車載用 SerDes ソリューション（MASS）の最新動向

発表者：ジェームズ・ゴーエル、リック・ウェルトフェルト Ph.D
(MIPI アライアンス)

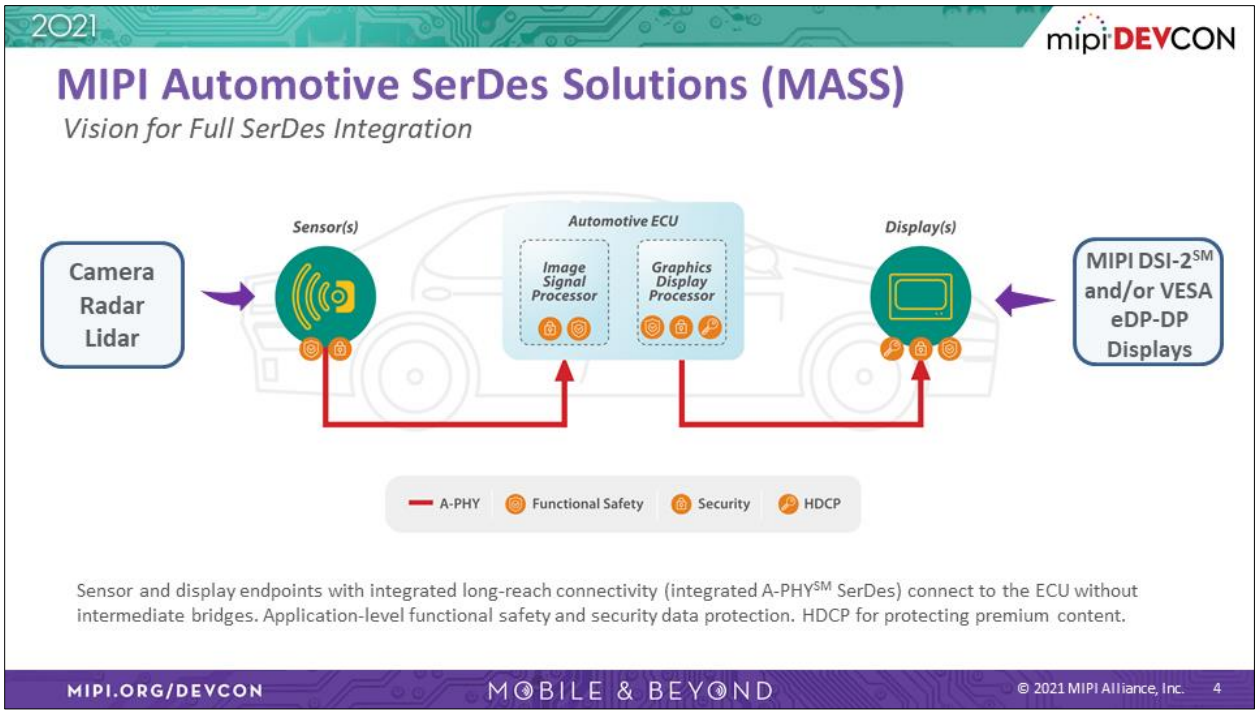
ジェームズ・ゴーエル：皆さんこんにちは。MIPI 技術運営グループ議長、ディスプレイワーキンググループ副議長のジェームズ・ゴーエルと申します。リックからは、私の最初の発表の後に自己紹介しますをしてもらいます。MIPI DevCon 2021 バーチャルイベントにご参加いただき、ありがとうございます。

本日は、MASS つまり MIPI Automotive SerDes Solutions 仕様の最新動向についてお話します。MASS は車載システム向けに低消費電力、高帯域幅のディスプレイやカメラのエンドツーエンド・ソリューションを提供することを目的とした仕様群です。本プレゼンテーションでは、

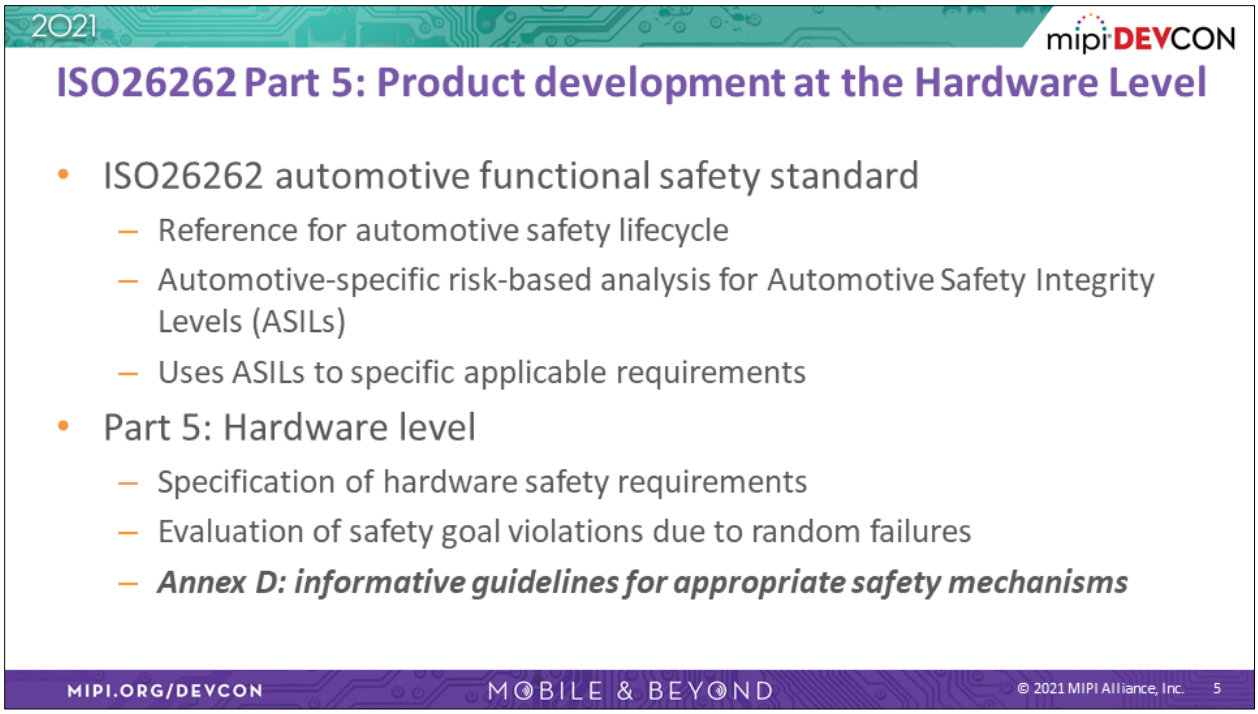
MASS の概要を説明します。技術的な詳細については、資料の最後に掲載の公開リンク先をご参照ください。

ジェームズ・ゴーエル: 多くの自動車アプリケーションは、Connected（コネクティッド）、Automated（自動化）、Shared（シェアリング）and Electrified（電動化）の頭文字を取った新しい業界トレンド CASE によって推進されています。コネクティッド（接続された）自動車は先進の LTE および 5G ネットワークを使用してネットワーク帯域幅を拡大し、より解像度の高いディスプレイを駆動します。自動化の進展により、新しいアプリケーションは、より高解像度で数も豊富なコネクテッド・ディスプレイとコネクテッド・センサーを使用できるようになります。シェアリングは自動化によって当然行き着く先で、GPU や ECU が相互に接続されたエンドツーエンドのカメラとディスプレイを使用するアプリケーションが増えます。電動化のためには、低消費電力で軽量かつ効率的なディスプレイが必要です。従来の自動車用アプリケーションでは、消費電力と電気的干渉耐性を低減しつつ、カメラとディスプレイフレームレート両方のディスプレイの解像度とフレームレートをあげる向上させることが引き続き求められています。

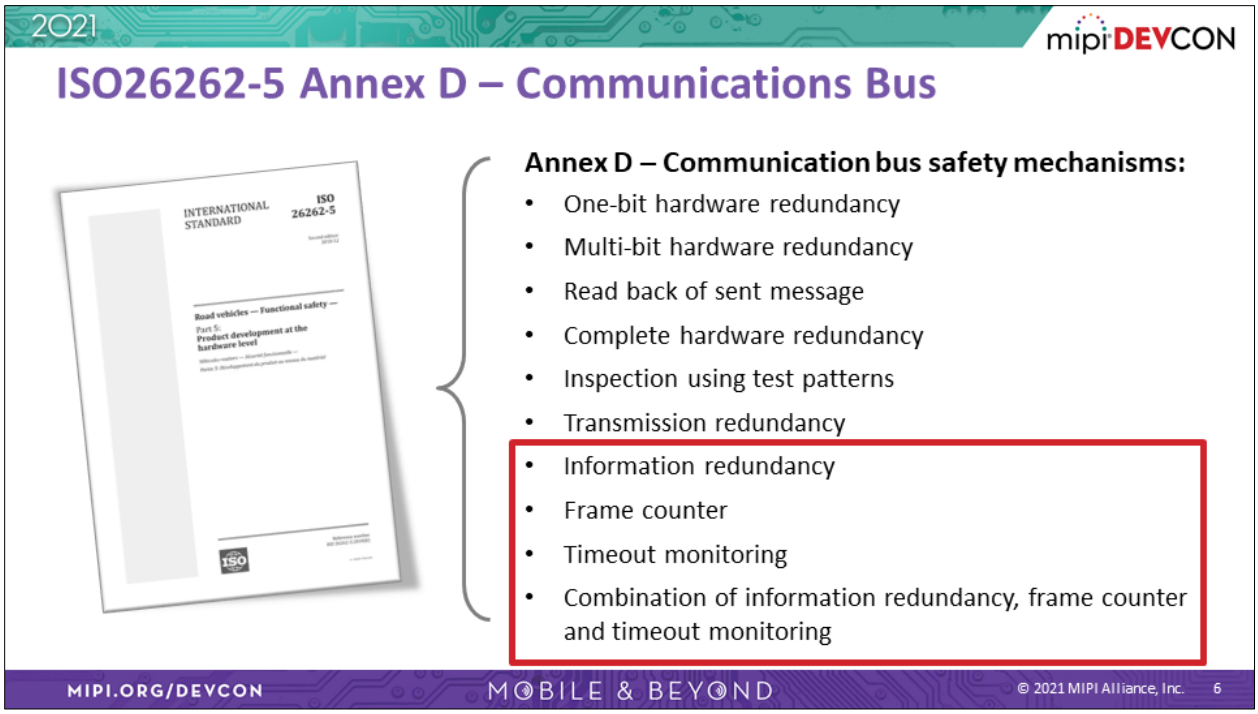
ジェームズ・ゴーエル: ここでは、メインキャビンのディスプレイを例に、MASS がより厳しい機能安全目標に対応できる仕組みを説明します。この図では、ディスプレイ内蔵の従来の助手席サイドミラーの代わりに、広角レンズを搭載した薄型車載カメラセンサーが搭載されています。このデジタル式サイドミラーは、高度な光学技術によりドライバーの死角を減らし、夜間や視界の悪い悪天候の中でも機能します。また、センサー機能も追加されており、ドライバーからは見えない物体や車を検出することができます。この図では、車載 ECU がセンサーデータを解析し、安全アイコンや警告シンボルをデジタルレンダリングし、ディスプレイします。にデジタル表示しています。このアプリケーションでは、車載用ディスプレイの安全性を高めるためにには厳格な安全目標があります、。適切な自動車のハザード分析に基づく ASIL D 認証が必要です。ISO26262 で定義されている ASIL D を満たすためには、画素情報を追加する必要があります。



