

CrossLink-NX

MIPI DSI (Hard D-PHY) to FPD-LINK

リファレンスデザインユーザーマニュアル

macnica

Aug-2022

免責事項

本ドキュメントに含まれる情報、及び本ドキュメントの対象であるリファレンスデザインの内容、動作、特性、品質に対して、マクニカはいかなる保証も行いません。

また、本ドキュメントに含まれる情報、及び本ドキュメントの対象であるリファレンスデザインは全て現状有姿にて提供され、これに対する改版や技術サポートのご依頼に関しては理由の如何を問わずお控え頂くようお願いしております。お客様ご用途における使用可否の判断、使用の際の動作確認、お客様製品への実装における適合性や安全性の確認、法的要件の確認はお客様にて実施頂きますようお願いいたします。これらに対してもマクニカは一切の責任を負うことが難しく、いかなる保証もいたしかねます。また、本ドキュメントの情報、及びドキュメントの対象であるリファレンスデザインはマクニカの所有物であり、予告なしに変更を加えることがございますので予めご了承ください。

Table of Contents

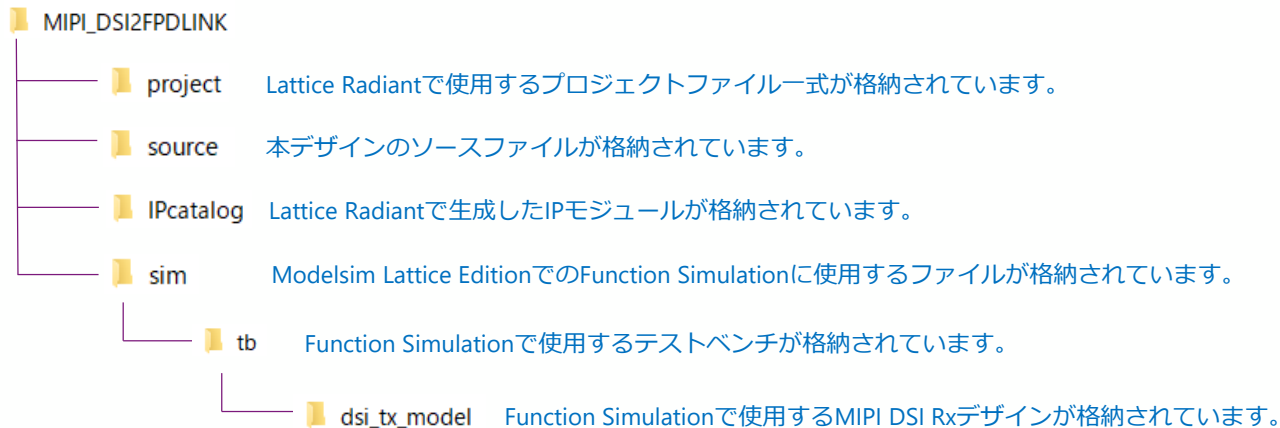
1. デザイン概要
2. デザインフォルダ構成
3. 回路ブロック図
4. デザインポート説明
5. 各モジュール概要
6. ファンクションシミュレーション

