

UDP-IP リファレンス・デザイン説明書 (Xilinx 版)

Rev1.0J 2016/01/20

1. UDP プロトコル概要

TCP と比較すると UDP プロトコルは最小限のプロトコル・メカニズムでメッセージの送信を可能としています、ただしハンドシェークがないためデータは保証されません。TCPと同様 UDPにおいてもデータ内容の信頼性確認のためチェックサム機能を持ち、データ送受信ダイアグラムで異なる機能をアドレッシングするためポート番号が用いられます。

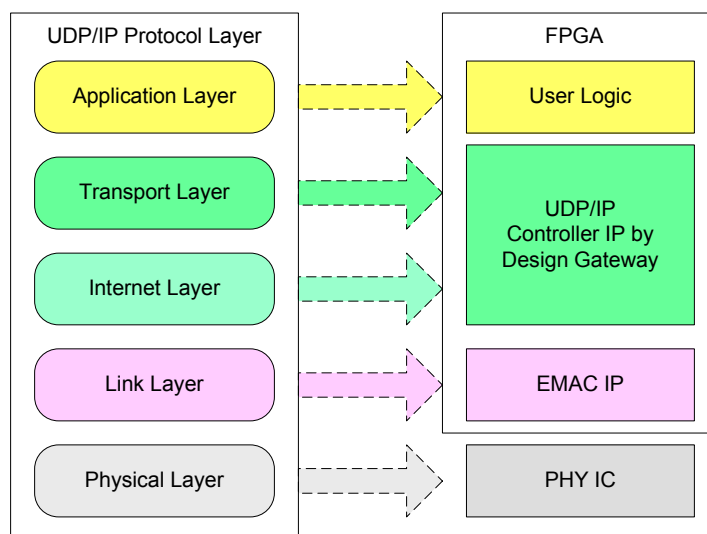


図 1: UDP プロトコルのレイヤ図

UDP-IP コアは UDP/IP プロトコルにおいてトランスポート層とインターネット層を実装します。送信機能においては、UDP-IP コアはユーザ・ロジックからの UDP データを用意し UDP/IP ヘッダを付加して EMAC を通して送信するイーサネット・パケットを生成します。受信機能においては、UDP-IP コアはイーサネット・パケットから UDP データを抽出します。このとき UDP/IP ヘッダは有効なパケットであるかチェックされます。パケットが有効であった場合 UDP データが抽出されユーザ・ロジックから読み出せるようデータ・バッファに格納されます。

より低いプロトコル層はXilinxのEMAC-IPと外付けPHYチップで実装します。

本リファレンス・デザインは簡単なユーザ・ロジックで接続した UDP-IP コアを使ってデータの送信・受信を評価するシステムを提供します。本システムは AC701 評価ボードおよびテスト・アプリケーションを搭載したテスト PC で高い転送パフォーマンスが得られることを検証します。より詳細については以下で説明します。

2. デザインの動作環境

このリファレンス・デザインは下図 2 に示すような以下の環境で動作するデザインです。

- AC701 評価ボード
- iMPACT 14.4 またはそれ以降
- イーサネット・ケーブル(カテゴリ 5e または 6)
- ギガビット・イーサネットのポートを持つパソコン
- JTAG で FPGA をコンフィグレーションする評価ボード付属の USB ケーブル
- DesignGateway 社から提供される PC 側で動作する“send_udp_client” および “recv_udp_client” テスト・アプリケーション

