

# 第1章

## 64点高速フーリエ変換回路設計のポイント

### Design Wave設計コンテスト2007 総評

和田知久, 田中孝一, 林 輝彦

本誌2007年5月号において、Design Wave 設計コンテスト2007の入賞者を発表した。ここでは、課題に対する回路設計上のポイントを解説する。Professional部門の入賞者を決定するにあたっては、技術的な評価のために、エンジニアの方々にご協力いただいた。その審査委員である田中孝一氏と林輝彦氏に、Professional部門の総評をお願いした。もう一方のStudent部門については、琉球大学にご協力いただき、同大学共催の「LSI デザインコンテスト2007」を同部門とさせていただきます。主催者であり、かつコンテスト課題作成者でもある和田知久氏に、Student部門の総評をお願いした。

(編集部)

いかと心配していました。しかし、予想に反してそれぞれの技量や経験を生かしたオリジナリティあふれる設計が投稿され、コンテストとして大いに盛り上がりました。

実際に64点FFTを計算する回路を構成する場合、効率が良く、ポピュラな方法のひとつは、 $64 = 4^3$ という性質を利用して、3回の計算ステージに分けて計算を実行するものです。

式(2)に示すように、インデックス  $n$  を mod 4 の数  $n_i$ ,  $k_i (i = 0, \dots, 3)$  を用いて変数変換すると、3重の を用いた式に変形できます。この1重の の計算は単純化することができ、いわゆるRADIX-4演算ステージになります。

$$X(k) = \sum_{n=0}^{63} x(n) \cdot W_{64}^{nk}$$

$$k = k_0 + 4k_1 + 16k_2 \quad (k_0, k_1, k_2 = 0 \sim 3)$$

$$n = n_0 + 4n_1 + 16n_2 \quad (n_0, n_1, n_2 = 0 \sim 3)$$

$$X(k) = \sum_{n_0=0}^3 \sum_{n_1=0}^3 \sum_{n_2=0}^3 x(n_0 + 4n_1 + 16n_2) W_{64}^{(n_0 + 4n_1 + 16n_2)(k_0 + 4k_1 + 16k_2)}$$

.....(2)

従って、図1に示すように、RADIX-4演算ステージを3段階用いるアーキテクチャによりFFT計算を実行できます。ただし、変数変換の都合により、第3ステージの出力の値は本来必要とする順序で計算が出力されないため、式(3)に示す順番の入れ替え(リオーダ)が必要となります。

$$X(k_0 + 4k_1 + 16k_2) = x_3(k_2 + 4k_1 + 16k_0) \quad \dots\dots\dots(3)$$

### 1. コンテストの課題と設計のポイント

和田知久

設計テーマは、デジタル信号処理では必ず登場する高速フーリエ変換(FFT: fast Fourier transform)回路の設計です。高速フーリエ変換は、離散フーリエ変換(DFT: discrete Fourier transform)を高速に計算する手法です。計算式自体は、式(1)に示すように単純です。

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-j\left(\frac{2\pi}{N}\right)nk} \quad (k=0, 1, \dots, N-1) \quad \dots(1)$$

今回はIEEE 802.11a/gなどのワイヤレスLANでよく使われている64点のFFT, すなわち  $N = 64$  です。

実は高速フーリエ変換回路は非常にポピュラな課題であり、参加者の皆さんが同じような設計をしてくるのではな

<b>KeyWord</b>	高速フーリエ変換, FFT, ワイヤレスLAN, RADIX-4, バタフライ演算, マイクロプログラム方式, DSP, リオーダ処理, FPGA
----------------	---------------------------------------------------------------------------