1. デザイン概要

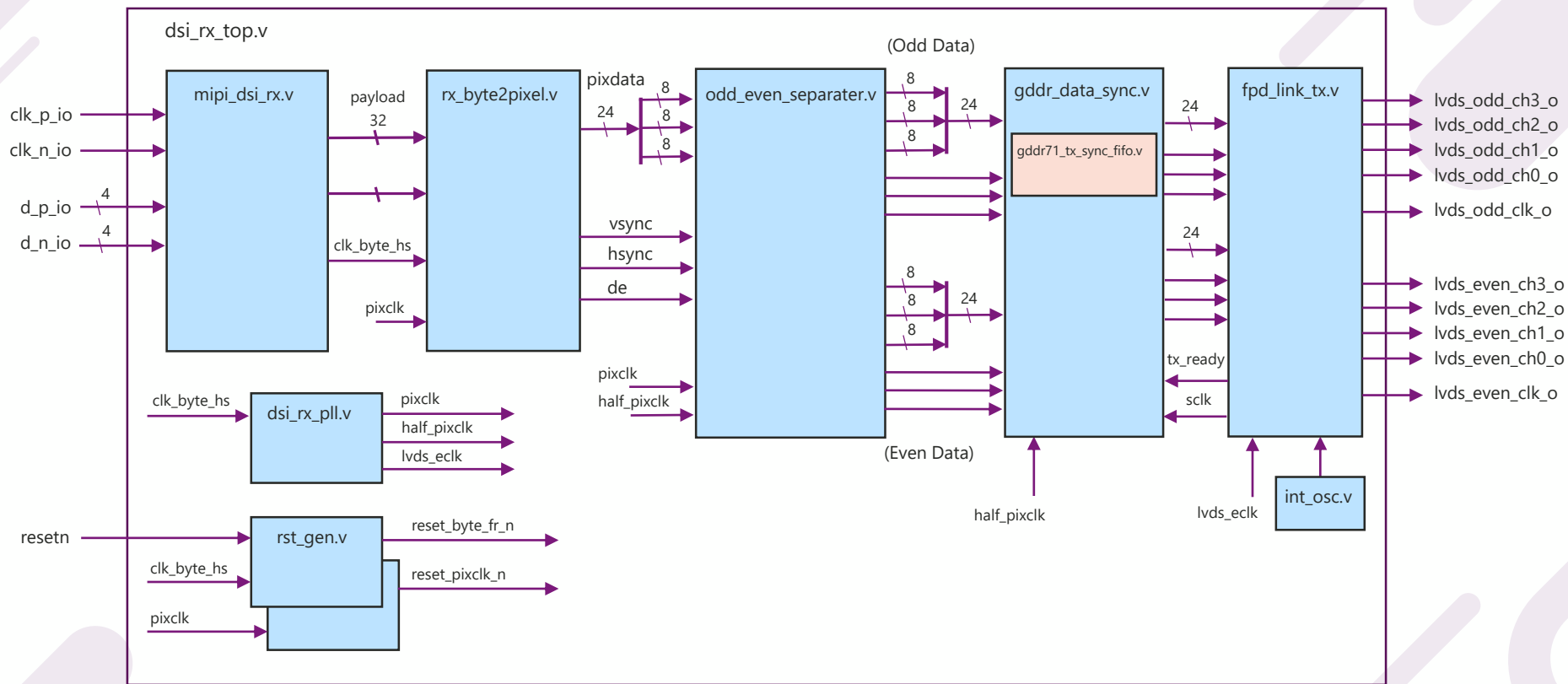
- 本デザインはCrossLink-NXのHard D-PHYを用いたDSI to FPD-Linkリファレンスデザインです。
- 受信データはFull-HD (1080 60p) を想定しており、ピクセルクロックは148.5MHzとして各種IP設定を行っています。
- MIPI DSI Rxレーン数は4Lane、D-PHYでのデシリアライズ設定は1:8としており、バイトデータは32bitの設定です。
- 受信データレートは、 $2200(H) \times 1125(V) \times 24(bit) \times 60(fps) / 4(lane) = 891Mbps/Lane$ となっています。
- 受信したデータはOddピクセル/Evenピクセルに分離され、FPD-Link 2chで送信されます。
- LVDS送信クロックレートは74.25MHz、データレートは $74.25MHz \times 7 = 519.75Mbps/Lane$ となっています。
- 本デザインではLattice社IP “CSI-2/DSI D-PHY Receiver (v1.4.0)” と “Byte to Pixel Converter (v1.5.0)”、及び“FPD-Link Transmitter (v1.1.0)” を使用しています。IPのユーザーガイドについては以下を参照してください。
 - CSI-2/DSI D-PHY Receiver
http://www.latticesemi.com/view_document?document_id=52445
 - Byte to Pixel Converter
http://www.latticesemi.com/view_document?document_id=52451
 - FPD-Link Transmitter
http://www.latticesemi.com/view_document?document_id=53005
- デザイン動作はModelSim Lattice Editionでのファンクションシミュレーションにて確認しています。実機上での確認はしておりません。
- 本デザインはRadiant3.2でコンパイルされており、論理合成ツールはSynplify Proを使用しています。

2. デザインフォルダ構成

本デザインのフォルダ構成を以下に示します。



3. 回路ブロック図



4. デザインポート説明

ポート名	入出力方向	説明
resetn	入力	リセット入力（Active-Low）
clk_p_io	入力	MIPI D-PHY差動クロック出力（Positive）
clk_n_io	入力	MIPI D-PHY差動クロック出力（Negative）
d_p_io	入力	MIPI D-PHY差動データ出力（Positive）
d_n_io	入力	MIPI D-PHY差動データ出力（Negative）
lvds_odd_ch[3:0]_o	出力	OddピクセルLVDSデータ出力
lvds_odd_clk_o	出力	OddピクセルLVDSクロック出力
lvds_even_ch[3:0]_o	出力	EvenピクセルLVDSデータ出力
lvds_even_clk_o	出力	EvenピクセルLVDSクロック出力

5. 各モジュール概要

■ top.v

本デザインのトップモジュールです。

■ rst_gen.v

非同期リセットのresetnを入力クロックで同期化するモジュールです。mipi_dsi_rx.vとbyte2pixel.vが同期リセット入力が必要とするため、本モジュールでリセットの同期化を行っています。

