

Application Note

FPD-Link III デシリアライザの CSI-2 集約帯域幅の明確化

Jiawei Hu, Joey Jin

概要

ADAS FPD-Link III デシリアライザ デバイスは、複数のリモート シリアルライザからセンサ データを取得し、MIPI CSI-2 ビデオ形式を使用してデータをプロセッサに集約するよう設計されています。適切なデバイスを選択する際に、FPD-Link III デシリアライザ デバイスの入および出力帯域幅の正確な計算についてより深く理解することが重要です。本アプリケーション ノートは、ADAS FPD-Link III デシリアライザ デバイスの CSI-2 アグリゲータの詳細を解説し、複数のイメージ センサを集約する際に入力および出力帯域幅を考慮する方法についてガイダンスを提供します。

1 概要

FPD-Link III デシリアライザ デバイスは、2 個または 4 個の受信シリアライザからのビデオ ストリームを MIPI CSI-2 インターフェイスを使用してプロセッサへ集約することができます。CSI-2 プロトコルは、ビデオ データをライン レベルでパケットに分割するため、各イメージ センサのライン長は、デシリアライザ出力で集約された帯域幅を決定する上で重要な要素です。CSI-2 ポートでデータ転送をする際、D-PHY 出力ポートは低消費電力 (LP) モードと高速 (HS) モードの間で遷移します。HS モードでは、ロング パケット (各ロング パケットは 1 つのビデオ ラインを含む) やショート パケット (フレーム開始やフレーム終了などのビデオ タイミング情報を含む) などの CSI-2 データ パケットが転送されます。LP モードでは、インターフェイスはアイドル状態で、インターフェイス上でデータは送信されません。本アプリケーション ノートでは、カメラ SerDes に関連する MIPI CSI-2 の概要、FPD-Link III デシリアライザ CSI-2 集約機能の詳細を説明し、FPD-Link デシリアライザ I デバイスの入出力帯域幅を評価する方法に関するガイダンスを提供します。

2 ADAS FPD-Link III デシリアライザの概要

ADAS CSI-2 FPD-Link III デシリアライザ製品は、2 系統または 4 系統の FPD-Link 入力のどちらか、およびシングルまたはデュアル MIPI CSI-2 出力のどちらかをサポートしています。表 2-1 には、FPD-Link III デシリアライザ製品ラインアップでサポートされているデバイスのデータレートがリストされています。

表 2-1. ADAS FPD-LINK デシリアライザ デバイス

部品番号	FPD-Link RX ポート	CSI-2 ポート	CSI-2 公称出力帯域幅	ポートごとの最大 CSI-2 入力帯域幅
DS90UB936-Q1	2	1x4 レーン	6.656Gbps	2.528Gbps
		2x2 レーン		
DS90UB954-Q1	2	1x4 レーン	6.656Gbps	3.328Gbps
		2x2 レーン		
DS90UB964-Q1	4	2x4 レーン	12.8Gbps (6.4Gbps/ポート)	1.330Gbps
DS90UB962-Q1	4	1x4 レーン	6.656Gbps	2.528Gbps
DS90UB662-Q1	4	1x4 レーン	6.656Gbps	2.528Gbps
DS90UB960-Q1	4	2x4 レーン	13.312Gbps (6.656Gbps/ポート)	3.328Gbps

3 MIPI CSI-2 の概要

3.1 MIPI CSI-2 フレーム分解

MIPI CSI-2 には、ロング パケットおよびショート パケットの 2 種類のパケット タイプがあります。ショート パケットは 32 ビットのフレーム構造を使用し、信号フレーム開始、フレーム終了、またはソースからのその他の同期情報に一般的に使用されます。ロング パケットは、転送されるデータのフォーマットに基づいて可変バイト数を持ち、通常は 1 つのビデオラインの転送に使用されます。各ロング パケットおよびショート パケットには、パケットのタイプ (データ ID) および情報のソースである仮想チャネル (VC) に関する情報を保存するヘッダーがあります。