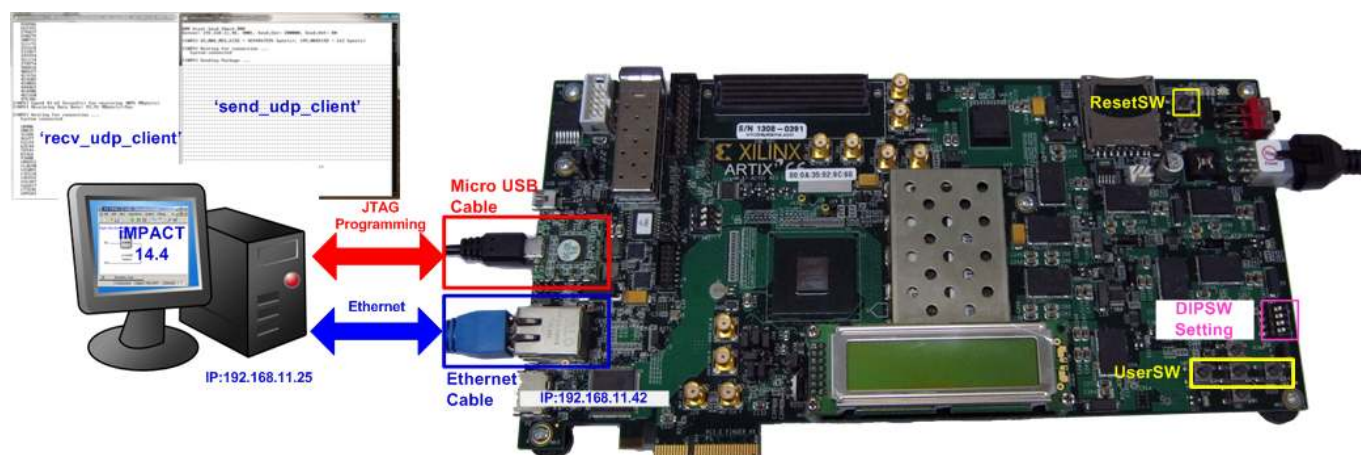


図 2 リファレンス・デザインの動作環境

3. ハードウェアの説明

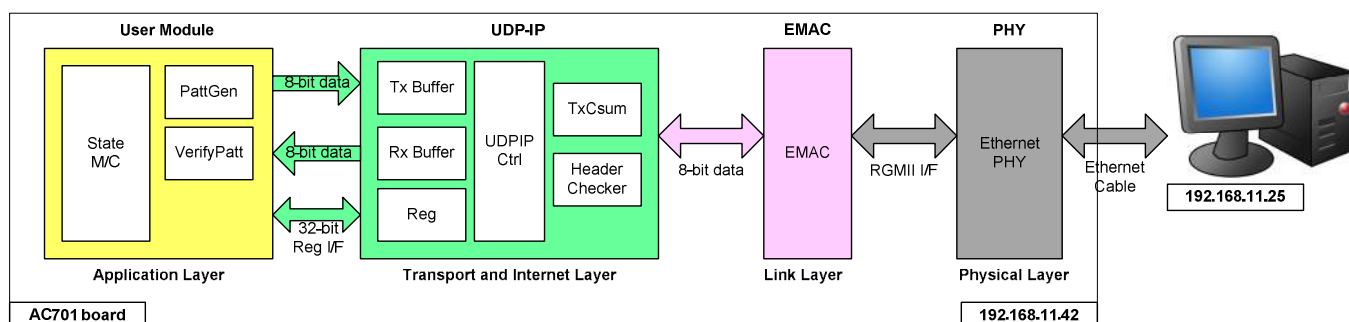


図 3:リファレンス・デザインのハードウェア構成

図 3 に示すようにハードウェア全体は大きく4つのモジュールに分かれており、UDP 各々のプロトコル層をサポートします。UDP-IP コアは EMAC および外部 PHY とあわせて UDP プロトコルの低層を実装します。本リファレンス・デザインは PC 上のテスト・アプリケーションと合わせて UDP プロトコルによるデータ転送を実行します。FPGA から PC への送信方向において UDP データはユーザ・モジュール内のパターン発生器で生成されます。PC 側では受信したデータをテスト・アプリケーション(recv_udp_client.exe)内でベリファイします。PC から FPGA への受信方向において PC 上のテスト・アプリケーション(send_udp_client.exe)にて生成し FPGA が受信したデータはユーザ・モジュール内でベリファイします。UDP-IP コアへのコマンド発行やステータス確認はステート・マシンで実装しています。

