングなどがあります。2014 年から従業員が所有する事業。詳細は、www.artel.com。

記載の内容は予告なく変更することがあります。©2018 AR207-900003-00_B_A_J



Artel Video Systems Corp.
5B Lyberty Way Westford, MA 01886,
USA
Tel : 978-263-5775
Email : customercare@artel.com
Website : www.artel.com

株式会社デジタルクエスト
(アーテルビデオシステムズ日本事務所)
〒176-0001 東京都練馬区練馬1-6-3
Tel 03-5946-3121 Fax 03-5946-3122
Email : info@commspecial.jp