CSI-2 を介して転送される 1 つの典型的なビデオ フレームは、次の項目に分割できます。

- フレーム スタート – 32 ビットのショート パケット
- 低消費電力状態 (LPS)
- 有効なビデオ データの最初の行 (ロング パケット) はさらに次のように分割されます。
 - 32 ビットのパケット ヘッダー (パケット ヘッダー)
 - 有効なデータ、例えば RAW12 の場合、2 ピクセルは 24 ビットです
 - 16 ビットのパケット フッター (パケット フッター)
- 低消費電力状態 (LPS)
- 有効なビデオ データの 2 行目
- 低消費電力状態 (LPS)
- 有効なビデオ データの 3 行目
- ...
- フレーム エンド — 32 ビットのショート パケット

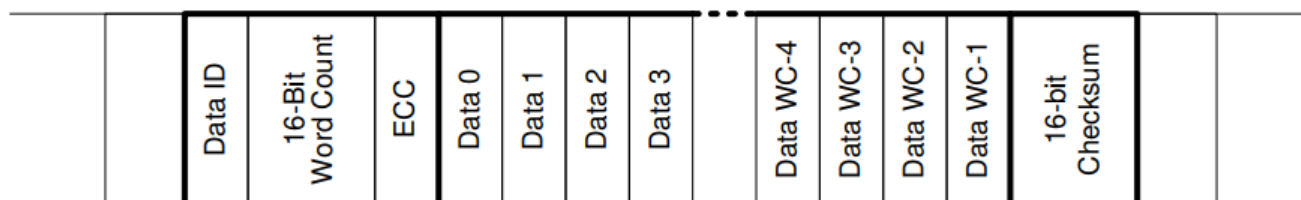


図 3-1. MIPI CSI-2 ロング パケット



図 3-2. MIPI CSI-2 ショート パケット

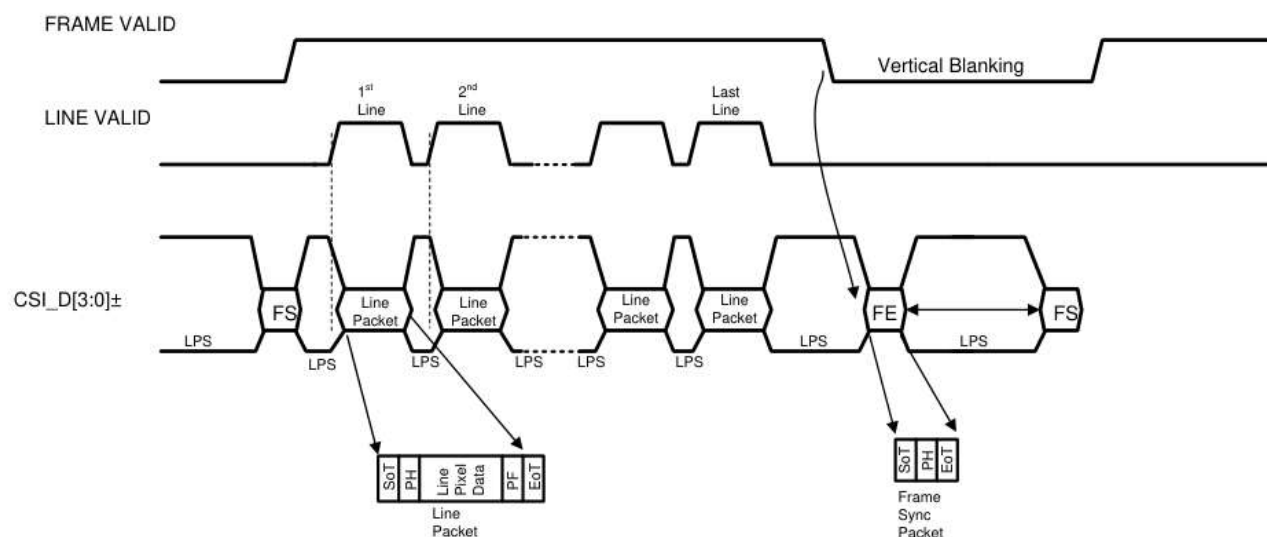


図 3-3. ロングライン パケットおよびショート フレーム同期パケット

3.2 MIPI CSI-2 オーバーヘッドについて

ロング パケットとショート パケット間、および異なるロング パケット間では、CSI-2 トランスミッタは低消費電力状態 (LPS) に移行する必要があります。トランスミッタは、低消費電力信号モードから高速信号モードに遷移することも求められます。LPS 中および遷移に関連する時間中、トランスミッタはアイドル状態であり、送信可能なデータ パケットはありません。これは、CSI-2 の出力帯域幅が減少することを意味します。

CSI-2 高速データ転送の最小オーバーヘッドは、 T_{LPX} 、 $T_{HS-PREPARE}$ 、 $T_{HS-ZERO}$ 、 $T_{HS-SYNC}$ 、 $T_{HS-TRAIL}$ 、および $T_{HS-EXIT}$ で構成されています (図 3-3 を参照)。不連続 CSI-2 クロック モードで動作している場合、帯域幅はさらに低減します。これは、クロック レーンが LP モードの場合でも、または HS モードに遷移している間も、データを送信できないため、CSI-2 オーバーヘッドが増加するためです (図 3-4 を参照)。