- 外部 PHY

物理レイヤは外付けの PHY チップで実装され、AC701 の場合は RGMII のインターフェイスで FPGA と接続します。

- EMAC

リンク層は Xilinx 社から提供される TEMAC-IP (Tri Mode Ethernet MAC with 1000 Mbps speed)で実装します。EMAC の設定は以下となります。

- PHY インターフェイスは RGMII/GMII/SGMII
- MAC 速度は 1000Mbps 固定
- コンフィグレーションは Ver の設定
- MDIO I/F はディスエーブル

また、EMAC と UDP-IP は 1 対 1 で直結できます。

- UDP-IP

TOE2-IP コアの詳細や I/O 信号、タイミング波形、レジスタマップについては、TOE2-IP コア データシート ("dg_udpip_data_sheet_xilinx_jp.pdf")を参照してください。

● ユーザ回路

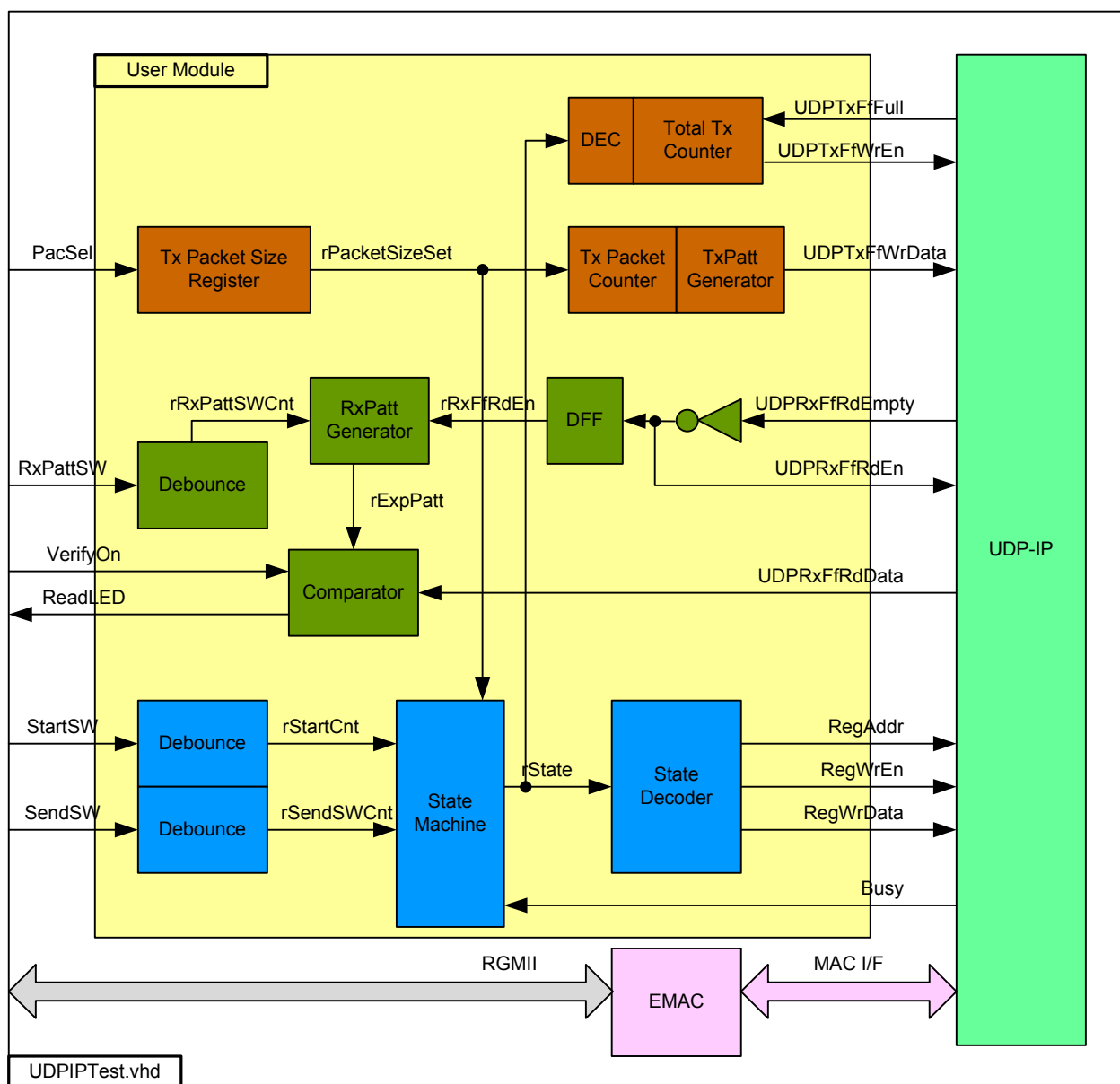


図 4: リファレンス・デザインのユーザ回路ブロック図

ユーザ回路は大きく3つのブロックに分かれており、それらは送信 FIFO インターフェイス、受信 FIFO インターフェイス、およびレジスタ制御インターフェイスです。送信パターン発生器(TxPattGenerator)においては、32ビットのインクリメンタル・テスト・パターンが送信パケットごとにインクリメントされ送信テスト・データとして出力されます。