

FPGA による USB ターゲット・ コントローラの設計事例

山武 一郎

昨今の大容量 FPGA を活用すると、CPU コアさえも FPGA に取り込んで、1 チップでシステムを構築する SoC (System on a Chip) を実現できる。ここでは USB ターゲット・システムを SoC で実現するために必要な、USB ターゲット・コントローラの設計事例を紹介する。12Mbps のフル・スピード専用だが、物理層チップは不要で FPGA だけで構成できる。
(編集部)

USB は物理層レベルを隠ぺいして使える

本誌ではこれまで、半導体メーカーから市販されている USB コントローラや USB コントローラ内蔵マイコンの使い方を何度も取り上げてきました。これら出来合いの USB コントローラを使った場合は、本特集の第1章で解説しているような、パケットのフォーマットやエラー発生時のパケット再送信の仕組みを理解する必要はありません。USB コントローラを使った場合にソフトウェアで処理しなければならない部分は、それよりも上位の部分になるため、物理的なレベルではどのような処理が行われているかなどは知る必要がないのです。

物理層レベルを隠ぺいした状態で使えるという意味で、“手っ取り早く使えるインターフェース”として、USB は最適だと思います。

USB の物理レベルの学習

しかしそれでは、USB のハードウェア・レベルでどのよ

うな信号がやりとりされているのかという、物理レベルの処理を目で見ることはできません。それは USB の信号符号化方式である NRZI (Non Return to Zero Inverted) によるシリアル・データ通信の符号や復号処理、エラーがあった場合のパケット再送信要求などは、USB コントローラがハードウェア・レベルで自動的に処理する部分だからです。

より深く USB システムを理解する意味では、USB コントローラに頼るのではなく、USB の物理レベルの信号を直接触ってみる必要があると考えます。

大容量 FPGA を使った 1 チップ・システムに最適
最近では大容量の FPGA も安価になっているので、周辺回路はもちろん、FPGA の中にソフト CPU コアを実装して、FPGA を 1 チップだけ使ったシステムも構築可能になってきました。

ここで、システムに USB 機能を追加する場合について考えてみましょう。わざわざ、USB のためだけに市販の USB ターゲット・コントローラを外付けするというのも、システムの構成面でもコスト面でももったいない話です。システムを FPGA だけで実現できる場合、その中に USB ターゲット・コントローラの機能も組み込んでしまう方法はないのでしょうか。

市販の FPGA ボードを利用

本稿では、市販の FPGA ボードを利用して USB ターゲット・コントローラの機能を実現していきます。FPGA ボードは各社から提供されていますが、ここでは CQ 出版社が出荷している「組み込みシステム開発評価キット(写真1)」に含まれる評価ボードを利用しました。組み込みシステム開発評価キットは、ハードウェア学習教材として企画