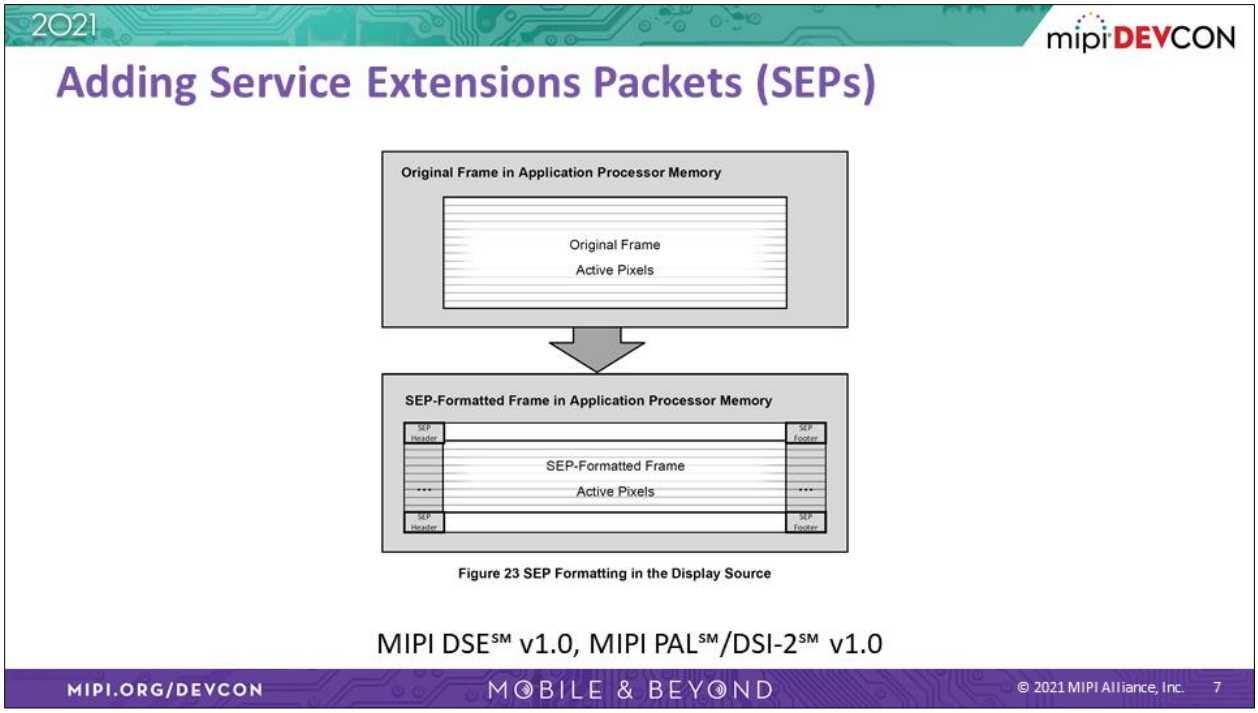
ジェームズ・ゴーエル： MASS ファミリーの仕様は、シリーズは、エンドツーエンドの機能安全、そして将来的にはセキュリティのも視野に入れて設計された仕様です。この図では、左のカメラレーダーが MASS 仕様を使用してデータを取得し、機能安全とセキュリティのプロトコルで保護しています。これらのアイコンは、センサーから ECU を経てディスプレイに至るまでのこれらのアイコンをマークしています。すべての過程で表示されます。そのすべてが、A-PHY の SerDes インターフェースを使って各部を経由して行われます。ここでは、ECU の画像信号プロセッサとグラフィックディスプレイプロセッサが働いて、ディスプレイ用の新しいピクセル出力データを生成します。MASS 仕様を使用することで、ディスプレイプロセッサから A-PHY SerDes までのを介してこれらのピクセルに、そして最後にはこちらのガラスディスプレイに安全性とセキュリティを提供することができます。エンドツーエンドの MASS アプローチは、光がセンサーに取り込まれてから、光がディスプレイを離れるまでの機能するためすべての過程で動作することから、Glass-to-Glass と呼ばれることもあります。



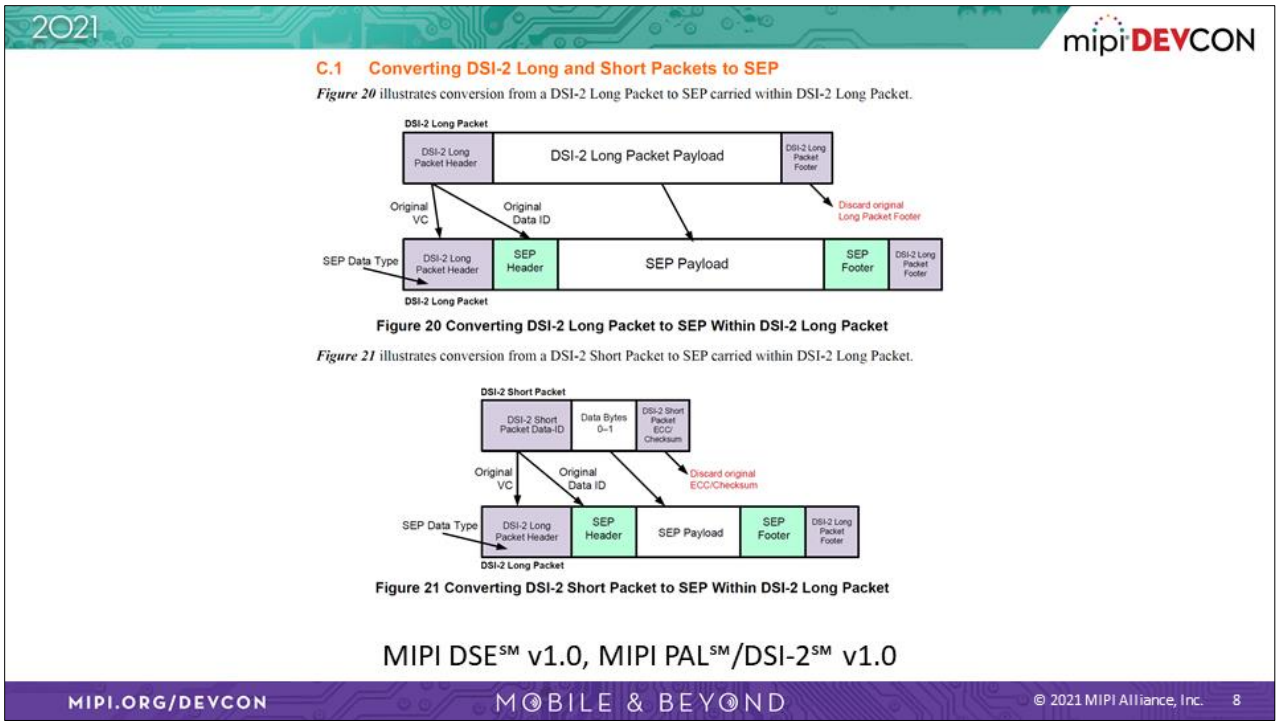
ジェームズ・ゴーエル：自動車の機能安全は ISO26262 シリーズ規格で標準化されています。多くの参照および要件の中で、これは、自動車の安全性度レベル水準（Safety Integrity Level、略して ASIL）を決定するための、自動車に特化したリスクベースアプローチを定義した規格です。ASIL は ISO26262 のどの要件を適用するかを指定し、アプリケーションの安全目標で定義された不当合理な残留残余リスクを回避するために使用されます。MASS のディスプレイ仕様では、ディスプレイパイプラインの機能安全の基礎として ISO26262 Part5 の製品開発におけるハードウェアレベルの仕様を採用しています。特に付属書 D の「診断範囲の評価」には、単一一点故障や潜在的な遅延故障のメトリック基準を満たすために必要な診断範囲の評価や、ハードウェアのランダム故障による安全目標違反の評価について詳細なガイダンスが記載されています。



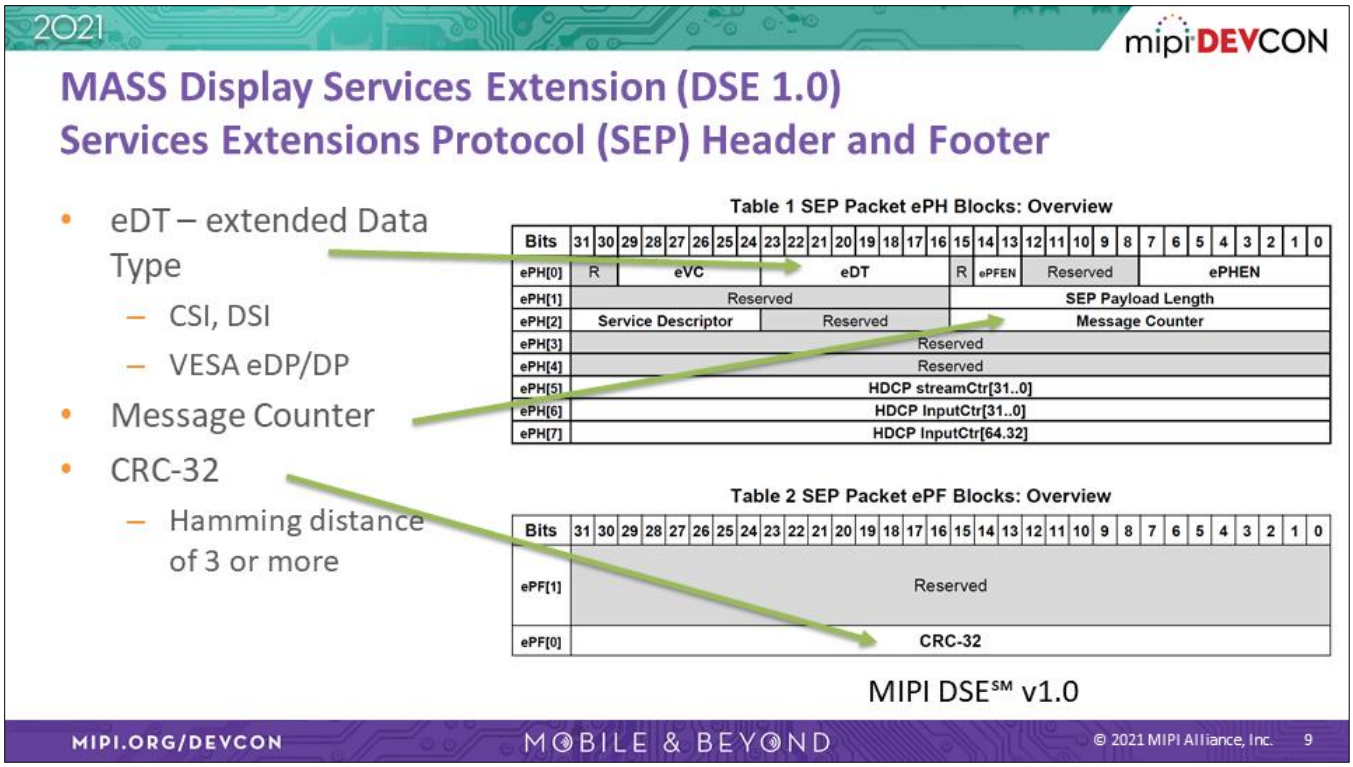
ジェームズ・ゴーエル: 付属書 D は、ディスプレイ安全目標の達成にあたってディスプレイ安全技術者が考慮すべきハードウェアの故障モード分析を提供するものです。表 D6 には、マスディスプレイインタフェースに適用される安全機構と主要な性能測定の推奨事項が定義されています。下の赤枠内の 4 行に記載されたメカニズムを組み合わせることで、高度、典型的、かつ達成可能な診断範囲を提供することができます。そのメカニズムとは、CRC-32 コードを用いた情報の冗長性、16 ビットのユニークコードを用いたフレームカウンター、カウントダウンメカニズムを用いたタイムアウトの監視です。表の最後の行にあるように、これら 3 つのメカニズムを組み合わせることで、高度で達成可能なカバレッジを実現します。