送信パケットカウンタ(TxPacketCounter)は外部 DIP スイッチで設定した PacSel で選択された送信パケットのデータ数ごとにカウント・アップします。本リファレンス・デザインでは2種類のパケット・サイズが選択できますが、それは 1472 バイトの非ジャンボ・フレームと 8972 バイトのジャンボ・フレームです。

テストパターンは総転送サイズ分の送信が完了するまで発生します。デザイン内部のステートマシンにより、ユーザからの新しい転送要求に従います。総送信カウンタはテスト・データ総数をカウントしますが、本リファレンス・デザインにて総送信数は 0xFFFF_FFFF(4GB)に固定されています。

32 ビットのインクリメンタル・データは受信パターン発生器(RxPattGenerator)でも生成され、UDP-IP コアの受信 FIFO インターフェイスからの受信データと比較します。また、受信 FIFO からのエンティ・フラグをモニタしデータを FIFO からリードするロジックも実装されています。そしてリード・データが比較元のインクリメンタル・データと不一致を検出すると ReadLED が点滅します。

制御インターフェイスはステートマシンを使ってデザインされています。レジスタ・アドレスと書き込み値はステートマシンに予め設定されたパラメータで決定され、初期化プロセスや送信動作におけるパケット・サイズや転送数と合わせてレジスタにセットするよう制御されます。送信動作はユーザによる SendSW 押下で開始します。ステートマシンの状態遷移図を図 5 に示します。IP コアからの Busy フラグは IP コアの動作が完了したことを検出するためにモニタされます。

