

スペクトラム・アナライザの製作

デジタル信号処理にFPGA内蔵の乗算器を活用する

内藤竜治

本誌付属のFPGA基板のデジタル信号処理への活用例を紹介する。ここでは、音声帯域のスペクトラム・アナライザを製作する。Spartan-3が内蔵する乗算器を活用してFFT (fast Fourier transform)を行う。JTAG (Joint Test Action Group) インターフェースによる通信機能を活用し、表示・制御にパソコンを利用している。

(編集部)

Spartan-3には高性能なハードウェア乗算器が内蔵されています。付属FPGA基板に搭載されているXC3S50には四つの乗算器が内蔵されており、これを使って何かおもしろいデジタル信号処理ができないかなと考え、高速フーリエ変換(FFT: fast Fourier transform)を用いた音声帯域スペクトラム・アナライザを作りました(写真1)。本機を「フーリエ次郎」と名づけます。

1. 基本設計

まず第一に、付属FPGA基板をだれにでも気軽に楽しんでもらえるように、外付け回路がなくても動作することを前提としました。つまり、付属FPGA基板に、電源と水晶発振器とJTAG (Joint Test Action Group) ケーブルをつないだだけの最低限の構成で動作が確認できるようにします。操作はホスト・パソコンから行いますが、ホスト・パソコンとの接続をできるだけ簡便にするため、通信にはFPGAの書き込みにも使われるJTAG信号を使います。めんどろな配線は必要ありません。

また、次のステップとして、A-DコンバータとOPアンプ、そして多少の抵抗とコンデンサをつなぐことにより、音声帯域のスペクトラム・アナライザを構成することにしました。

● 二つの動作モードに対応

本機は、FFT計算モードとスペクトラム・アナライザ・モードの二つの動作モードがあります。

FFT計算モードは、ホスト・パソコンから送ったデータをFFT演算してホスト・パソコンに送り返すモードです。これは最低限の構成のボードで動作します。

スペクトラム・アナライザ・モードでは、マイクで拾った音声をA-D変換し、FFTしてホスト・パソコンに送ります。これは、いわゆる音声帯域用スペクトラム・アナライザとして動作します。