■ dsi_rx_pll.v

mipi_dsi_rx.vで生成されたバイトクロックからRGB888パラレルデータのピクセルクロック、ピクセルクロックの1/2周波数のクロック、7:1LVDS送信用のクロック（ピクセルクロック周波数 $\times 1/2 \times 3.5$ ）を生成するPLLモジュールです。

■ even_odd_separator.v

RGB888のピクセルデータ及び同期信号をoddピクセルとevenピクセルに分離するモジュールです。分離後のピクセルクロック周波数は元のピクセルクロックの半分（本デザインでは148.5MHzの半分の74.25MHz）となります。

5. 各モジュール概要

■ gddr_data_sync.v

gddr71_tx_sync_fifo.vのライトイネーブル、リードイネーブルを制御するモジュールです。

■ gddr71_tx_sync_fifo.v

half_pixclkに同期したピクセルデータをfpd_link_tx.vの内部クロックに載せ替えるためのFIFOモジュールです。fpd_link_tx.vモジュールでは最終出力段のDDRレジスタで使用するlvds_eclkを分周したクロック(sclk)でピクセルデータを運用します。このクロックとfpd_link_tx.v入力側のピクセルクロックは、正しくデザインされた場合同じ周波数になりますが位相が異なるため、正しくデータのラッチができないことがあります。本FIFOモジュールではこの位相差の吸収を行っています。

■ int_osc.v

gddr71_tx.vのイニシャライゼーションに使用する低速クロックを生成している内部オシレータモジュールです。

■ fpd_link_tx.v

RGBパラレルデータをFPD-Linkに変換するモジュールです。

5. 各モジュール概要

■ fpd_link_tx.v

RGBパラレルデータをFPD-Linkに変換するモジュールです。IP Catalogでの設定内容は以下の左図の通りで、Odd/Evenピクセルの2ch送信のためNumber of TX Channelsは“2”に設定しています。変換後のデータフォーマットは右図のようになっています。

Module/IP Block Wizard

Configure Component from IP fpdlink_tx Version 1.1.0
Set the following parameters to configure this component.

Diagram fpd_link_tx

fpd_link_tx

fpdlink_tx

Property	Value
Transmitter	
Number of TX Channels	2
TX Interface	LVDS
Format	Format 2 (VESA)
Number of TX Lanes	4
TX Gear	7
Number of Input Pixels per Clock	2
Video Packet	
Data Type	RGB888
Clock	
TX Total Aggregate Bandwidth (Mbps)	4158
TX Line Rate per lane (Mbps) [70 - 945]	519.75
Pixel Clock Frequency (MHz) [10 - 135]	74.25
LVDS Output Clock Frequency (MHz) [10 - 135]	74.25
LVDS ECLK Frequency (MHz) [35 - 472.5]	259.875
Sync Clock Frequency (MHz) [10 - 135]	10
Miscellaneous	
Enable Miscellaneous Signals	<input checked="" type="checkbox"/>
Enable Test Mode	<input type="checkbox"/>
Test mode expected data in Hex format (0x)	0

No DRC issues are found.

Generate Cancel

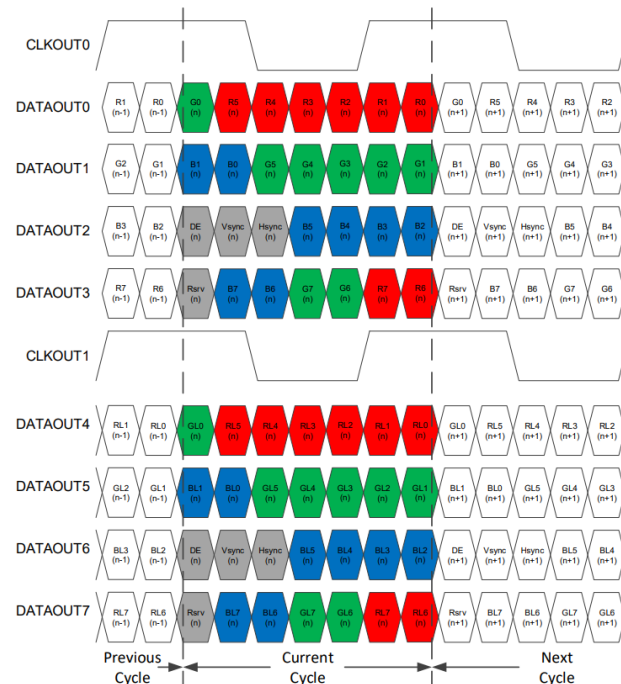


Figure 2.6. Dual Channel OpenLDI/FPD-LINK/LVDS Output Bus Waveform for RGB888 Format

5. 各モジュール概要

■ mipi_dsi_rx.v

MIPI D-PHYシリアルデータをバイトデータに変換するモジュールで、ショートパケット/ロングパケットの検出と、設定によってロングパケット内に含まれるペイロードデータの抽出まで行います。CSI-2/DSI D-PHY Receiver IPを使用しています。設定は以下の通りです。

Module/IP Block Wizard

Configure Component from IP dphy_rx Version 1.4.0
Set the following parameters to configure this component.