ジェームズ・ゴーエル： ディスプレイ・サービス・エクステンション（DSE）仕様では、付属書 D 表 D0.6 に記載の安全機構を実装した新パケットタイプが定義されています。これらのサービス拡張パケット（略して SEP）は、DSI-2 プロトコルエンコーダーのピクセルからバイトへの変換中に計算されます。図は、SEP のヘッダーとフッターのパケットが、DSI-2 のロングパケットで定義された映像のブランキングラインとアクティブラインのそれぞれの開始点と終了点に SEP ヘッダーとフッターパケットはどのように配置されるか様子を示したものです。SEP ヘッダー＆フッターパケットでは、DSI-2 ショートパケットのコマンド＆コントロールインターフェースも保護します。DSI-2 用の MIPI プロトコル・アダプテーション・レイヤーは、SEP パケットの要件を定義しており、DSI-2 の長いロングパケットおよび短いショートパケットが A-パケットに変換され、データフレーム化されて A-PHY で送信される際には、SEP パケットの使用が必須となります。



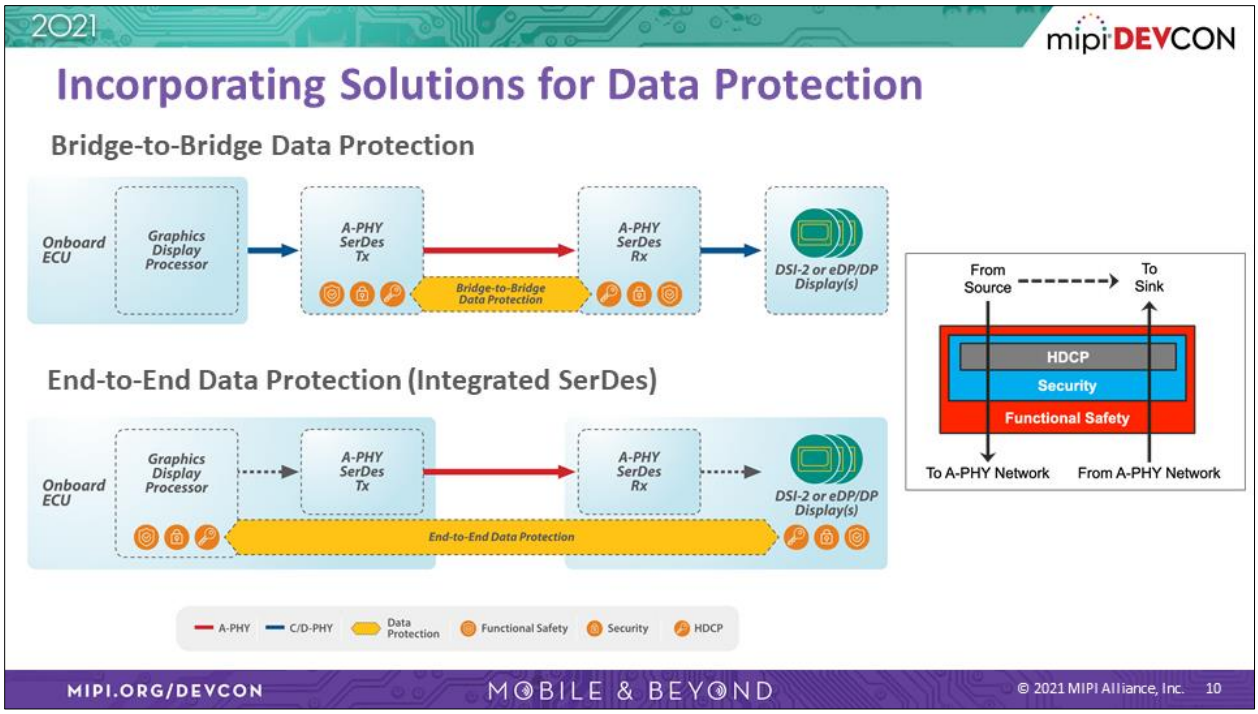
ジェームズ・ゴーエル： この図は、SEP ヘッダーとフッターのパケットが、DSI-2 の短いショートパケットと長いロングパケットの両方を取り囲んでいる様子を示したものです。DSI-2 長いロングパケットのペイロードと SEP ヘッダーは、SEP フッターにある CRC-32 値の計算に使用されます。このようにして結合されたパケットは、A-PHY を介して転送される、更新された DSI-2 ロングパケットの新しいプレイロードを形成します。DSI-2 短いショートパケットの変換にも同じプロセスが使用されます。



ジェームズ・ゴーエル： SEP パケットの詳細の重要部分を理解することは有益となります。SEP パケットヘッダの最初の 32 ビット（EPH ゼロ）には、SEP ペイロードフォーマットを定義する eDP（拡張データタイプ）が含まれています。DSE 仕様では現在、MIPI DSI-2 と MIPI PAL の VESA、eDP と DP、SEP ペイロードタイプをサポートしています。EPH-2 には、SEP の 16 ビットのメッセージカウンターが含まれています。設定された機能安全ディスプレイ・フレーム・セッションで最初に配信されたパケットでは SEP 2.0 で、SEP パケットが送信されるたびに、送信機によって 1 ずつ増加されていきます。ディスプレイ表示アプリケーションは、各アクティブビデオのライン開始時、またはその他の SEP パケット送信中のアプリケーション固有の時間に、メッセージカウンタをリセットすることを選択できます。

メッセージカウンタの重要な価値は、単調に増加する値により、SEP パケットを一意に識別することにあります。エンド・ディスプレイ・シンクが SEP メッセージカウンタをデコードし、それが次の序列値をスキップしたり、繰り返したり、見逃したりした場合、エラー条件をアサートし、適切なシステムレベルのアクションを取らなければなりません。これは、ディスプレイ上のエラー警告が点滅している状態です。

また、タイムアウトの監視は、垂直方向のシンク信号の数以内にディスプレイがデコードした SEP メッセージカウンタの値の有効性を追跡することでも実施できます。フレームレートは既知であるため、垂直シンク間の SEP メッセージカウンタ値の数は、ホストが所定のしきい値内で表示データの送信を停止したかどうかを示します。これは、安全アイコンにとって非常に重要です。



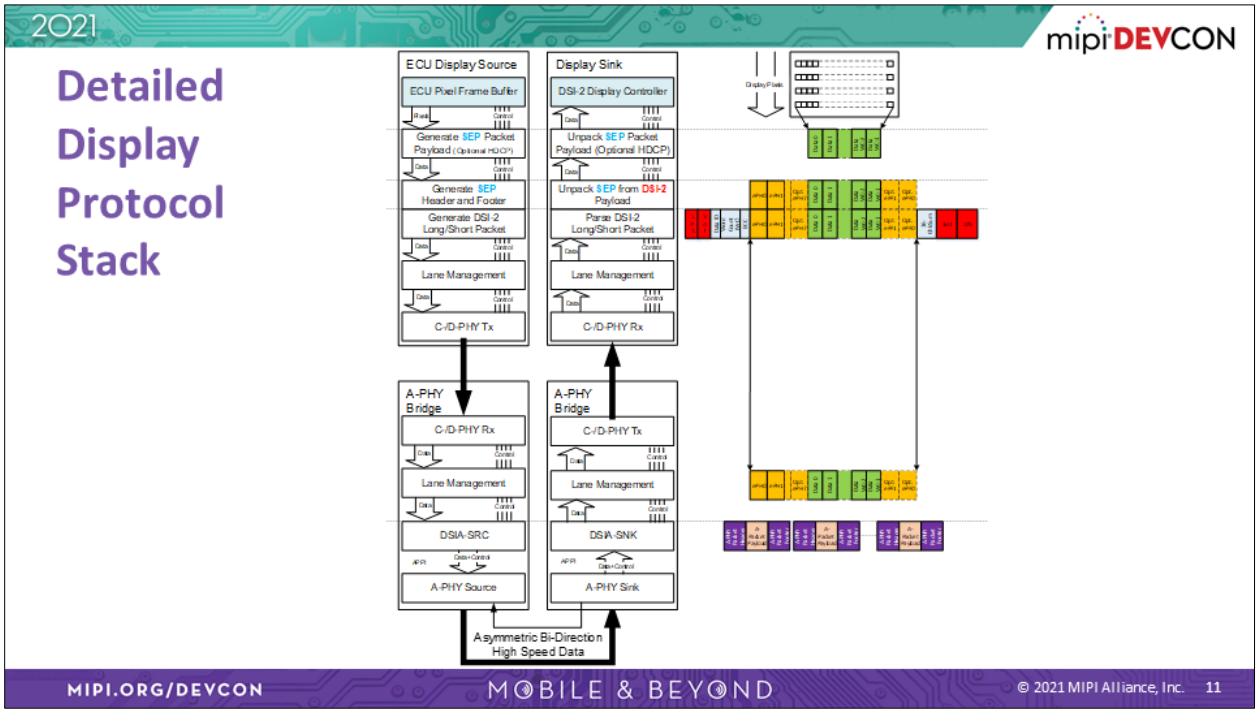
ジェームズ・ゴーエル: このブロック図は、MASS ディスプレイの機能安全、そして将来的セキュリティシステムレベルのアプローチを説明したものです。上の図は、既存のレガシーECU やディスプレイに最適な、ブリッジ間の MASS ソリューションを示しています。左側の ECU は、標準的な MIPI DSI-2 または VESA eDP ネイティブインターフェースを使用して、A-PHY トランスミッターブリッジに接続されるソースピクセルデータを生成します。青い矢印で示したものがこれに当たります。

