

FPGA を使った CPU 製作

河田 浩明・中村 直樹

1. 研究概要

電子機器の制御などに使われている FPGA を使用し、自分たちで CPU を作りパソコンを動かしたいと思い、課題研究のテーマとした。パソコンを使えるようにするには入力・出力・CPU が必要である。それぞれについて学習し、最終的に一つのものを完成させ CPU として機能させることを目標にした。

2. 研究の具体的内容

パソコンの出力について学ぶ。

(1) FPGA・CPU について調べる

FPGA (写真 1) とは、自分たちで論理回路を書き込む事ができるもので、フィールドプログラマブルゲートアレイ (Field Programmable Gate Array) の略である。ゲートアレイとは、集積回路の製造方法の 1 種である。

今回は、Spartan-3E スターターキットという基板を使用し研究する。



写真 1

CPU とは、人間で言う頭 (頭脳) でいろいろな処理をするパソコンの一部である。

(2) Spartan-3E について

今回、研究に使った Spartan-3E は、Xilinx (ザイリンクス) 社が個人向けに発売した FPGA ボードである。

(3) Spartan-3E を使い動作確認

文化祭に向け、ディスプレイ表示のプログラムを書き込み動作確認をした。(写真 2) また、ピンボールゲームも作製した。(写真 3)



写真 2

基板についているトグルスイッチの状態によって表示する国旗を変化させる。10カ国の国旗を表示させる。



写真 3

基板についているローラースイッチをコントローラーとして使用し、パドル (下) を左右に動かしブロック (上) に当てるゲームにした。

(4) プログラム・回路の説明

プログラム例 1

```
// ball movement
reg [9:0] ballX;
reg [8:0] ballY;
reg ballXdir, ballYdir;
reg bounceX, bounceY;

wire endOfFrame = (xpos == 0 && ypos == 480);

always @(posedge clk25) begin
    if (endOfFrame) begin
        if (ballX == 0 && ballY == 0) begin
            ballX <= 480;
            ballY <= 300;
        end
    end
    else begin
        if (ballXdir ^ bounceX)
            ballX <= ballX + 2;
        else
            ballX <= ballX - 2;

        if (ballYdir ^ bounceY)
            ballY <= ballY + 2;
        else
            ballY <= ballY - 2;
    end
end
end
```

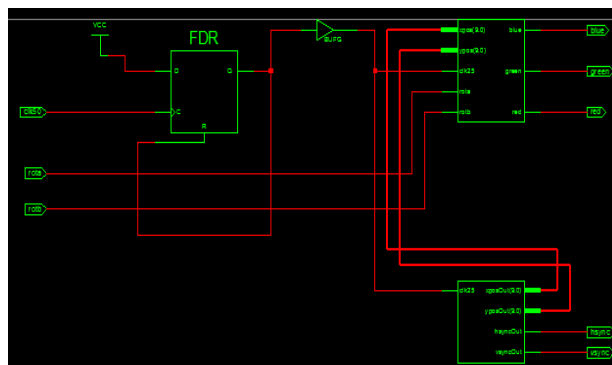
ここでは、ボールの動きをプログラミングしている。480×300の中にボールが常にいるようにして動かしている。

```
// ball collision
always @(posedge clk25) begin
    if (endOfFrame) begin
        if (ballX == 0 && ballY == 0) begin
            ballX <= 480;
            ballY <= 300;
        end
    end
    else begin
        if (ballXdir ^ bounceX)
            ballX <= ballX + 2;
        else
            ballX <= ballX - 2;

        if (ballYdir ^ bounceY)
            ballY <= ballY + 2;
        else
            ballY <= ballY - 2;
    end
end
end
```

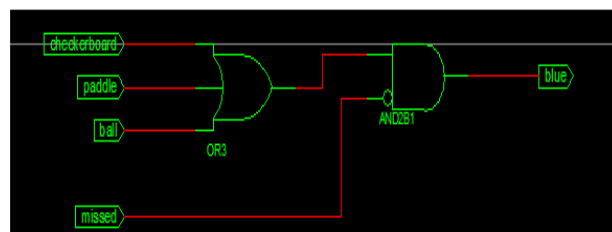
プログラム例 2

ここでは、ボールが何かに当たった時の処理をしている。上下左右の壁やブロックに当たれば反射・終了するようにしている。



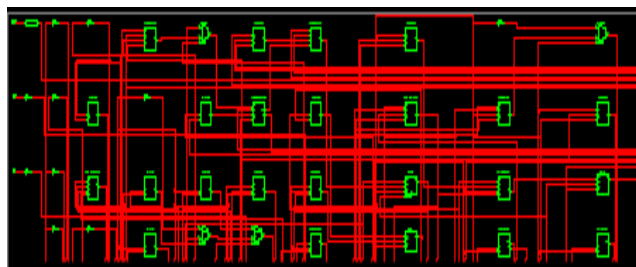
回路 1

回路 1 は、作成したプログラムを回路にしたものである。FDR (左の四角) と三角 (上) で、クロック数を 50MHz から 25MHz に変換している。テレビなどに出させるにはクロック数を 25MHz にしなければならない。