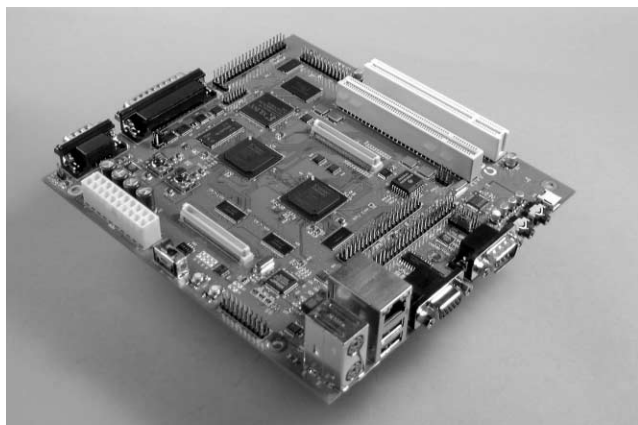


写真1 組み込みシステム開発評価キットの概観

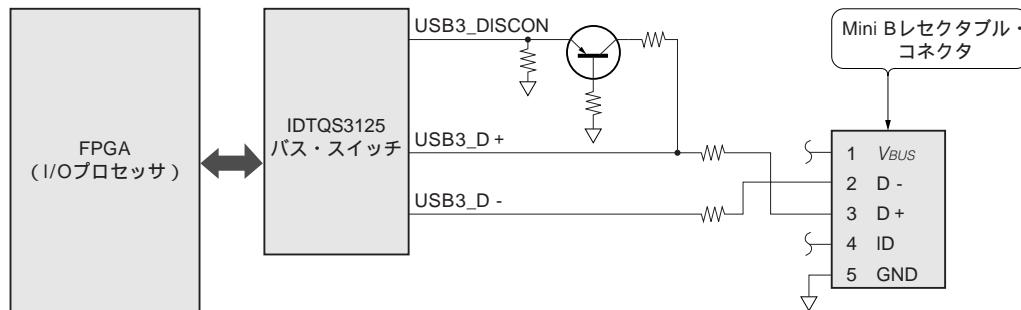


図1 USB ターゲット部のブロック図

され、USBに限らず、通常は市販のコントローラを使って構築するバスやインターフェースのシステムについて、ハードウェア・レベルからその動作を理解することを目標に開発されました。ロジック回路で実現できる部分はすべてFPGAを使って実現しようというポリシーで設計されており、評価ボード上に実装されているデバイスは、FPGA以外ではメモリやアナログ回路を含む物理層チップのみとなっています。

USBにはロー・スピード、フル・スピード、ハイ・スピードの各種通信速度がありますが、480Mbpsで通信するハイ・スピード・モードは、安価なFPGAでは対応できないので、ここでは安価なFPGAでも実現できる12Mbpsで動作するフル・スピード対応のコントローラを設計します。

今回はこの評価ボードを利用しながら、USBの部分に焦点を絞って解説していきます。

1. USBターゲット部の回路

USB ターゲット部

写真2に評価ボードのUSBターゲット・コネクタ部を示します。本評価ボードではMini Bコネクタを実装しています。

図1にUSBターゲット部分のブロック図を示します。本評価ボードはUSBバス・パワーで動作させることはできないので、USBから供給される電源(V_{BUS})は評価ボード内の回路には接続されていません。また、今回はUSBターゲット専用として設計しているため、Mini Bコネクタの4番ピンはNC状態としています(GNDに接続しても構わない)。

USB信号のD+とD-の両信号は、保護用のバス・スイッチを経由してFPGAに接続されています。また、D+

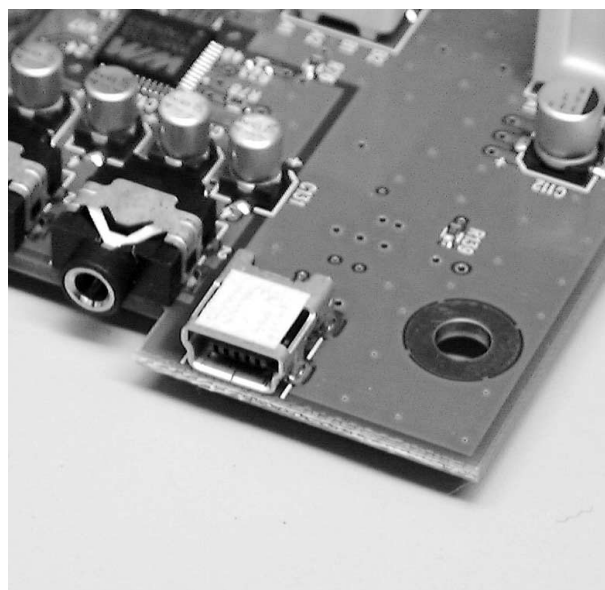


写真2 USB ターゲット・コネクタ部の概観

信号側に1.5kΩのプルアップ抵抗が接続され、そのプルアップ状態は、USB3_DISCON信号により制御できる構造となっています。

なお、バス・スイッチには信号のドライブ方向制御が不要のものを使っています。USBではD+/D-共に、信号をホスト側がドライブするタイミングとターゲット側がドライブするタイミングがあるからです。

DISCON信号の意味

FPGAからUSB3_DISCON信号を“L”レベルにすると、D+信号のプルアップ抵抗が外れた格好になります。ホスト側から見るとD+/D-の両方の信号が“L”レベルになるので、ターゲットとの接続が切れた状態であると認識します。逆に“H”レベルにすると、D+信号がプルアップされることになるため、ホストはターゲットが接続されたと認識します。