A-PHY SerDes トランスミッターは、MIPI プロトコル・アダプテーション・レイヤ（PAL 仕様）を使用し、このネイティブ・ピクセル・ストリームを、機能安全、セキュリティ、または HDC プロテクションで保護された A-パケットに変換します。A-PHY SerDes は A-パケットを受信し、機能安全、セキュリティ、HDCP の整合性を確認した後、同じ PAL 仕様を使用して、ネイティブの DSI-2 または eDP ピクセルに変換します。

この例では、FuSa とセキュリティは、MIPI A-PHY ブリッジの間でのみ確立されます。2 番目の図には、完全に統合された A-PHY を備えた MASS ディスプレイ・アーキテクチャを示しています。この場合、機能安全とセキュリティは、ディスプレイのピクセルを生成する際にすぐに追加され、ディスプレイがデータをデコードしてスクリーンに送信する最後の段階まで、A-PHY リンクを通じ、維持されます。A-PHY の SerDes ブリッジが必要ないこの完全統合 A-PHY は、

MASS のエンドツーエンドのディスプレイソリューションの典型例ですが、市場でこのソリューションが完全に採用されるようになるまでには、まだ時間がかかります。

次から数枚のスライドでご紹介するように、次世代の DSI-2 ECU 組み込みプロトコルジェネレータに統合された MIPI ディスプレイサービス拡張仕様を使用すると、A-PHY ブリッジを統合

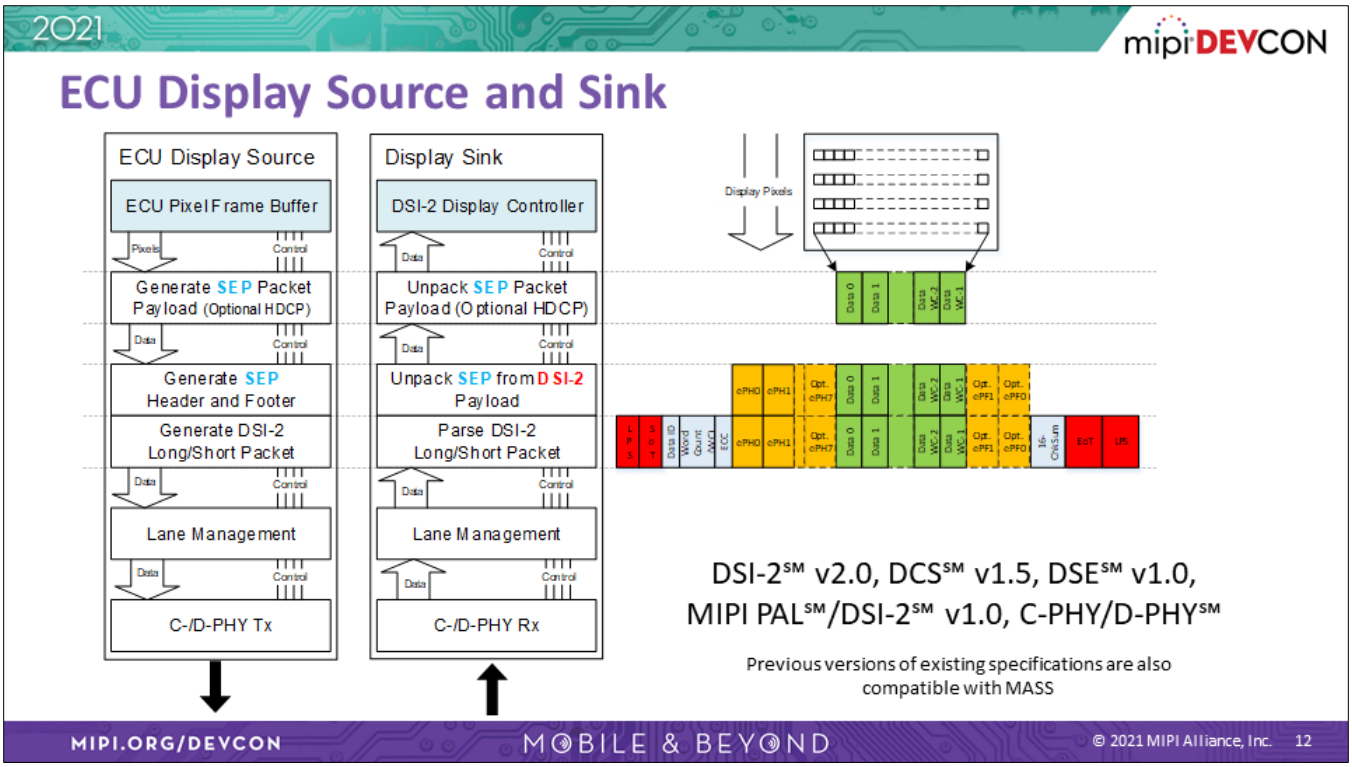


することなく、MASS エンドツーエンドの機能安全とセキュリティを実現することができます。

ジェームズ・ゴーエル: この図では、垂直方向のプロトコルスタックのフォーマットを拡張し、サービス拡張パケット（SEP）がどのようにして ECU ディスプレイソースから最終的なディスプレイガラスまでのエンドツーエンドでピクセルペイロードを保護するかについて、低レベルの詳細を示しています。

左側にはディスプレイソース、A-PHY レシーバーブリッジ、A-PHY トランスミッターブリッジ、最終的なディスプレイシンクの 4 つの主要ブロックがあります。太くて黒い矢印は、C-PHY と D-PHY の接続、ソースとブリッジの接続、そして A-PHY の送信機と受信機の接続の間の主要な物理的接続を示しています。右側には、スタックの各層の詳細なペイロードの内訳が示されています。

次の 2 枚のスライドで上段と下段の詳細を説明します。

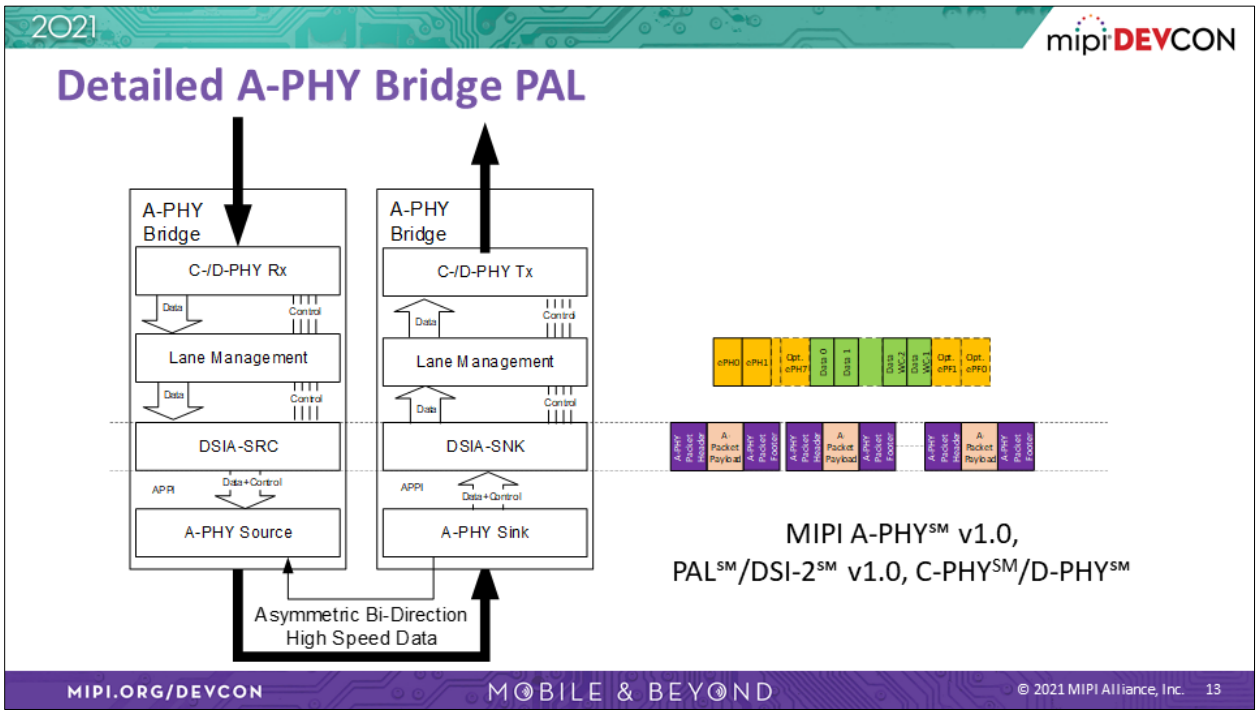


ジェームズ・ゴーエル: こちらの図は、前のスライドにあった詳細ディスプレイプロトコルスタックの上段を拡大したものです。左側のブロックは、ECU ディスプレイ DSI-2 ソースジェネレータで、ディスプレイピクセルを生成し、C-PHY または D-PHY 上のネイティブ DSI-2 を使用して外部の A-PHY ブリッジに向けて送信します。