回路 2

回路 2 は、青色を背景・パドル・ボールに出力させるものである。他に、赤・緑の出力回路もある。



回路 3

回路 3 は、実際に FPGA に書き込まれている回路の一部である。

ここまでで、ディスプレイへの出力ができたので次に FPGA に OS を入れてみる。今回は、Linux (OS の一種) を使用する。

(5) FPGA を使い CPU 作製

①作業の流れ

FPGA で CPU を作るためにインターネットを

使って学習した。

次に、FPGA にプログラムを入れるソフトである「Xilinx platform studio 11」を使って行った。まず、CPU なしに OS が入るかを試してみた。

②使用した物

ソフト

- WebPack
- Platform studio 11
- Petalinux(Linux の一種)
- Ubuntu8.1(Linux の一種)
- centOS5.1(Linux の一種)

機器

- Spartan-3E スターターキット

③作業内容

最初は、インターネットを使用し Spartan-3E に OS を入れることができる物を調べてみると、platform studio があった。

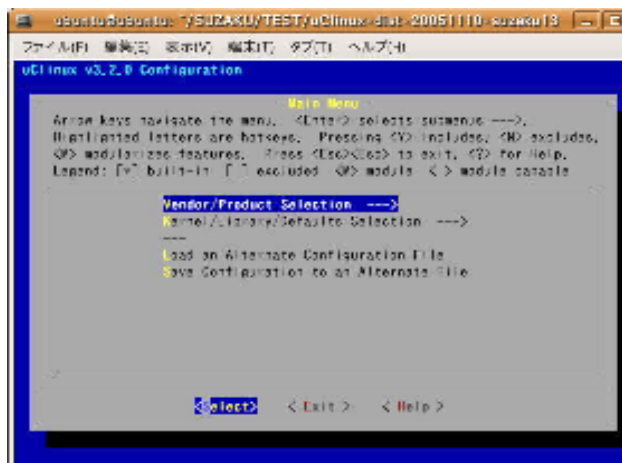
Hardware を取り出すために新しく ubuntu8.1 という OS を使用した。その中にある端末 (Windows でいうとコマンドプロンプト) を使用して行った。

petalinux の環境変数をセットする

```
source setting.sh
```

端末 (コマンドプロトコル) 画面を開いて設定を行う。

```
cd software/petalinux-dist
make menuconfig
```



この時、下記のようなエラーが発生したので「libncurses5-dev」を入れた。

```
Unable to find the Ncurses libraries.
You must have Ncurses installed in order to
use 'make menuconfig'
```

上手く実行できると設定画面が現れる。

まず、「Under Vendor/Product Selection」を設定する。

```
Select the Vendor you wish to target
(Xilinx) Vendor
Select the Product you wish to target
(Spartan-3E500-RevD) Xilinx Products
```

次に

「 Under Kernel/Library/Defaults Selection」の設定を行う。



Petalinux を Spartan-3E starter kit の中に入れるために、hardware を選択し、platform studio で起動する。

ここまではできたが、よくわからないエラーが発生し、時間がなかったので作業を断念した。今後、さらに学習して CPU を完成させたいと思っている。

3. 研究のまとめ・感想

(1) 研究のまとめ

FPGA を CPU として動作させることを最終目標としていたが、もっと FPGA・Verilog 言語・VHDL 言語についての勉強が必要だった。CPU はできなかったが、今後も研究を続けていきたいと思う。

(2) 課題研究についての感想

最初は先生の一言で FPGA に興味を持ち、自分たちで FPGA を使い CPU を作製したいと思った。FPGA を調べていると PSP などの身近なものに使われているので驚いた。プログラムも使ったことがない Verilog 言語や VHDL 言語だったのでとても苦労した。多少 C 言語に似ていて理解できる部分もあった。試作したゲームも、Verilog 言語で書かれているものを改良しブロックを置いてみた。ゲームとして動いたので感動した。この研究でパソコンと開発者のすごさが分った。普段の授業では習うことのないものを使用し、とても良い経験になったと思う。

(河田)

今回、FPGA を使って CPU を作るというとても難しく難しいものに挑戦した。研究を行う前は、Spartan-3E を使えば簡単に作れるのだろうと安易に思っていたのですが、実際に研究してみると、なにからしていけばいいのか全く分からなかった。しかしインターネットで調べていくうちに次第に分かるようになり、これから頑張れると思った時にはもうすでに半年が過ぎていた。ですが、後半から先生が協力してくださり、FPGA を使って、簡易ゲームを作成することができ、目的とは違うのですがいいものができた。

(中村)

4. 参考文献・サイト

・yamato-y さん My Life is Online
URL:<http://d.hatena.ne.jp/yamato-y/>

・chifanlema2008 さん 電脳筆記
URL: <http://diannao.exblog.jp/>



さん FPGA の部屋

URL: <http://marsee101.blog19.fc2.com/>

・adonishi さん FPGA/CPU で電子ブロック遊び
URL: <http://blog.livedoor.jp/spartan3/>

・Xilinx 社さん 公式ページ
URL: <http://japan.xilinx.com/>