Diagram mipi_dsi_rx

Configure IP

Property	Value
Receiver	
RX Interface	DSI
D-PHY RX IP	Hard D-PHY
Number of D-PHY Data Lanes	4
RX Gear	8
CIL Bypass	<input checked="" type="checkbox"/>
Enable LMMI Interface	<input type="checkbox"/>
Enable AXI4-Stream Interface	<input type="checkbox"/>
Enable Deskew Calibration Detection	<input type="checkbox"/>
Clock	
RX Line Rate (Mbps) [80 - 1500]	891
D-PHY Clock Frequency (MHz) [40 - 1250]	445.5
D-PHY Clock Mode	Continuous
Byte Clock Frequency (MHz) [10 - 187]	111
Sync Clock Frequency (MHz) [60 - 200]	60
Timing Parameter	
Customize Data Settle Cycle	<input type="checkbox"/>
Data Settle Cycle [8 - 17]	12

No DRC issues are found.

Generate Cancel

■ Rx Interface
DSIを選択しています。

■ D-PHY RX IP
Hard D-PHYを選択しています。

■ Number of D-PHY Data Lanes
4Laneに設定しています。

■ RX Gear
8に設定しています。D-PHYモジュールにて1:8デシリアライズを行う設定です。

■ CIL Bypass
Control and Interface Logic (CIL)のバイパス設定です。デフォルトのままチェックを入れており、バイパスする設定にしています。CILはデータとクロックの状態遷移のコントロールを行うハードブロックで、使用しない場合はソフトロジックが使用されます。

■ Enable LMMI Interface
Hard D-PHYモジュール内蔵のPLLレジスタ設定用のLMMI Interface使用有無の設定です。使用しないためチェックを外しています。

5. 各モジュール概要

Module/IP Block Wizard

Configure Component from IP dphy_rx Version 1.4.0
Set the following parameters to configure this component.

Diagram mipi_dsi_rx

Configure IP

Property	Value
Receiver	
RX Interface	DSI
D-PHY RX IP	Hard D-PHY
Number of D-PHY Data Lanes	4
RX Gear	8
CIL Bypass	<input checked="" type="checkbox"/>
Enable LMMI Interface	<input type="checkbox"/>
Enable AXI4-Stream Interface	<input type="checkbox"/>
Enable Deskew Calibration Detection	<input type="checkbox"/>
Clock	
RX Line Rate (Mbps) [80 - 1500]	891
D-PHY Clock Frequency (MHz) [40 - 1250]	445.5
D-PHY Clock Mode	Continuous
Byte Clock Frequency (MHz) [10 - 187]	111
Sync Clock Frequency (MHz) [60 - 200]	60
Timing Parameter	
Customize Data Settle Cycle	<input type="checkbox"/>
Data Settle Cycle [8 - 17]	12

No DRC issues are found.

Generate Cancel

■ Enable AXI4-Stream Interface

バイトデータおよびパケットヘッダ情報をAXI4-Stream Interfaceで出力する場合にチェックを入れます。本デザインでは使用しないためチェックを外しています。

■ Enable Deskew Calibration Detection

チェックを入れるとDeskew Calibration用のポートが追加されます。シリアルデータレートが1.5Gbps以下のデザインでのみ使用 or 未使用の選択が可能です。1.5Gbpsより高いレートでは自動で使用する設定になります。本デザインは1.5Gbps以下ですが、使用しないためチェックを外しています。

■ RX Line Rate

RGB888 1080 60pを4Laneで受信するため、
 $2200(\text{H}) \times 1125(\text{V}) \times 24(\text{bit}) \times 60(\text{fps}) / 4(\text{lane}) = 891$ と設定しています。