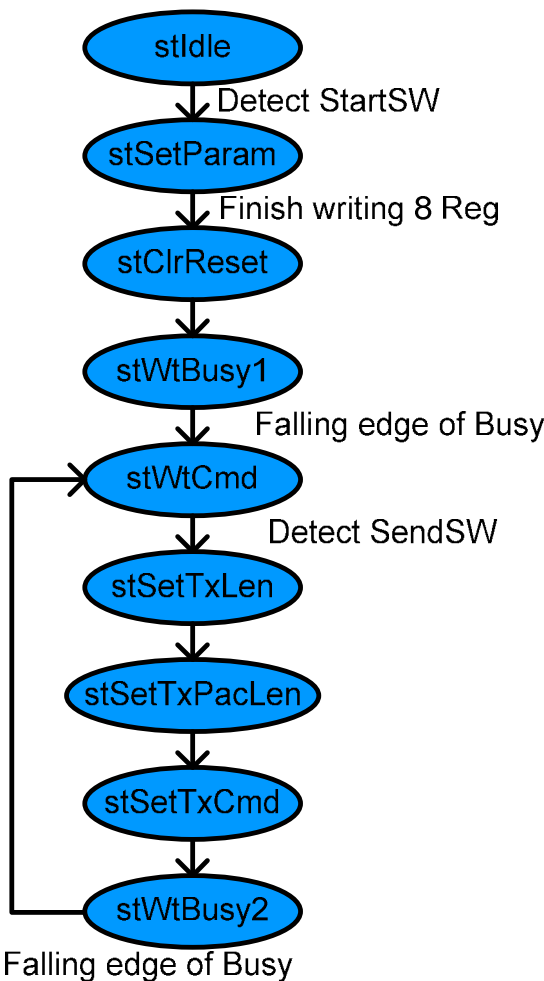


図 5: ユーザ回路内ステートマシンの状態遷移図

ステートマシンはユーザにより StartSW ボタンが押下されると stSetParam ステートに遷移します。そのステートにて UDP-IP コアに対してレジスタを介して以下のパラメータをセットします。

- Source MAC address = 00:01:02:03:04:05
- Source IP address = 192.168.11.42
- Source Port number = 4000
- Destination IP address = 192.168.11.25
- Destination Port number for Tx(DPN Reg[15:0]) = 60000
- Destination Port number for Rx(DPN Reg[31:16]) = 60001

その後次のステートとなる stClrReset に遷移し UDP-IP コアへのリセット信号を解除(RST レジスタ=0)します、すると UDP-IP コア内部でパラメータの初期化が実行されます。ステートマシンはコアの Busy フラグ立下りエッジをモニタしコア内部の初期化完了を待ちます。その後 stWtOpen ステートにて接続相手の PC でテスト・アプリケーションの動作開始を待ちます。

データ送信においてステートマシンは FPGA から PC へ 4GByte のテスト・データを送信するデザインとなります。ユーザが SendSW ボタンを押下すると、ステートマシンは stSetTxLen ステートに遷移し総転送サイズ(TDL レジスタ)をセット、stSetTxPacLen ステートに遷移しパケット・サイズ(PKL レジスタ)をセットして最後に stSetTxCmd ステートに遷移し送信開始(CMD レジスタ)をセットします。そして stWtBusy2 ステートにて Busy 信号をモニタし転送完了を待ちます。全データの送信が完了したら stWtCmd ステートに戻り次のコマンドを待機します。

データ受信において、本 IP コアは PC からの UDP データを特にステート・マシンによるレジスタの設定なしでユーザ・ロジックに転送できます。従ってユーザは送受信の両方の転送を同時に実行することが可能です。

4. PC 側テスト・アプリケーション

本リファレンス・デザインの実機動作を検証するため、接続相手の PC 側にて“recv_udp_client”および“send_udp_client”の2種類のテスト・アプリケーションが提供されています。両方のアプリケーションを同時に実行可能とするため、PC 側のポート番号は異なる番号が使われます。FPGA から PC への転送(recv_udp_client)ではポート番号 60000 であり、PC から FPGA への転送(send_udp_client)ではポート番号 60001 を使います。どちらのアプリケーションも DOS ベースのプログラムですので、送受信を同時に実行する場合 2 つの DOS 窓を開いてそれぞれのテスト・アプリケーションを実行する必要があります。送受信同時テストの場合、recv_udp_clientによる PC 側の受信においてはネットワーク負荷による受信パケットのドロップ(ロス)が発生しやすくなるのでご注意ください。

- recv_udp_client

このテスト・アプリケーションは UDP-IP コアの送信機能を検証するためのソフトウェアであり、PC が受信するデータをベリファイします。本アプリケーションはコマンド発行時に以下に示すパラメータ引数を入力しますが、それは FPGA 内ユーザ回路の HDL コードで固定された値と一致させる必要があります。コマンドの引数を変更したい場合、リファレンス・デザインのユーザ・ロジックの HDL コードを変更させる必要があります。