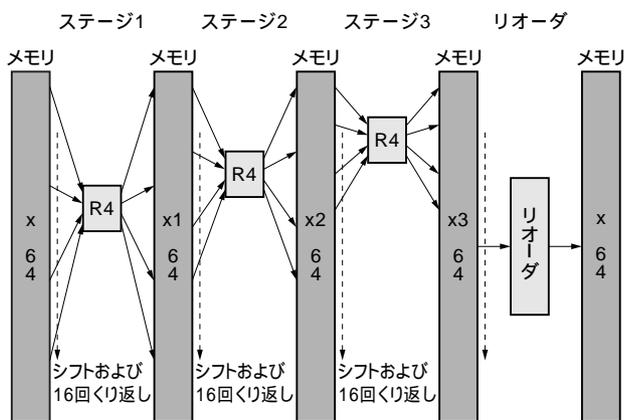


図1 RADIX-4 の64点FFT演算アーキテクチャ  
3段の演算の後、リオーダを行う。R4はRADIX-4のバタフライ演算。

すなわち、3段のRADIX-4ステージと1段のリオーダ・ステージで64点高速フーリエ変換を実現することができます。設計のポイントとしては、

- RADIX-4 アーキテクチャを採用するのか、別のアルゴリズムで計算するのか
- 各ステージに必要なメモリをどのように実現するのか
- 各ステージで似た回路が多いので、どのように回路を最適化するのか

などがあげられました。

## 2. Professional部門 総評

田中孝一，林 輝彦

Design Wave 設計コンテスト 2007 では、本誌において完成度の高い詳細なリファレンス・デザインが示されていたため、おおむねこのアイデアに従う設計が応募され、設計者ごとに個性を打ち出すのは難しいのではないかと予想していましたが、意に反して個性的な設計が応募され、枯れた技術テーマであると思われるFFT演算が、実は奥の深いテーマであるという印象を受けました。

### ● 審査結果

「Design Wave 設計コンテスト 2007」Professional部門の入賞者は、次の方に決定しました。

- 1位 石井康雄
- 2位 匿名
- 3位 チームきろんぼ(稲垣博彦, 音田良博, 篠原慈明)  
(敬称略)

賞品として、第1位の石井氏には、発表会講演を兼ねた2泊3日の沖縄旅行のほか、副賞のWindows Vista対応ノート・パソコン(NEC LaVie L PC-LL750HG)が、第2位には32V型液晶テレビ(三菱 LCD-H32MX60)が、第3位のチームきろんぼには、デジタル・カメラ(ニコン COOLPIX L11)が贈られました。

### ● 審査のポイント

信号処理アルゴリズムと設計手法のいずれか、または両方に普遍性があることを最大の評価尺度としています。

優れたアルゴリズムや設計手法というのは、真空管やトランジスタ、さらに将来出現するであろう素子など、技術を実現する具体的なデバイスが変わろうと、それに依存せずに各時代において優位性が保たれると考えられるのです。つまり、後世の人類にとっても優れていると認められるもの、すなわち、歴史的な価値があると思われるものに高い評価を与えました。もちろん、普遍的な価値のあるアイデアによって設計されたLSIは、結果として、2007年の時点においても、信号処理速度や回路規模など(おそらく消費電力も)の定量的な性能パラメータを最適化するものとなっています。特定のメーカーの特定の半導体、特定の開発言語などに依存せず、普遍的に優れているものを創出しようという高い志は、現時点で実現し得る最適化された仕様となって現れています。

既存のものとは異なる新しいアイデアを抱いたとき、それが既存のものを代替するような優れた素性を持つ独創的なアイデアなのか、それとも、技術的な限界があり、いかなるチューニングを試みても既存のものを凌ぐことはできず、歴史的には葬りさらされてしまうような単なる奇抜なアイデアなのかを、客観的に自己評価して設計をした方が、高い評価を獲得しました。

今回のコンテストの評価尺度とは直接的には関係ありませんが、信号処理速度や回路規模などの性能パラメータが同一であるならば、信号処理アルゴリズムや回路の対称性などにも着目して、美しい設計を心がけていただきたいと思います。

今回のコンテストのテーマである64点FFT回路では、仕様書(本誌2006年11月号, pp.143-155を参照)で示された回路は、基数4のバタフライ演算を採用し、処理を3個のステージに分割しています。

図2に仕様書で示された回路のステージ1を示します。