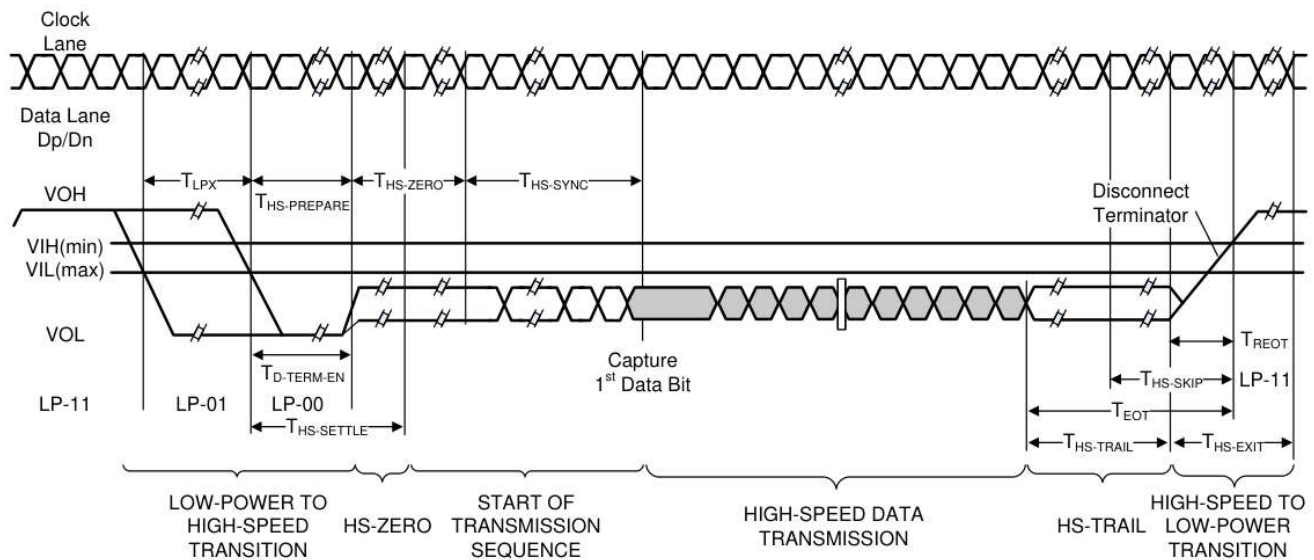


図 3-4. クロック伝送モードと低消費電力モードとの間のクロック レーンの切り替え

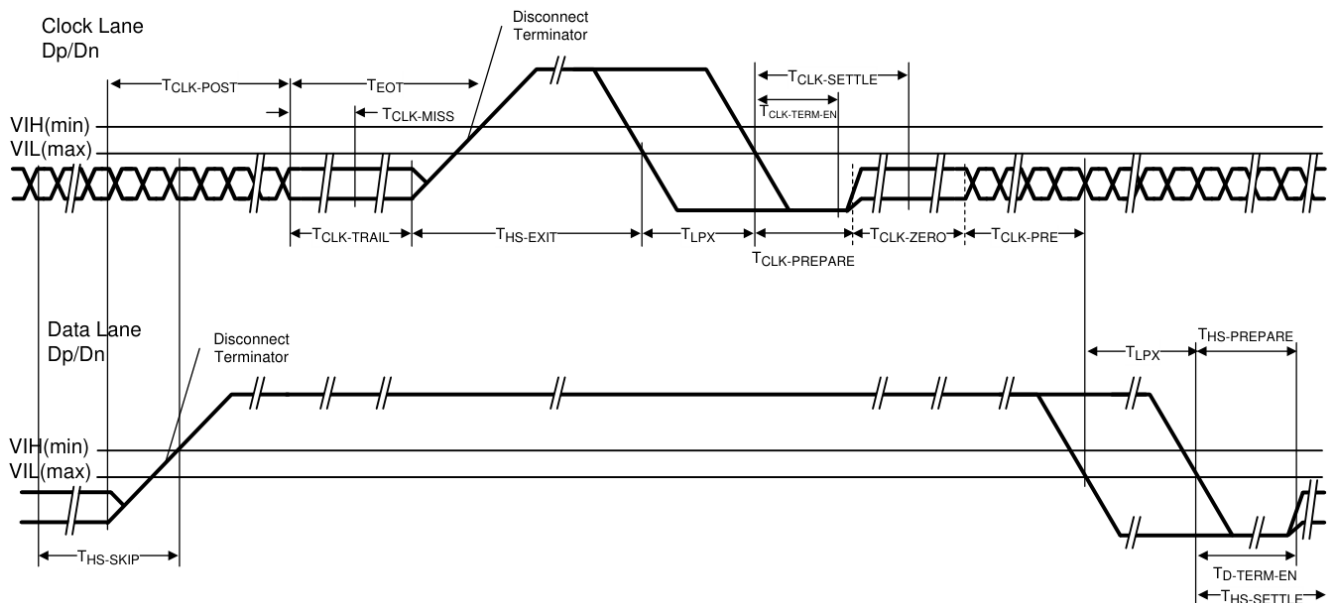


図 3-5. 高速データ送信バースト

4 CSI-2 入力帯域幅の計算

集約の目的で CSI-2 入力帯域幅を考慮する場合、CSI-2 のパケット化はパケットレベルで発生し、CSI-2 レーンの LP モードへの入出力に伴ってオーバーヘッドが発生するため、各ビデオラインに必要な帯域幅を評価する必要があります。したがって、式 1 は平均入力帯域幅を表しますが、デシリアライザ CSI-2 出力で各入力ストリームが消費する帯域幅を判断するには十分ではありません。

$$\text{InputBW} = H_{\text{total}} * V_{\text{total}} * F_{\text{ps}} * \text{Bitsperpixel} \quad (1)$$

代わりに、集計ユースケースを評価する際には、入力帯域幅を次のように計算する必要があります。

$$\text{HorizontalLineTime} = \frac{1}{F_{\text{ps}} * V_{\text{total}}} \quad (2)$$

$$\text{LineinputBW} = \frac{H_{\text{active}} * \text{Bitsperpixel}}{\text{HorizontalLineTime}} \quad (3)$$