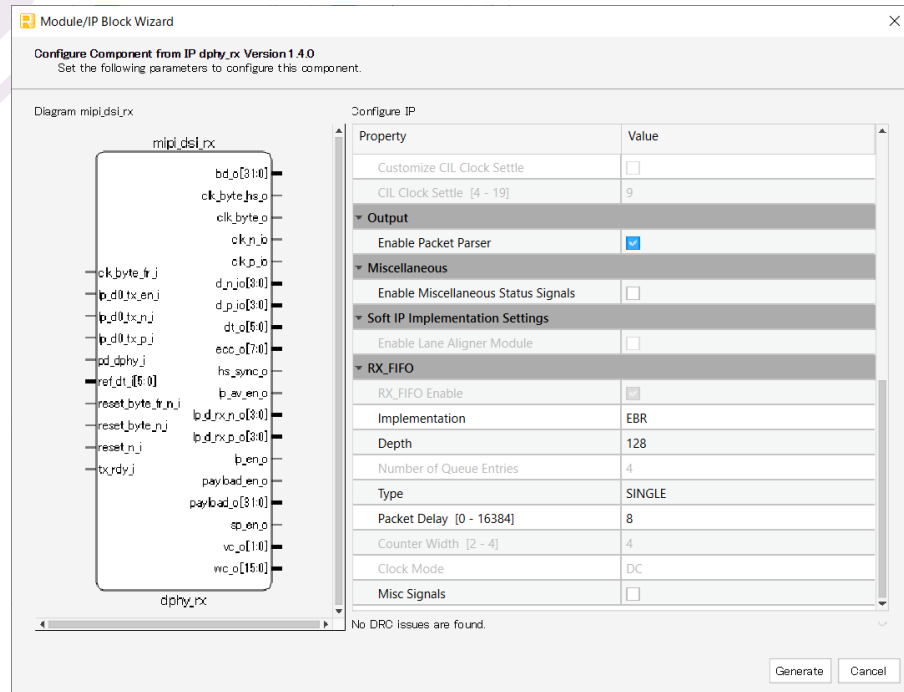
■ D-PHY Clock Mode

Clock LaneがLPモードを使用するかどうかの設定です。今回はClock LaneでLPモードを使用しないため“Continuous”を選択しています。

■ Customize Data Settle Cycle

D-PHY規格上のtHS-SETTLE時間を満たすためのパラメータのカスタマイズを行います。デフォルトのまま使用しています。

5. 各モジュール概要



■ Enable Packet Parser

チェックを入れることでバイトデータからペイロードデータを抽出 (Parsing) して出力します。本デザインではチェックを入れています。

■ Enable Miscellaneous Status Signals

デバッグ用途に使用される各種信号をポートに出力するかどうかの設定です。本デザインではチェックを外しています。

■ RX_FIFO

clk_byte_hs_oに同期した出力データをclk_byte_fr_iに載せ替えるために用意されたFIFOの設定です。微小な周波数偏差のある非同期クロックを使用する場合にその差分を吸収する用途、及び周波数偏差の無いクロックにおいても位相差を吸収する用途で使用します。本デザインではclk_byte_hs_oをそのままclk_byte_fr_iに接続しているため後者の用途ですが、各種FIFO設定はデフォルト設定のままです。

• Implementation

FIFOの実装先をLUT(Distributed RAM)かEBRかを選択します。

• Depth

FIFOの深さを設定します。

• Type

SINGLE、QUEUE、PINGPONGから選択します。

• Packet Delay

FIFOのEmpty Flagディアサーションからclk_hs_byte_fr_iによるリード開始までのマージンをclk_hs_byte_fr_iサイクルで指定します。

• Misc Signals

デバッグ用途に使用される各種信号をポートに出力するかどうかの設定です。

5. 各モジュール概要

■ rx_byte2pixel.v

CSI-2/DSI D-PHY Receiver IPから出力されるバイトデータと各種ステータス信号からピクセルデータと同期信号（V Sync, H Sync, DE）を生成するモジュールです。Byte to Pixel Converter IPを使用しています。設定は以下の通りです。

Diagram rx_byte2pixel

Configure IP

Property	Value
Receiver	
RX Interface	DSI
DSI Mode	Non-Burst Events
Number of RX Lanes	4
RX Gear	8
Byte Side Clock Frequency (MHz) [10 - 350]	111.375
Enable AXI4-Stream Slave Interface	<input type="checkbox"/>
Receiver Data Rate	3564
Transmitter	
Number of Output Pixel Lanes	1
Data Type	RGB888
Camera/Display Control Polarity	Positive
Number of Hsync Pulses Inside VSYNC Active Region [3 - 1023]	5
Number of Pix Clock Cycles HSYNC is Active [3 - 1023]	44
DSI Sync Packet Delay [5 - 1023]	5
Pixel Side Clock Frequency (MHz) [10 - 500]	148.5
Enable AXI4-Stream Master Interface	<input type="checkbox"/>
Transmitter Data Rate	3564

No DRC issues are found.