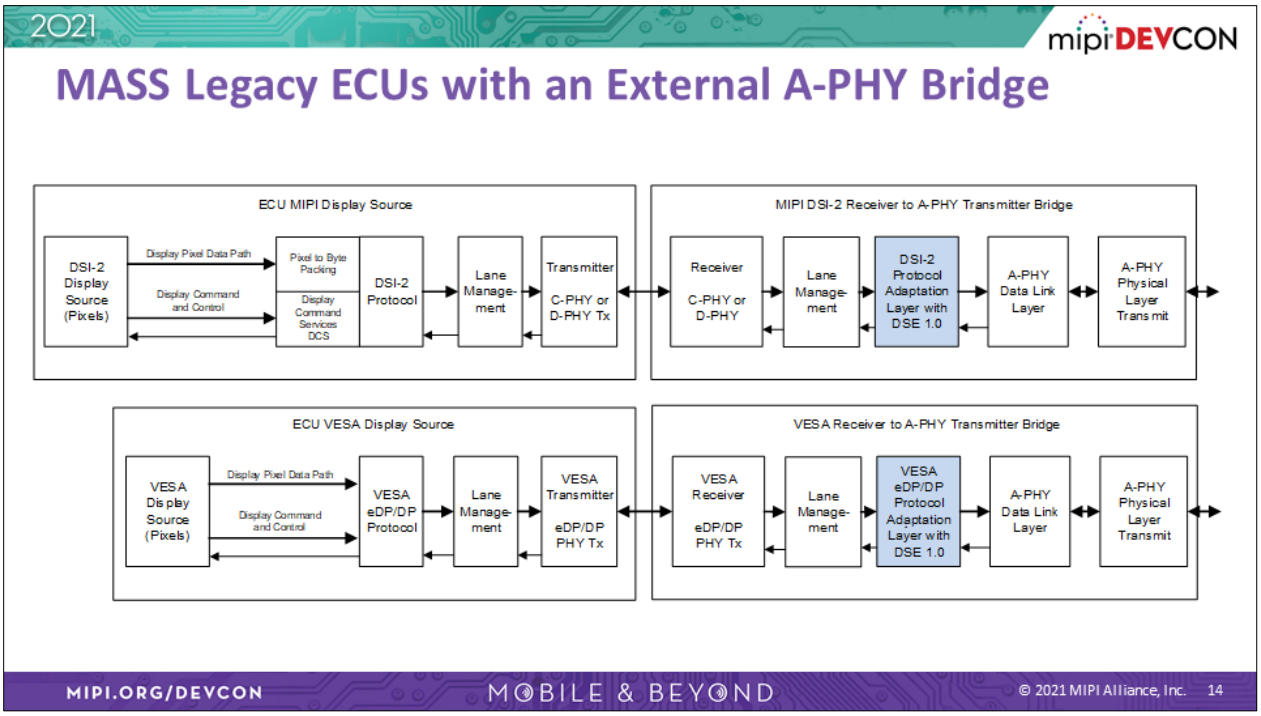
ECU のピクセルフレームバッファの最初のブロックに、ディスプレイシンクに向けて最終的に合成されたデータが格納されています。右端では、ピクセルディスプレイバッファが上から順にラスターでスキャンされ、緑色の表示データバイトが生成されています。このデータバイトはサービス拡張パケットに格納された表示値の計算に使用されます。

SEP 拡張パケットヘッダー（EPH）と拡張パケットフッター（EPF）には、グリーンペイロードに基づいた CRC およびその他の SEP フィールドデータが含まれています。この新しい SEP とデータバイトの情報は、従来の DSI-2 ロングパケットの新しいペイロードを形成します。コマンド＆コントロール情報も SEP ヘッダーとフッターで保護され、DSI-2 ショートパケットと同様のペイロードを形成していることに注意が必要です。これらの DSI-2 パケットは、従来のヘッダとフッタの構造に従い、適切な MIPI 仕様で定義された C-PHY または D-PHY を介して送

信されます。ディスプレイ・シンク・ブロックでは手順が逆になり、各 DSI-2 および SEP のヘッダとフッタが正しいかどうかが検証されます。ディスプレイシンクがエラーを検出した場合、MASS ディスプレイファミリーでは、ECU ソースやディスプレイシンクがどのように対応すべきかの規定はされておらず、適切なエラー処理と報告が行われなければならないとされています。



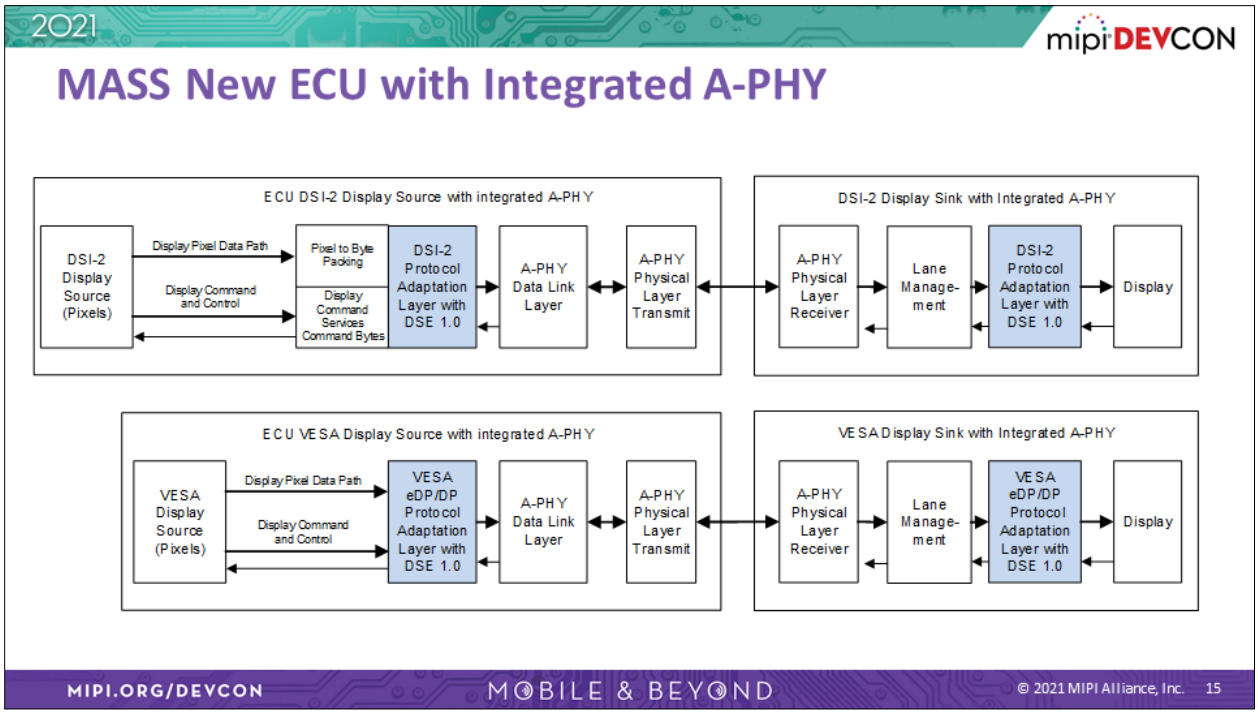
ジェームズ・ゴーエル： この図の左側のブロックは、A-PHY 送信機に続く DSI-2 受信機を、右側のブロックは、DSI-2 送信機に続く A-PHY 受信機を示しています。左側のブリッジが DSI-2 の長い長短パケットと短いパケットを受信し、DSI-2 用のプロトコル・アダプテーション・レイヤー（PAL 仕様）を使用して適切な A-パケットに変換し、A-PHY で送信します。右側のブロックでは、逆の手順を実行して、C-PHY または D-PHY で送信される元の DSI-2 の長いパケットと短いパケット長短パケットを再現します。右端のプロトコルペイロードの記述は、DSI-2 のパケットデータがどのように復元され A-パケットにフレーム化されるかを示しています。この詳細は A-PHY の仕様書に記載されています。



ジェームズ・ゴーエル: この 2 つの図は、従来の垂直方向の車載用プロトコルスタックを、水平方向の詳細なデータパイプラインに変換したものです。DSI-2 や VESA EDP を使用した従来の車載用 ECU ディスプレイは、MASS ディスプレイ仕様を活用することで、機能安全やセキュリティの実現、将来的には A-PHY ブリッジ間のセキュリティの実現をすることができます。

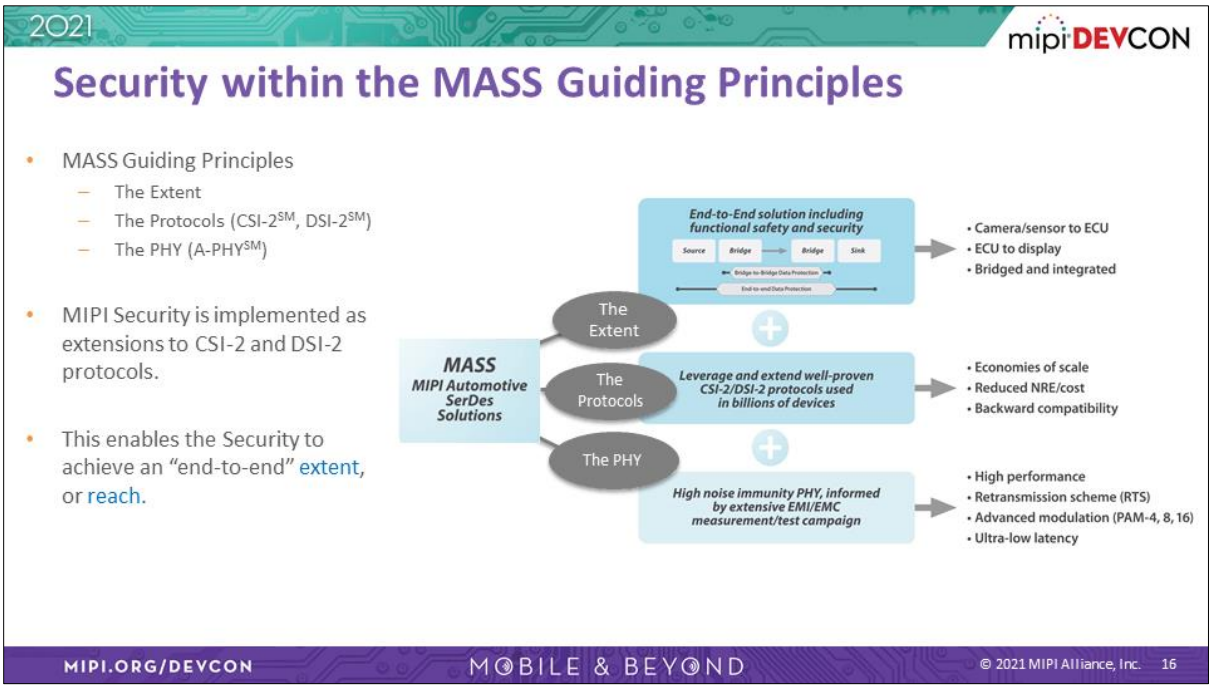
1 つ目の図は、C-PHY または D-PHY のトランスミッターで DSI-2 を使用した MIPI レガシーディスプレイのソースとシンクを示しています。この ECU は、外部の DSI-2-A-PHY ブリッジに接続されています。このレガシーECU は、プロトコルに FuSa やセキュリティが追加されていない従来の DSI-2 インターフェースを備えています。A-PHY ブリッジにデータが受信されると、DSI-2 用のプロトコル・アダプテーション・レイヤーは、画素データが A-PHY SerDes インターフェースを介して伝送される前に、DSE 仕様を使用して、機能安全と、将来的にはセキュリティを追加します。

2 つ目の図はレガシーVESA トランスミッターの同様の配置を示しています。プロトコル・アダプテーション・レイヤー（VESA EDP）は、A-PHY でデータが伝送される前に、機能的安全性と、将来的にはセキュリティを付加します。