● コンデンサ・マイク、ADC、OPアンプなどで構成

図1に回路図を示します。コンデンサ・マイクとA-Dコンバータの間にOPアンプ(米国National Semiconductor

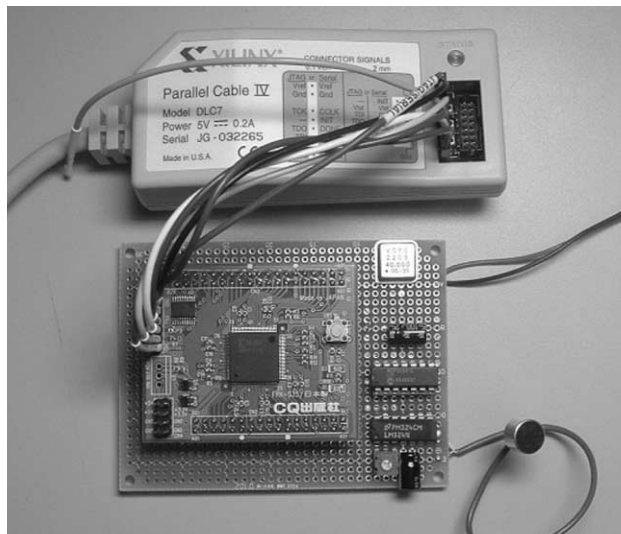


写真1 音声帯域スペクトラム・アナライザの外観
JTAGインターフェースを使い、パソコンで制御・表示する。

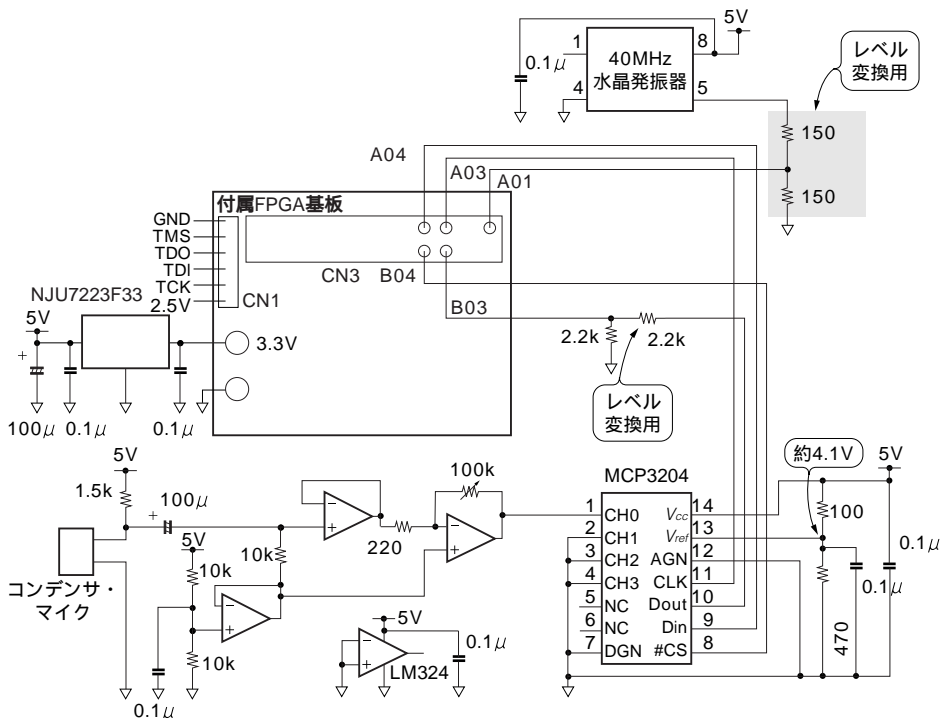


図1 音声帯域スペクトラム・アナライザの回路図

社のLM324)を入れ、ゲインを調整できるようにしています。A-Dコンバータは米国 Microchip Technology 社の MCP3204(12ビット, 100kHz)を使います。MCP3204は、0V ~ 約4Vの電圧を、100kHzのサンプリング周波数で12ビットの2進整数に変換します。

写真1のように、本機はユニバーサル基板を使って製作しました。FPGAボードのほかに、3.3Vレギュレータ、OPアンプ、A-Dコンバータ、電解コンデンサなどを実装しています。裏面にはいくつかのチップ部品が載っています。

● FPGAに16ビット固定小数点FFTを実装

本機を中心となるFPGAの仕様を表1に示します。

FPGAでは、512ポイントの16ビット固定小数点のFFTを行います。FFTではバタフライ演算という計算を繰り返し実行します。512ポイントの場合は、全部で2,304回のバタフライ演算を行うことになります。

この設計では、1回のバタフライ演算を12クロックで実行するので、1回のFFTには27,648クロックを要します。クロックが40MHzの場合は1回のFFTを約690μs、すなわちFFTだけならば毎秒1,447回計算できることになります。

なお、詳しい理由は後述しますが、データ量を512ポイ

表1 設計したFPGA機能の概要

項目	内容
データ数	512ポイント
精度	16ビット固定小数点
使用Block RAM	3個
使用乗算器	3個
FFT速度	691.2μs
ホストとの通信方法	USER1命令によるJTAG通信
スライス使用率	44% (768スライス中341スライス)
使用I/O数	7本
最大動作速度	136.129MHz
その他の特記事項	任意形状の窓関数を処理可能

ントとしたのはメモリ容量との兼ね合いによるものです。

FPGAのアーキテクチャとデータ・フローを図2に示します。パタフライ演算器とメモリ・ブロックを中心として、全体を制御するステート・マシン、FFT時にメモリなどを管理するコントローラ、ホスト・パソコンとの通信を行うJTAG通信回路、A-Dコンバータからのサンプリング・データを格納・制御するユニットなどから構成されています。

● パソコンで動作する制御ソフトウェアを作成

パソコンで動作する制御ソフトウェアの画面を図3に示します。Windows 98/2000/XPに対応しています。

FFT計算モードでは、パソコン上で作成したデータを本機に送ってFFTすることができ、サンプルの関数をFFTした結果を楽しむことができます。

スペクトラム・アナライザ・モードでは、FFT計算モードの機能のほか、マイクで拾った音声をリアルタイムにスペクトラム表示することができます。

2. FFT演算のくふう

データの取り扱いの利便性から、数値の精度は16ビット