ここで、

- H_{total} は、水平方向のライン総長 (ピクセル単位) です
- V_{total} はラインの総数です
- ビット/ピクセルは、ピクセルあたりのビット数です
- F_{ps} はフレーム リフレッシュ レートです

5 CSI-2 出力帯域幅の計算

5.1 CSI-2 集約の概要

図 5-1 に示すように、FPD-Link レシーバ入力から CSI-2 出力ヘデータを集約するには、いくつかのステップがあります。

- FPD-Link 入力は、各 FPD-Link レシーバ (RX) にリデコードされ、対応する RX バッファに保存されます
- 有効なデータが準備完了している場合、CSI アグリゲータは、有効化されているビデオ バッファを順次切り替えます
- 準備完了している場合、CSI アグリゲータはデータを抽出し、割り当てられた CSI-2 ポートにデータを送信します

各 RX バッファのデータは 1 つの CSI アグリゲータによってのみ抽出され、自動的にクリアされます。

CSI 集約のプロセス中には、FPD-Link ハブデバイスには、ベストエフォート型ラウンドロビン転送および同期転送の 2 つの主要なタイプの CSI-2 転送モードがあります。ベストエフォート型ラウンドロビン転送は、最も一般的でシンプルな集約方法です。ベストエフォート型ラウンドロビン転送モードと比較して、同期転送では有効化されている RX ポートを同期する必要があり、異なる CSI-2 フレーム構造に基づいて以下の 3 種類の転送モードに分類できます。ユーザーは対応するデシリアライザのデータシートを参照して、転送モードの詳細を確認できます。