ジェームズ・ゴーエル: こちらの図は A-PHY を完全に統合した新しい ECU を使った MASS を示しています。MASS ディスプレイ仕様を完全統合したこれらの新しい ECU では、プロトコル・アダプテーション・レイヤーが使用するディスプレイ・サービス・エクステンションの完全なエンドツーエンドの機能安全性、そして将来的にはセキュリティを利用することができます。これらの図では、プロトコル・アダプテーション・レイヤーは、ピクセル・プロトコルおよびコーディング・パイプラインの最初の段階で ECU に完全に統合されています。これにより、DSI-2 と VESA は、DSI-2 と VESA DP の両方のネイティブストリームに、機能安全、そして将来的にはセキュリティを含めることができます。 ピクセルストリームは、A-PHY から最終的なピクセルプロトコルデコーダを経てガラスに直接届くまでのすべての過程で保護されます。

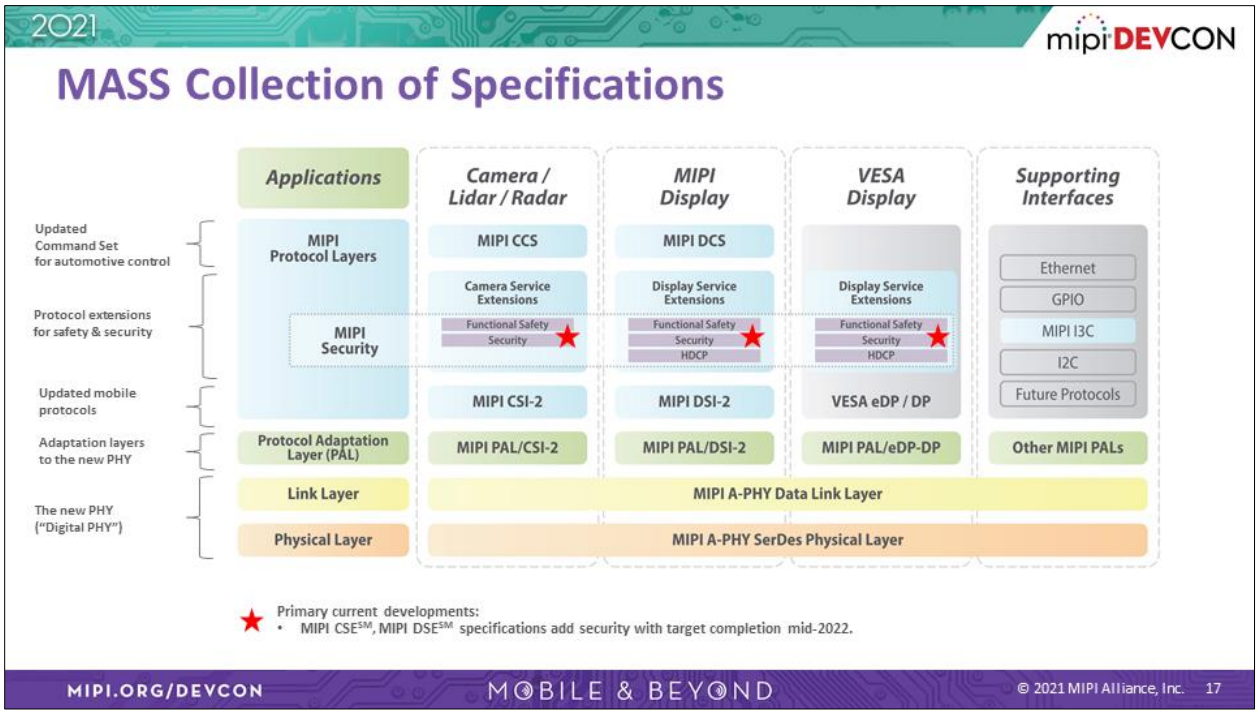
ジェームズ・ゴーエル: このスライドには、私のプレゼンテーションで説明した MASS の詳細の書かれた MIPI 公開資料へのリンクを掲載しています。続いてリックからセキュリティについてご説明しますです。



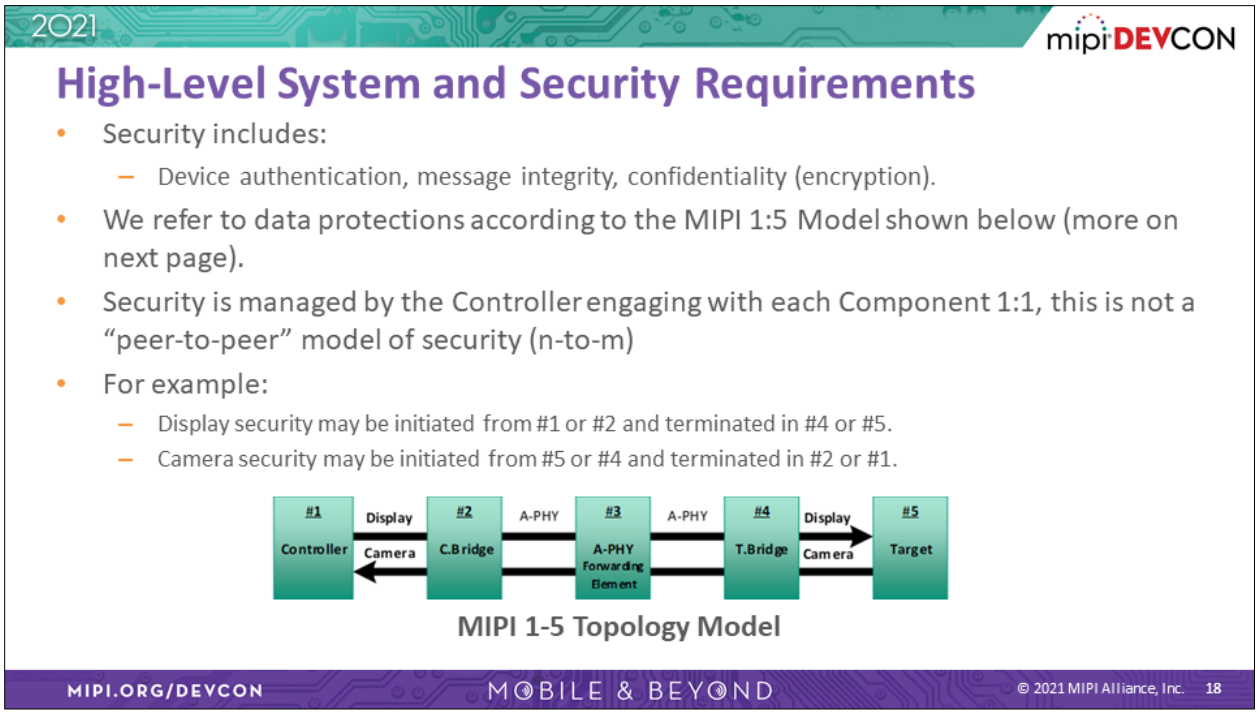
リック・ウィートフェルト：MASS 内セキュリティに関する指針

MIPI のセキュリティは、3 つの指針に基づいています。第一に PHY、第二にプロトコル、そして第三にエクステントです。これらが、MASS セットのプロトコルスイート全体の 3 つの指導原則となっています。

MIPI のセキュリティは、多くのエコシステムで広く使われている CSI-2 および DSI-2 プロトコルの拡張として実装されています。プロトコルそのものにセキュリティを付与することで、エンドツーエンドの範囲（リーチ）を実現します。図の上部には、ブリッジ間およびエンドツーエンドのデータ保護が示されています。



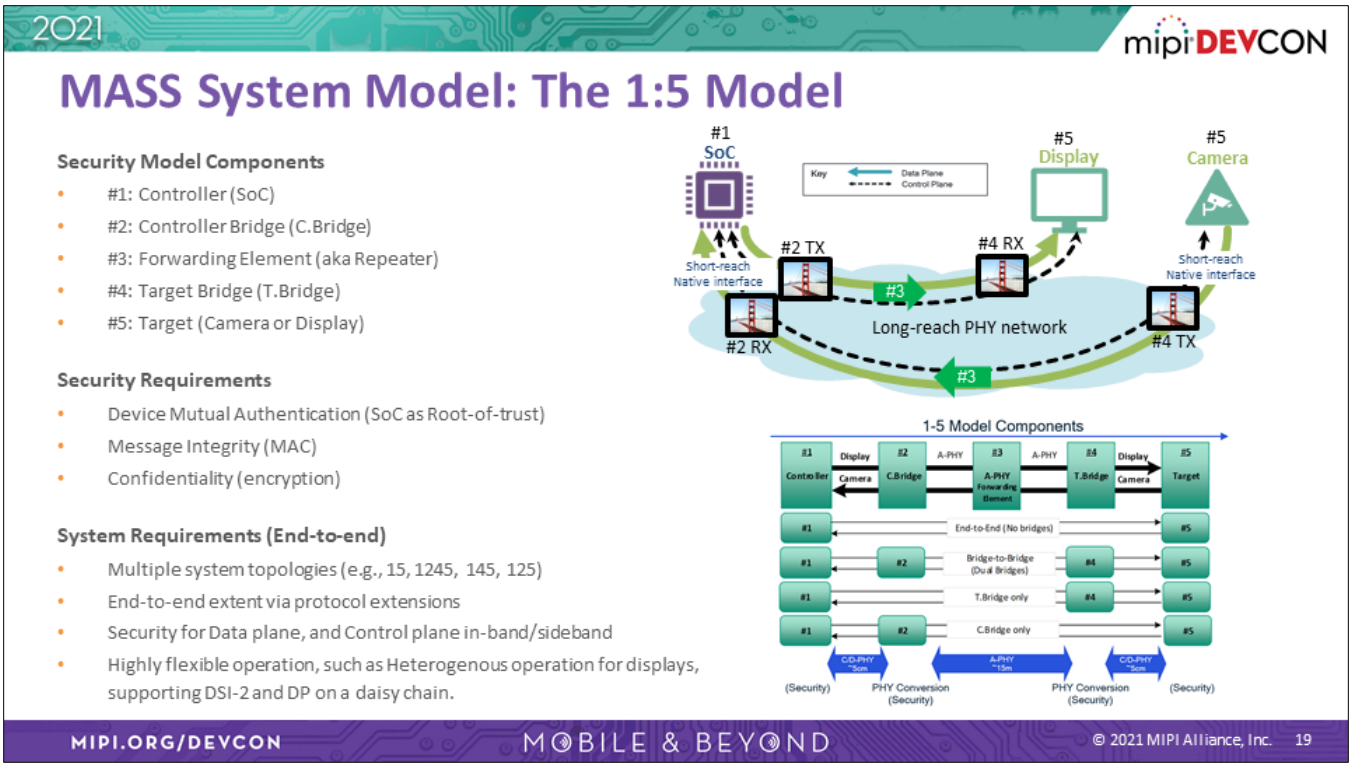
リック・ウィートフェルト: ここでは、MASS コレクションの仕様について説明します。今あるのはカメラとディスプレイという 2 つの主要なアプリケーションです。カメラ、ライダ、レーダは 1 つのカテゴリーに属します。ディスプレイは、MIPI DSI-2 と VESA DisplayPort という 2 つの仕様カテゴリーに分類されます。スタックを見ると、CSI-2、DSI-2、DisplayPort の各プロトコルの上に、機能安全とセキュリティ保護を同一レイヤーで実現した MIPI Security が直付けされています。一番下にあるのは A-PHY データリンク層と物理層です。セキュリティは基本的にプロトコルレベルで実装され、前述のエンドツーエンドのエクステントを実現します。