Generate Cancel

■ Rx Interface

DSIを選択しています。

■ DSI Mode

“Non-Burst Events”を選択しています。DSI規格の“Non-Burst with Sync Events”に相当し、ショートパケットとしてV Sync StartとH Sync Startのみ使用するモードです。

■ Number of RX Lanes

4Laneに設定しています。

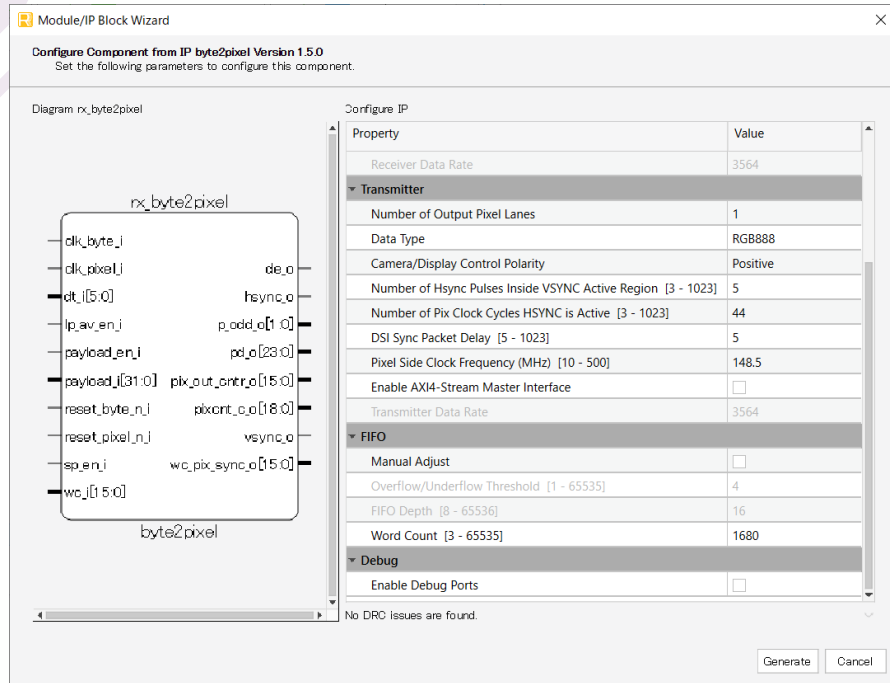
■ RX Gear

8に設定しています。D-PHYモジュールにて1:8デシリアライズを行う設定です。

■ Enable AXI4-Stream Slave Interface

バイトデータおよびパケットヘッダ情報をAXI4-Stream Interfaceで入力する場合にチェックを入れます。本デザインでは使用しないためチェックを外しています。

5. 各モジュール概要



■ Number of Output Pixel Lanes

本デザインではRGB888出力1chのため、1Laneに設定しています。

■ Data Type

RGB888を選択しています。

■ Camera/Display/Control Polarity

出力する映像同期信号（V Sync, H Sync, DE）の極性を選択します。Positive（Active High）を選択しています。

■ Number of Hsync Pulses Inside VSYNC Active Resion

V Syncアクティブ期間のH Syncパルス数を設定します。出力されるV Syncのアクティブ期間に相当します。本デザインでは5と設定しています。

■ Number of Pix Clock Cycles HSYNC is Active

H Syncアクティブ期間のピクセルクロックサイクル数を設定します。出力されるH Syncのアクティブ期間に相当します。本デザインでは44と設定しています。

■ DSI Sync Packet Delay

本モジュール内でのピクセルデータのバッファリングによって生じるピクセルデータと同期信号（V Sync, H Sync）のスキューを補うための同期信号遅延設定です。ピクセルクロックサイクル数で設定します。デフォルトの5に設定しています。

■ Enable AXI-4 Stream Master Interface

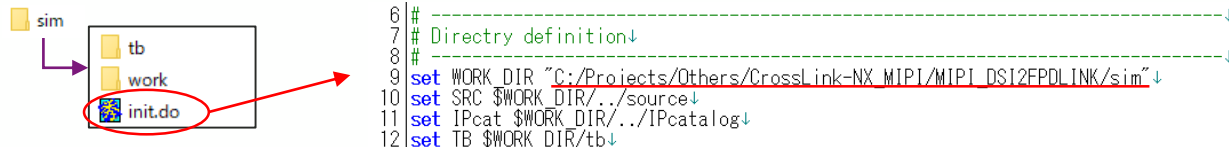
ピクセルデータ及びDE信号をAXI-4 Stream Interfaceで出力する場合にチェックを入れます。本デザインでは使用しないためチェックを外しています。