- 基本同期転送
- ライン インターリーブ転送
- ライン連結転送

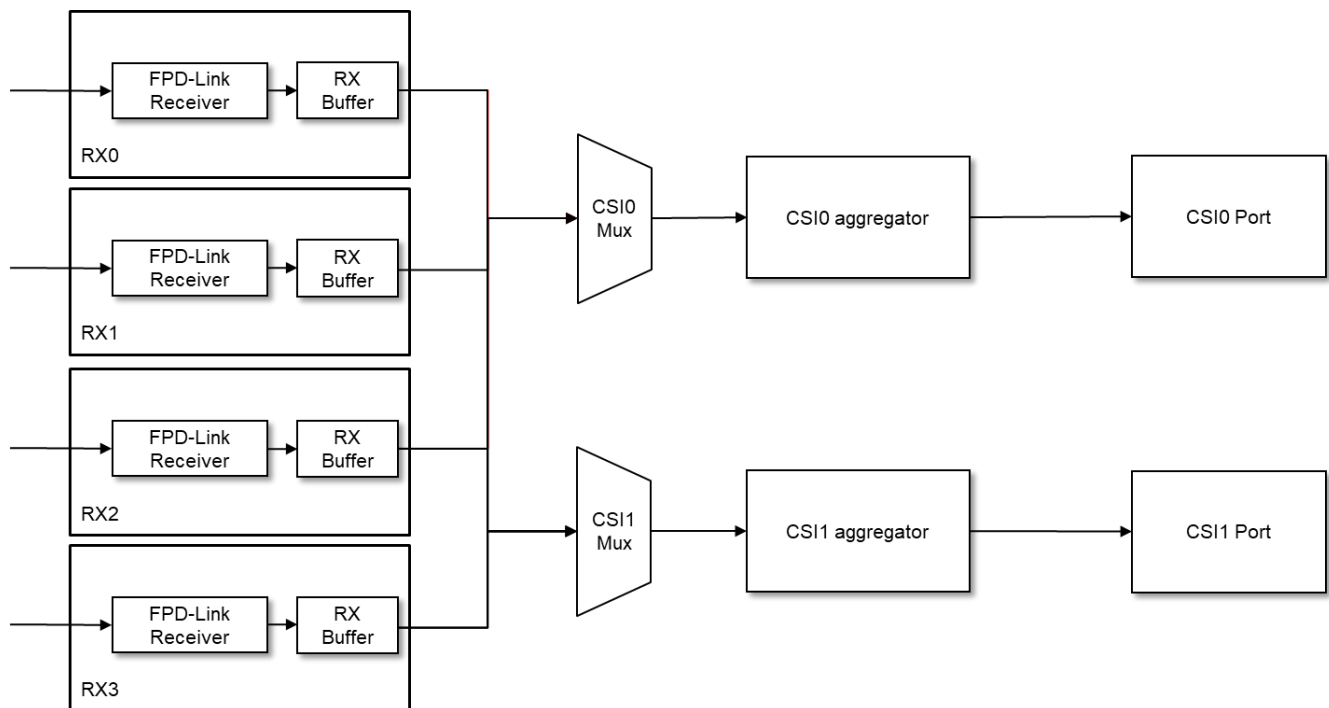


図 5-1. CSI-2 集約ブレイクダウン

5.2 CSI-2 出力帯域幅の計算

CSI-2 オーバーヘッドは、転送モードによって異なります。例えば、図 5-2 および図 5-3 に示すように、4 つの RX ポートが有効化されているライン インターリーブ転送には、各 RX ポートから送信される各ロング パケット間に 1 つの LP11 状態が含まれます。