リック・ウィートフェルト: ここでは、大まかなシステム要件とセキュリティ要件の一部を紹介します。

セキュリティには 3 つの重要な要素があります。1 つはコンポーネント間の信頼性を確立するためのデータ認証、もう 1 つはメッセージが転送中に変更されていないことを保証するメッセージインテグリティ、そしてもう 1 つは暗号化によって達成される機密性です。MIPI におけるデータ保護は、以下の MIPI 1:5 モデルに基づいています。次のページでさらに詳しく説明します。

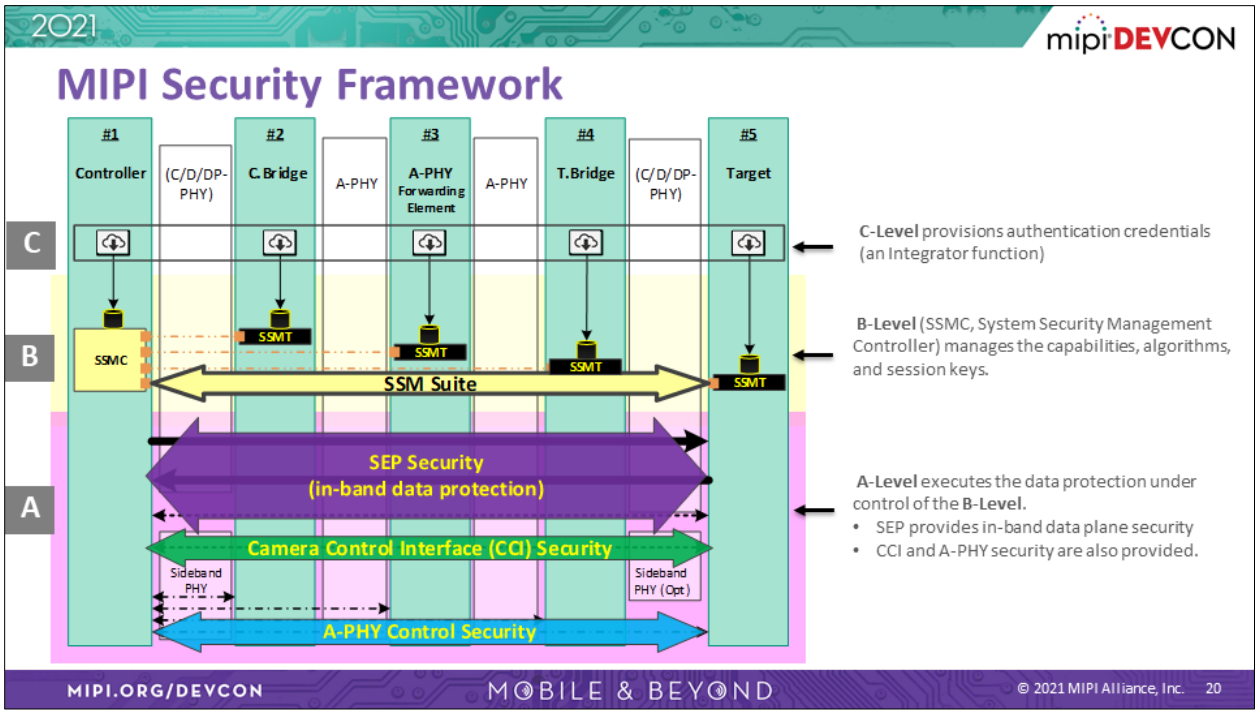
セキュリティは中央管理者が他の各コンポーネントと 1 対 1 で連携して管理され、ピアツーピア型のセキュリティモデルではありません。データのセキュリティが例えばコントローラ#1 またはそのブリッジ#2 で開始され、#4 または#5 で終了した場合、カメラのセキュリティは、逆に#5 や#4 から開始され、#1 のコントローラやそのブリッジで終了する、ということもあります。1:5 モデルについては、次に詳しく説明します。



リック・ウィートフェルト： 1:5 のモデルをもう少し詳しく紹介します。図式的には、#5 と示されたカメラ内のディスプレイが、そのブリッジ#4 を介して A-PHY ネットワーク上に接続されています。A-PHY ネットワークのもう一方の端には SOC に接続された他のブリッジ（それぞれ#2 と#1）があります。このように、システム内では、これらのコンポーネントが様々なバリエーションで存在します。

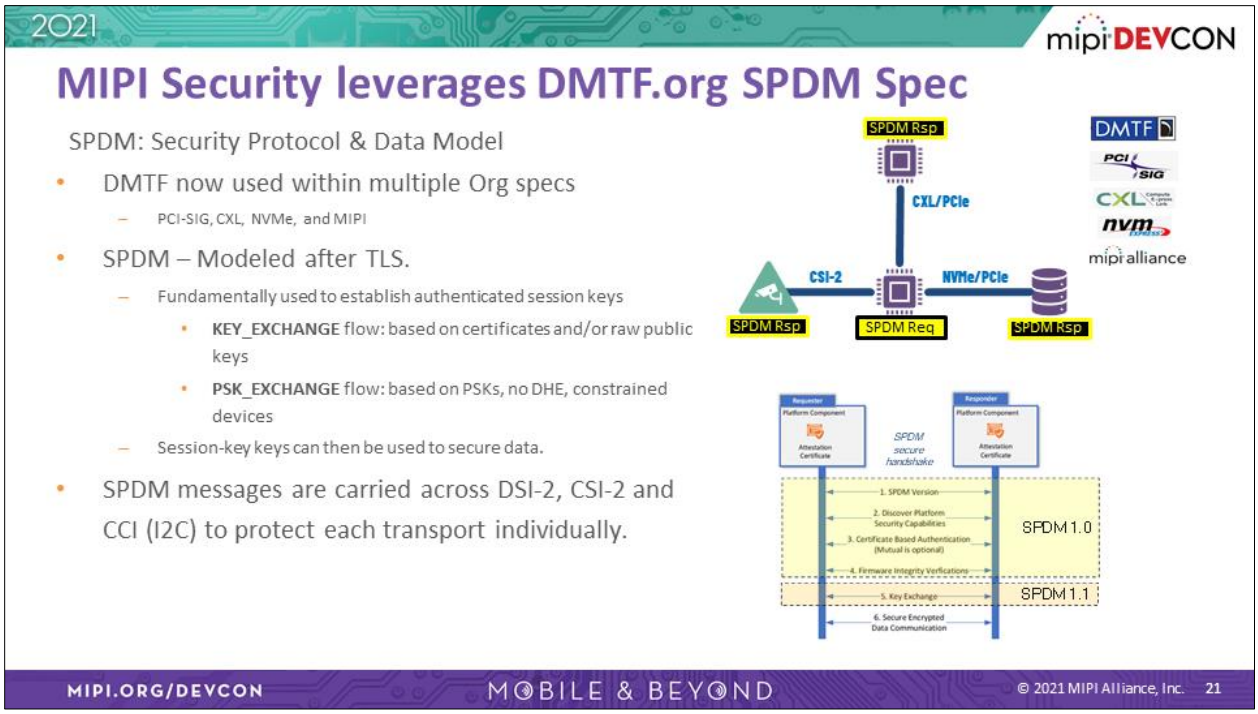
右下には、5 つのすべて存在しています。そのうち 2 つだけが存在し、異なる配置になっています。前回説明したシステム要件のうちの、認証の完全性と暗号化です。

システム要件の中には、基本的にエンドツーエンドの範囲に基づいて、プロトコル層でセキュリティを確保できるものがあります。当然、ディスプレイとカメラのデータプレーンとコントロールプレーンの両方にセキュリティが必要になります。自由度の高い運用が可能となります。例えば、複数のディスプレイをデイジーチェーントポロジーでコントローラに接続するディスプレイの場合、あるディスプレイは DSI-2、別のディスプレイが DisplayPort であっても、エンドツーエンドでのセキュリティに妥協は発生しません。



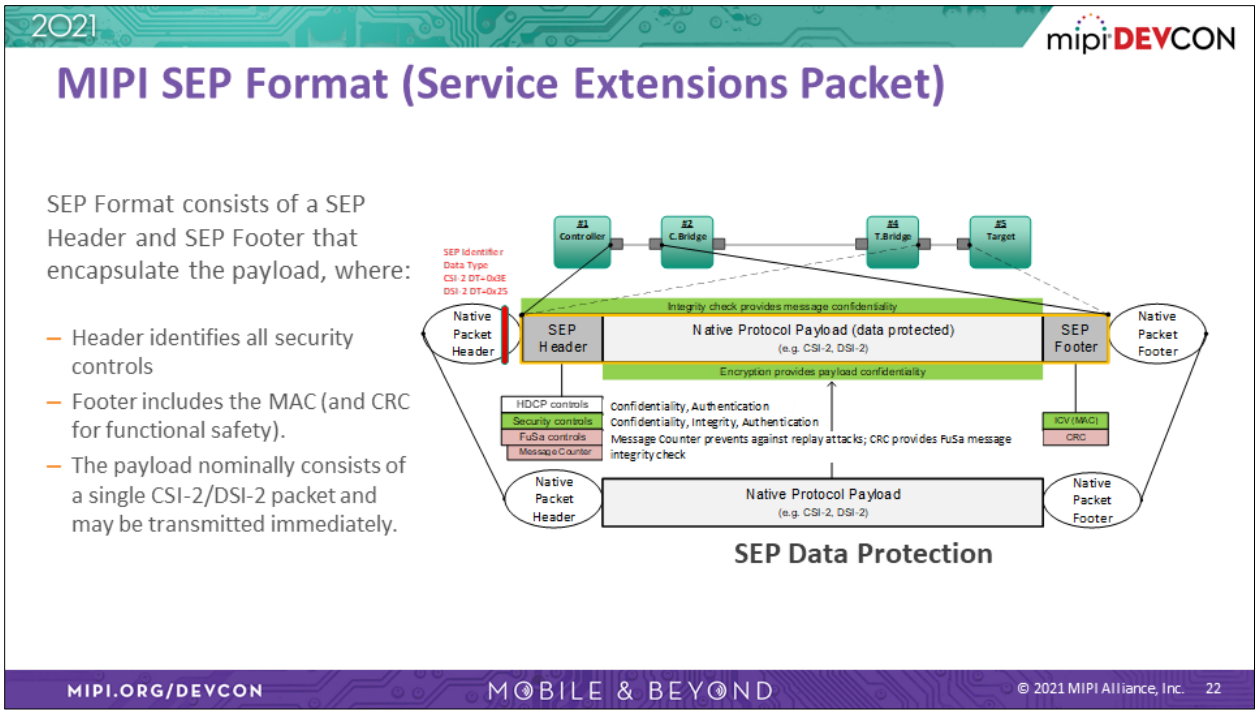
リック・ウィートフェルト：こちらは ABC モデルと呼ばれる MIPI のセキュリティフレームワークです。ここでは、1:5 モデルと ABC モデルを組み合わせています。トップレベルでは、C レベルが認証情報を提供します。これはインテグレーターの機能で、USB スティックが各コンポーネントにキーを押し込むようなイメージです。また、インテグレーターの要望に応じて、無線やイーサネット接続で自動化することもできます。