■ Enable Debug Ports

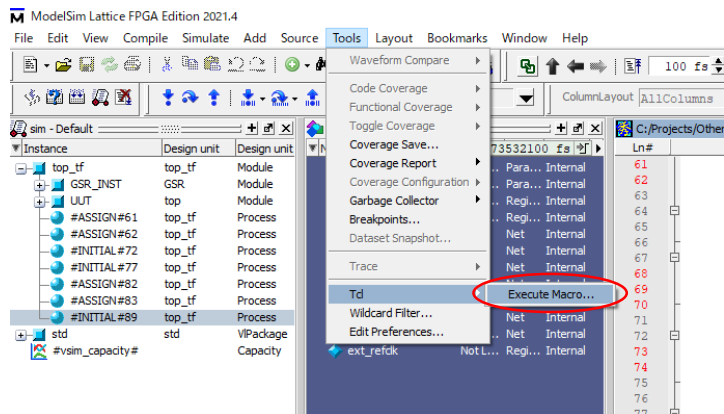
デバッグ用途に使用される各種信号をポートに出力するかどうかの設定です。本デザインではチェックを外しています。

6. ファンクションシミュレーション

ファンクションシミュレーションを実施するには、ModelSim Lattice Editionを使用します。
シミュレーション開始前にinit.doファイル内の以下のディレクトリ指定をユーザー環境のsimフォルダのパスに変更する必要があります。
Init.doファイルはsimフォルダの中に格納されています。



Model Simを起動後、Tools > Tcl > Execute Macro からinit.doファイルを起動します。

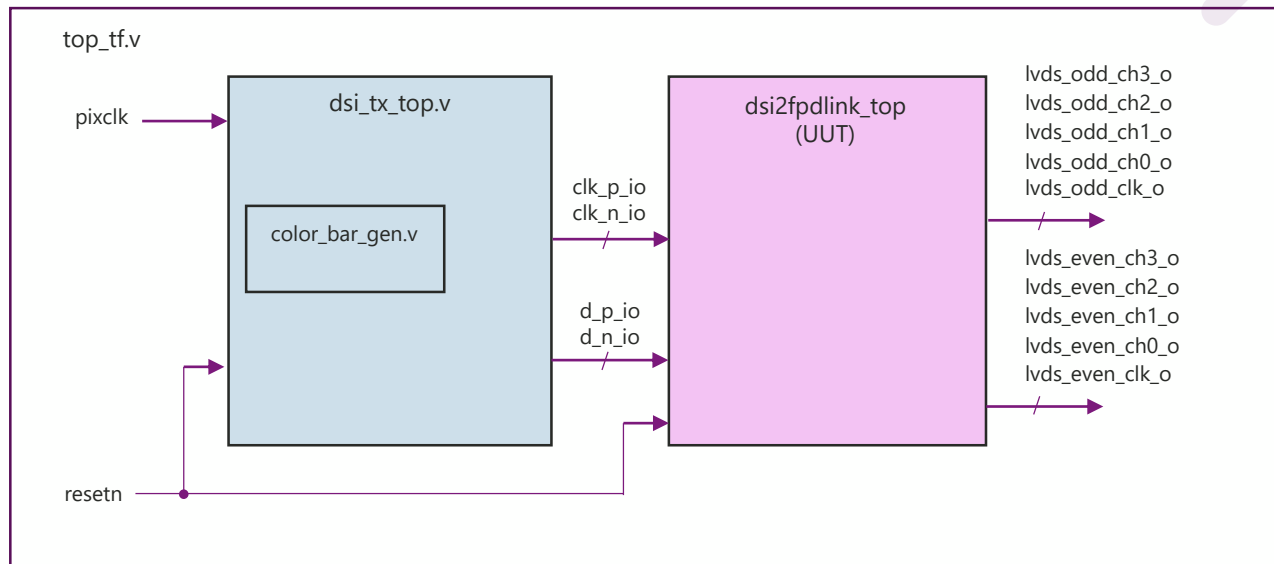


Init.doの編集方法、doファイルでのシミュレーション詳細については、以下のページの「ModelSim Lattice Edition DO マクロ ユーザーガイド」を参照してください。

<https://www.macnica.co.jp/business/semiconductor/articles/lattice/132003/>

6. ファンクションシミュレーション

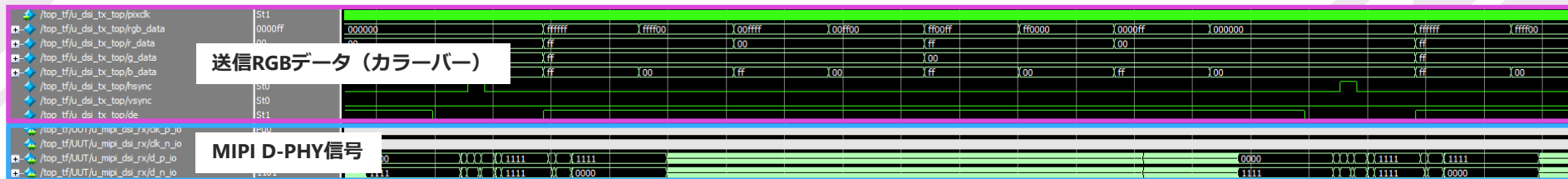
テストベンチ構成概要図



テストベンチ上でMIPI DSIの送信モデルであるdsi_tx_top.vをインプリメントしています。このモジュールにはFull-HD（1080 60p）, RGB888のカラーバーデータを生成するcolor_bar_gen.vが組み込まれており、 dsi_tx_top.vからはFull-HD, RGB888のデータがMIPI DSI 4Laneで出力されます。このMIPI DSI 4Laneのデータがシミュレーション対象のdsi_rx_top.vに入力され、 LVDSデータが出力されることを確認しています。