ライン連結転送では、4 つの対称型ビデオラインが CSI-2 出力上で 1 つのロング パケットに結合されるため、受信からの 4 つのロング パケットごとに 1 つの LP11 状態のみが含まれます (4 つの RX ポートが有効化されている場合)。

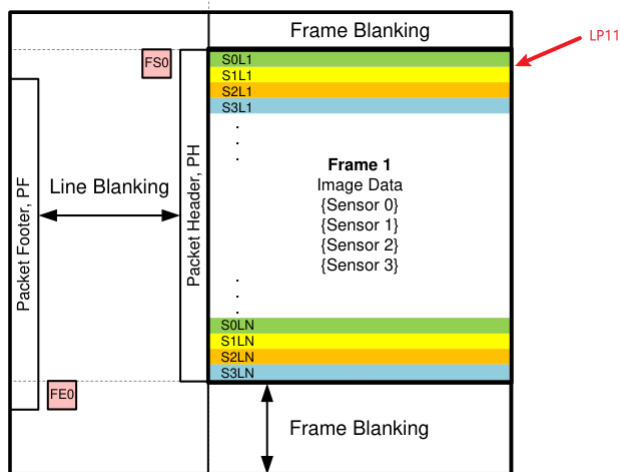


図 5-2. ライン インターリーブ CSI-2 転送形式 (各 1 つのロング パケット間に LP11)

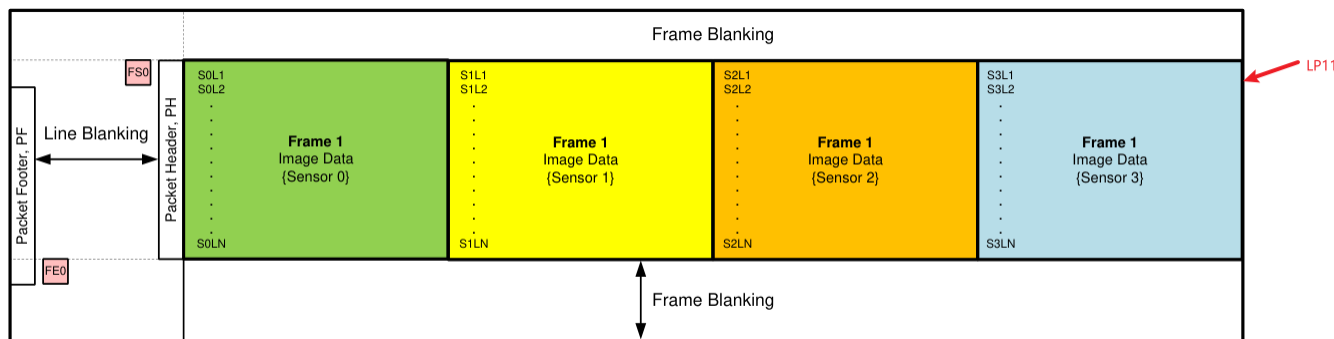


図 5-3. ライン連結 CSI-2 転送形式 (4 つの受信ラインごとに LP11)