Dst_Addr: FPGA 側の IP アドレス、“192.168.11.42”と設定する必要があります

Dst_Port: FPGA 側のポート番号、“4000”と設定する必要があります

Src_Port: PC 側のポート番号、“60000”と設定する必要があります

Recv_Len: バイト数単位でのパケット・サイズ、非ジャンボ・フレームでは“1472”、ジャンボ・フレームでは“8972”と設定する必要があります。この値を正しく設定しない場合、テスト・アプリケーションにベリファイ・エラーが表示され動作は停止します。

Total_Len: バイト数単位での総転送数、“4294967295”と設定する必要があります

このテスト・アプリケーションの動作シーケンスは以下です。

- (1) ユーザのコマンドラインからパラメータを取得します。
- (2) ソケットを作成し受信バッファのプロパティをセットします。
- (3) ユーザ指定パラメータより IP アドレスとポート番号をセットし接続します。
- (4) データの受信とベリファイ比較を総転送数があるいは 0.5 秒以内にそれ以上データ受信がなくなるまで繰り返します。比較データは各パケット・サイズ (1472 バイトあるいは 8972 バイト) 毎にインクリメントする 32 ビットの値です。よって同一のパケット内の全データは同一値となります。このベリファイ時に以下に示す2種類のエラーを検出すると画面に表示します。
 - “Drop Expect”: パケットの先頭データが期待値でなかった場合に表示されます、これはワーニング・メッセージでアプリケーションはデータのベリファイは継続します。
 - “Error Expect”: パケット内のデータが先頭データと一致しなかった場合に表示されます、これはエラー状態なのでアプリケーションは動作を停止させます。
 プログラム実行中アプリケーションは毎秒ごとに総受信サイズを表示します。
- (5) PC からソケットをクローズします。アプリケーションは受信データ数から転送パフォーマンスとドロップしたパケット数を表示します。また転送実行中全データを受信できず 0.5 秒のタイムアウトが発生した場合は“Timeout”のメッセージを表示します。

- send_udp_client

このテスト・アプリケーションは UDP-IP コアの受信機能を検証するためのソフトウェアです。recv_udp_client と同様ユーザはコマンドラインで以下に示す各パラメータを設定しますが FPGA 内ユーザ回路の HDL コードで固定された値と一致させる必要があります。コマンドの引数を変更したい場合、リファレンス・デザインのユーザ・ロジックの HDL コードを変更させる必要があります。

Dst_Addr: FPGA 側の IP アドレス、“192.168.11.42”と設定する必要があります

Dst_Port: FPGA 側のポート番号、“4000”と設定する必要があります

Src_Port: PC 側のポート番号、“60001”と設定する必要があります recv_udp_client と同時並列して実行できるよう、異なるポート番号を使います。

Packet Count: PC から FPGA へ送信する 8K バイト・パケットの総パケット数を指定します。従って総データ数はこの設定数 x8096 バイトとなります。有効な設定値は 1-524287 です。

Verification On/Off: '0'にセットすると送信するデータはオール・ゼロのダミー・データとなり、'1'をセットすると 32 ビットのインクリメンタル・データとなります。この値は PC からのデータ送信パフォーマンスに影響します。PC によっては'0'をセットするダミー・データの方が'1'によるインクリメンタル・データよりパフォーマンスが良好な場合があります。

このテスト・アプリケーションの動作シーケンスは以下です。

- (1) ユーザのコマンドラインからパラメータを取得します。
- (2) ソケットを作成し送信バッファのプロパティをセットします。
- (3) ユーザ指定パラメータより IP アドレスとポート番号をセットし接続します。
送信バッファにダミー・データ(オール 0)またはインクリメンタル・データを準備し送信を開始します。各パケット・サイズは 8096 バイト固定です。このパケット・サイズを使うことでジャンボ・フレームをサポートする PC で UDP パケットをフラグメントなしで生成することが可能となります。
- (4) ソケットをクローズしテスト結果として転送パフォーマンスを表示します。

5. 改版履歴

リビジョン	日付	履歴
1.0	6-Jan-16	Initial Release
1.0J	2016/01/20	日本語版第 1 版作成

Copyright: 2016 Design Gateway Co,Ltd.