6. ファンクションシミュレーション

下図は送信モデルにて生成されたRGB888パラレルデータ（カラーバー）がMIPI D-PHYに変換され、本モジュールに入力されている箇所のシミュレーション波形です。

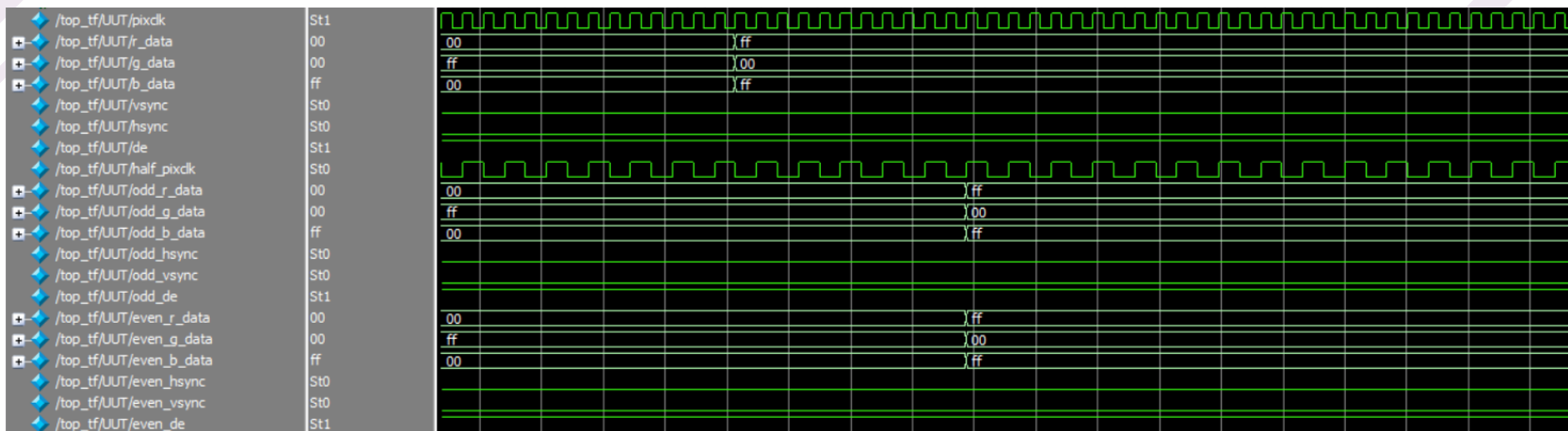


下図はD-PHYにて受信後、RGB888パラレルデータへと変換しその後Odd/Evenピクセルに分離して7:1LVDS送信モジュールにてOpenLDI形式で送信している部分のシミュレーション波形です。

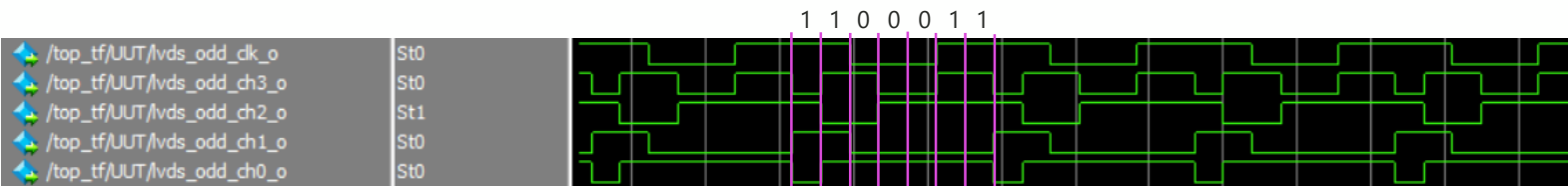


6. ファンクションシミュレーション

Odd/Even分離後のピクセルデータはピクセルクロック周波数が元の半分になっています。



送信LVDSはFPD-Link (OpenLDI形式) のため、クロックは1Laneあたりのデータ7bit周期に対し、“1100011”の4:3デューティで送信されます。



Revision History

Date	Revision	Page	Change Information
2022/12/01	1.0		First Revision