ライン連結転送の帯域幅は、次の式で計算できます。

$$\text{OutputBW} = \frac{N_{\text{sensor}} * H_{\text{active}} * \text{Bits/pxl}}{\frac{N_{\text{sensor}} * H_{\text{active}} * \text{Bits/pxl}}{N_{\text{CSI}} * F_{\text{csi}}} + T_{\text{csi overhead}}} \quad (4)$$

ベストエフォート型ラウンドロビン (すべての RX ポートで同一の **Hactive**)、基本同期転送、ライン インターリーブ転送の場合:

$$\text{OutputBW} = \frac{H_{\text{active}} * \text{Bits/pxl}}{\frac{H_{\text{active}} * \text{Bits/pxl}}{N_{\text{CSI}} * F_{\text{csi}}} + T_{\text{csi overhead}}} \quad (5)$$

ただし、CSI 転送モードがベストエフォート型ラウンドロビンであり、各 RX ポートの **Hactive** が異なる場合、計算方法は異なります。

$$\text{RepeatingTime} = \text{LCM}(\text{LineTime0}, \text{LineTime1}, \text{LineTime2}, \text{LineTime3}) \quad (6)$$

$$\text{SensorNLines} = \frac{\text{RepeatingTime}}{\text{SensorNLineTime}} \quad (7)$$

$$\text{TotalLines} = \text{Sensor0Lines} + \text{Sensor1Lines} + \text{Sensor2Lines} + \text{Sensor3Lines} \quad (8)$$

$$\text{TotalRepeatingBits} = \text{Sensor0Lines} * \text{BitsPerLine} + \text{Sensor1Lines} * \text{BitsPerLine} + \text{Sensor2Lines} * \text{BitsPerLine} + \text{Sensor3Lines} * \text{BitsPerLine} \quad (9)$$

$$\text{OutputBW} = \frac{\text{TotalRepeatingBits}}{\frac{\text{TotalRepeatingBits}}{\text{NCSI} * \text{FCSI}} + \text{TotalLines} * \text{TcsiOverhead}} \quad (10)$$

ここで、

- N_{sensor} は、DS90UB960-Q1 に接続されているセンサの数です
- H_{active} は、有効なビデオ フレームの水平方向のライン長 (ピクセル単位) です
- ビット/ピクセルは、ピクセルあたりのビット数です
- N_{CSI} は、CSI-2 レーンの数です
- F_{CSI} は、レーンあたりの CSI-2 TX 周波数 (Hz 単位) です
- $T_{\text{CSI_Overhead}}$ は、CSI-2 オーバーヘッドです

デフォルトの CSI オーバーヘッドは表 5-1 に示されています。

表 5-1. デシリアライザ CSI-2 トランスミッタのデフォルト オーバーヘッド対データ レート

CSI-2 TX のデータ レート	CSI-2 TX オーバーヘッド、 $t_{\text{CSI_overhead}}$ [μs]	
	連続 CSI-2 クロック (0x33[1]=1)	不連続 CSI-2 クロック (0x33[1]=0)
1.664 Gbps	0.73	1.68
1.6 Gbps	0.76	1.74
1.5Gbps	0.725	1.65
1.472 Gbps	0.83	1.89
1.2 Gbps	0.91	1.92
800Mbps	0.93	2.06
400Mbps	1.30	2.65