こちらは現在 MIPI の仕様には含まれていません。MIPI に規定されているのは B レベルと A レベルです。B レベルについては、SSMC（システム・セキュリティ・マネジメント・コントローラ）と呼ばれるソフトウェア機能を想像してください。下位の A レベルでは、上位の B レベルの制御下でデータ保護を実行します。暗号化を行うハードウェアのようなイメージです。メッセージの整合性などを行います。A-PHY、カメラの場合は CCI、ディスプレイとカメラのデータプレーンには SEP セキュリティと、3 レベルのセキュリティをサポートしています。

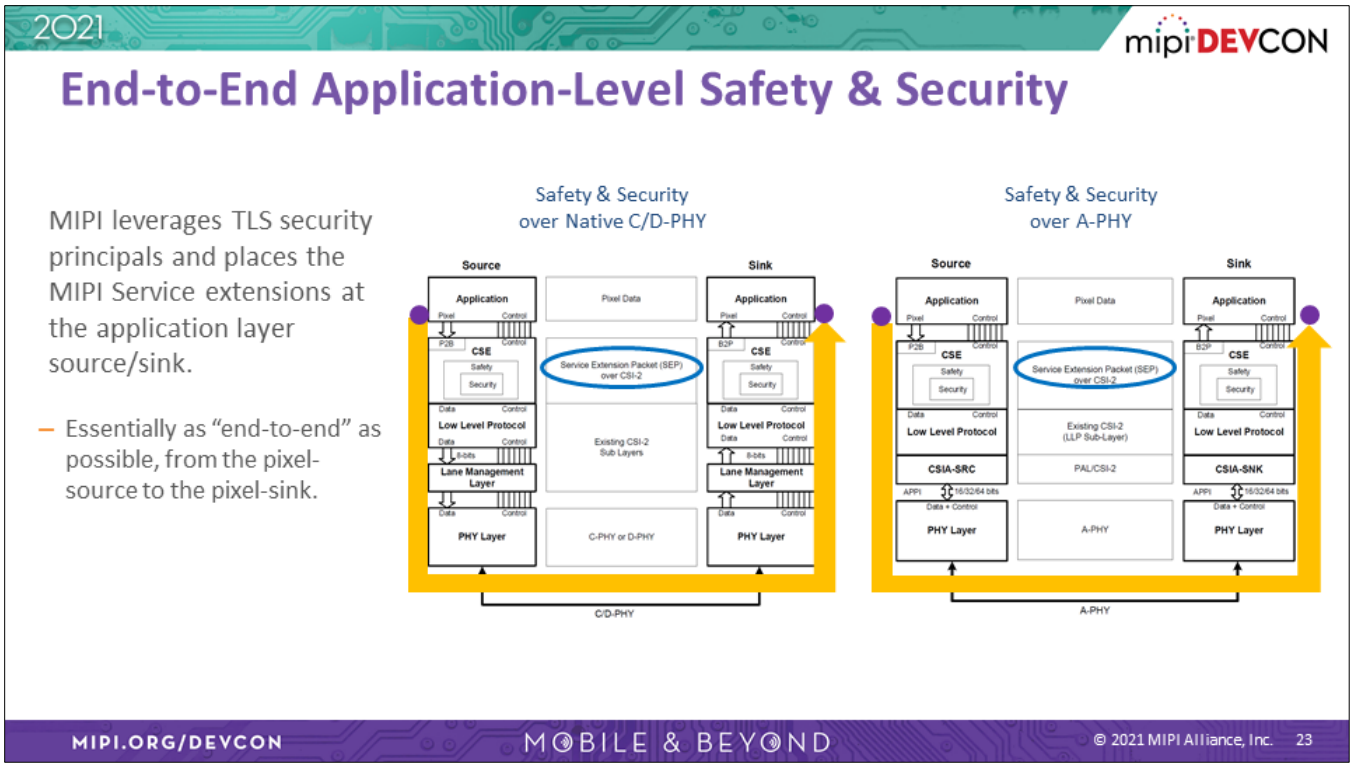


リック・ウィートフェルト： MIPI のセキュリティは、SPDM として知られる DMTF.org の仕様を活用しています。DMTF は、PCI-SIG、CXL、NVMe、そして最近では MIPI など、業界の複数の組織で使用されています。SPDM は、ワールドワイドウェブで使用されているセキュリティフレームワークである TLS をモデルとしています。

ステップは 2 つあります。まず、認証されたセッションキーを確立するためにハンドシェイクが行われます。その後セッションキーを送信することで、データプレーンとコントロールプレーン間のデータを保護します。SPDM メッセージは一般的に定義されていますが、MIPI の場合、前のスライドで示したように、各トランスポートを個別に保護するため、DSI、CSI-2、CCI または I2C に渡って伝送されます。

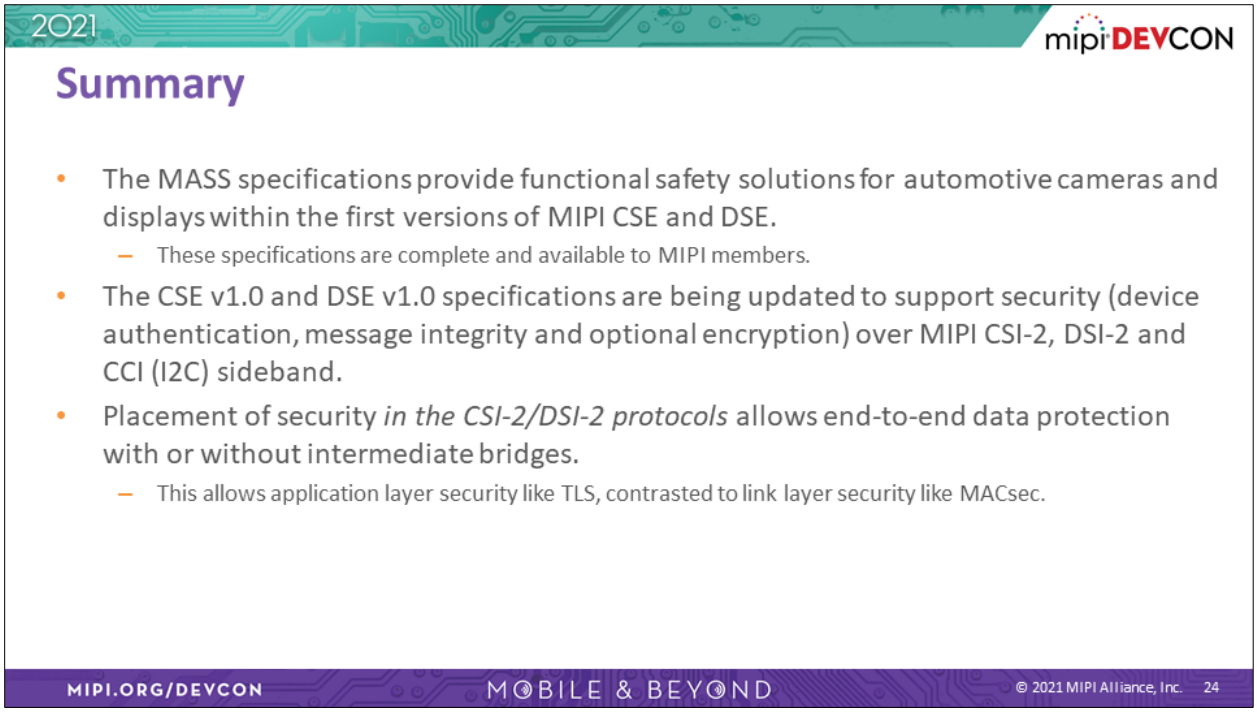


リック・ウィートフェルト： MIPI SEP フォーマット - MIPI セキュリティの重要な要素の一つであるサービス拡張パケットです。SEP フォーマットは、ペイロードをカプセル化する SEP ヘッダーとフッターで構成されています。ペイロードには、CSI-2 や DSI-2 などがあります。右下にあるように、ネイティブプロトコルには、ネイティブパケットヘッダとネイティブパケットフッタがあります。CSI-2 と DSI-2 は市場では通常の実装となっています。上の SEP ヘッダーでは、HDCP や機能安全など、すべてのセキュリティコントロールを識別します。フッターには、整合性チェック値（MAC）や CRC などの重要な要素が含まれています。ここでのペイロードは、一般的に CSI-2 パケットまたは DSI-2 パケットで構成されており、保護された後はすぐに送信することができます。



リック・ウィートフェルト： エンドツーエンドのアプリケーションレベル

こちらは MIPI セキュリティの重要なコンポーネントです。MIPI セキュリティを TLS に倣ってモデル化し、アプリケーション層、ソース、シンクに MIPI サービスの拡張機能を配置することが選択されています。ピクセルソースからピクセルシンクまで、可能な限りエンドツーエンドとなっています。図の左にある 2 つの例は、C-PHY、D-PHY を使ったアプリケーションソースからアプリケーションシンクへのトランスポートを示しています。右側も同じですが、こちらは長距離の A-PHY で伝送されています。紫のドットは、エンドツーエンドの性質、アプリケーション・プロセスのどこでピクセルが作られ、どこでピクセルが消費されるかを示しています。



リック・ウィートフェルト：まとめますと、MASS 仕様は、現在の CSE と DSE の最初のバージョンのカメラとディスプレイ向け機能安全ソリューションを提供するものです。仕様は完成しており、MIPI メンバーに提供されています。CSE v1.0 および DSE v1.0 の仕様は、CSI-2、DSI-2、および CCI（I2C）サイドバンド上のセキュリティ対応に向け現在更新中です。MIPI セキュリティの重要な要素の 1 つはプロトコル自体にセキュリティを配置することで、中間ブリッジの有無にかかわらず、エンドツーエンドのデータ保護を可能にします。また、MACsec のようなリンク層のセキュリティではなく、TLS のような層のセキュリティを適用することができます。


mipi
DEVCON
MIPI ALLIANCE DEVELOPERS CONFERENCE
28-29
SEPTEMBER
2021
THANK
YOU!
MIPI.ORG/DEVCON
MOBILE & BEYOND
© 2021 MIPI Alliance, Inc. 25