この式から、データレートおよび転送モードに加えて、CSI-2 タイミングパラメータ T_{LPX} 、 $T_{\text{HS-PREPARE}}$ 、 $T_{\text{HS-ZERO}}$ 、 $T_{\text{HS-SYNC}}$ 、 $T_{\text{HS-TRAIL}}$ 、 $T_{\text{HS-EXIT}}$ を調整することで、CSI-2 出力の効率も向上させることができます。特定の CSI-2 RX (SOC CSI-2 入力など) に対して各パラメータを調整し、調整中に SoC が CSI-2 エラーを受信しないことを確認します。タイミング パラメータはポート固有です。以下は DS90UB960-Q1 のリファレンス疑似コードの例です。

```
# Set CSI-2 timing parameters for CSI0
writeI2C(0xB0,0x02) # set auto-increment, page 0
writeI2C(0xB1,0x40) # CSI-2 Port 0
writeI2C(0xB2,0x83) # TCK Prep
writeI2C(0xB2,0x8D) # TCK Zero
writeI2C(0xB2,0x87) # TCK Trail
writeI2C(0xB2,0x87) # TCK Post
writeI2C(0xB2,0x83) # THS Prep
writeI2C(0xB2,0x86) # THS Zero
writeI2C(0xB2,0x84) # THS Trail
writeI2C(0xB2,0x86) # THS Exit
writeI2C(0xB2,0x84) # TLPX
# Set CSI-2 timing parameters for CSI1
writeI2C(0xB0,0x2) # set auto-increment, page 0
writeI2C(0xB1,0x60) # CSI-2 Port 1
writeI2C(0xB2,0x83) # TCK Prep
writeI2C(0xB2,0x8D) # TCK Zero
writeI2C(0xB2,0x87) # TCK Trail
writeI2C(0xB2,0x87) # TCK Post
writeI2C(0xB2,0x83) # THS Prep
writeI2C(0xB2,0x86) # THS Zero
```

```
writeI2C(0xB2,0x84) # THS Trail  
writeI2C(0xB2,0x86) # THS Exit  
writeI2C(0xB2,0x84) # TLPX
```

6 まとめ

集約の目的で CSI-2 入力帯域幅を考慮する場合、CSI-2 のパケット化はパケットレベルで発生し、CSI-2 レーンの LP モードへの入出力に伴ってオーバーヘッドが発生するため、各ビデオラインに必要な帯域幅を評価する必要があります。CSI-2 出力帯域幅の観点からすると、低消費電力状態および低消費電力モードと高速モード間の遷移時間中はデータを転送できないため、出力帯域幅は公称データレートよりも低減します。このアプリケーション ノートでは、FPD-Link デシリアライザの内部 CSI-2 アグリゲータ プロセスを分解し、異なる CSI-2 転送モードを使用する場合の正確な入力および出力帯域幅を計算します。

7 参考資料

1. テキサス インスツルメンツ、[DS90UB960-Q1](#)、デュアル MIPI CSI-2 ポートを備えた 4.16-Gbps FPD-Link III クラウド デシリアライザ ハブ データシート。
2. テキサス インスツルメンツ、[2MP/60fps カメラおよびレーダーの MIPI CSI-2 出力を備えた DS90UB954-Q1 デュアル 4.16 Gbps FPD-Link III デシリアライザ ハブ データシート](#)
3. テキサス インスツルメンツ、[CSI-2 集分解約](#)、ビデオ。

8 改訂履歴

資料番号末尾の英字は改訂を表しています。その改訂履歴は英語版に準じています。

Changes from Revision A (June 2026) to Revision B (July 2026)	Page
• 作成者名を更新.....	1

Changes from Revision * (March 2026) to Revision A (June 2026)	Page
• ドキュメント全体にわたって表、図、相互参照の採番方法を更新.....	2

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、TI は一切の責任を拒否します。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月