

FPGA と CPU の協調動作による離散フーリエ変換の実装

Discrete Fourier transformation based on
cooperative operation of FPGA and CPU

安全寺 涼太[†] 田中勇樹[†] 魏書剛[†]
Ryota ANZENJI[†] Yuki TANAKA[†] Shugang WEI[†]

[†] 群馬大学理工学府

[†] Graduate School of Mechanical Science and Technology, Gunma University

1. はじめに

現在のコンピュータでは主に CPU が計算処理を行うが、CPU のみで計算性能を高速化させるには限界がある。そこで、CPU と専用設計されたハードウェアである FPGA を連携させることを提案する。

先行研究[1]では、FPGA と CPU 間の通信時間が非常に大きいと、全体的な処理の高速化はできなかつた。そこで、通信処理の回数を先行研究に比べ小さくすることで、全体的な処理の高速化を図る。

2. 離散フーリエ変換(discrete Fourier transformation: 以下 DFT)

本研究で扱う DFT の回路実装について説明する。時間 t の関数 $s(t) = s_0, s_1, \dots, s_{N-1}$ の離散フーリエ変換は以下の式で定義される[2]。

$$S(f_k) = \sum_{i=0}^{N-1} s(i) e^{-j2\pi f_k i}. \quad (1)$$

式(1)の実部と虚部を分けると以下となる。

$$\text{Re } S(f_k) = \sum_{i=0}^{N-1} s(i) \cos(-j2\pi f_k i). \quad (2)$$

$$\text{Im } S(f_k) = \sum_{i=0}^{N-1} s(i) \sin(-j2\pi f_k i). \quad (3)$$

周波数 f_k のパワー $P(f_k)$ は以下の式で表される。

$$P(f_k) = (\text{Re } S(f_k))^2 + (\text{Im } S(f_k))^2. \quad (4)$$

FPGA 上では式(2), 式(3), 式(4)の計算を行う。FPGA 上に実装する回路のブロック図を図 1 に示す。

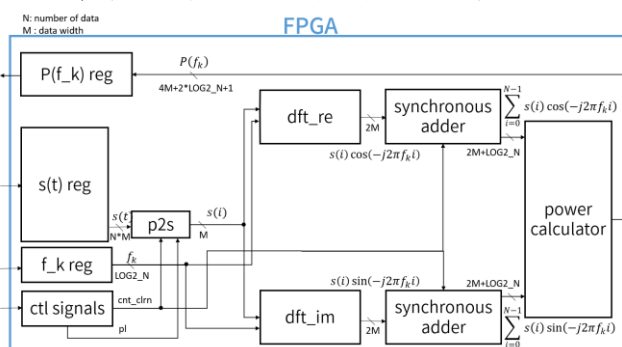


図 1 DFT 回路のブロック図

DFT に必要な $s(t)$, f_k は通信回路の入力レジスタに接続し、三角関数の値はあらかじめ計算して LUT として実装する。出力 $P(f_k)$ は通信回路の出力レジスタへ接続する。通信規格は AXI4 Lite とし、通信回路としては Xilinx 社の AXI peripheral IP を使用する。

3. 評価手法

本研究では、FPGA と CPU が 1 つのチップに搭載された評価ボード Zybo Z7-20 を使用し、FPGA と CPU の協調動作を行うシステムの評価を行う。1. CPU で FPGA とデータの送受信を行うプログラム 2. CPU のみで DFT を行うプログラム をそれぞれ実行し、処理全体の CPU クロック数を計測することで計算処理の所要時間を評価する。

4. 結果

データ数 N およびデータ幅 W を変更し、CPU のみで DFT を行うプログラムと FPGA を使用するプログラムをそれぞれ 5 回実行した。所要クロック数の 5 回の平均値を表 1 に示す。

表 1 所要クロック数の平均値

実験条件	CPU のみ	FPGA 使用
$N = 32, W = 16$	131228	48149
$N = 16, W = 64$	106400	58207
$N = 32, W = 64$	527938	119517

結果から、 N および W の値にかかわらず、FPGA を使用したほうが全体の計算が高速であった。

5. 今後の課題とまとめ

本研究の回路内では、総和計算を $\{(a_0 + a_1) + a_2\} + \dots$ という順で 1 クロックに 1 回ずつ行っているため、データ数に比例して FPGA 側の所要クロック数が増加する。よって、データ数が極端に大きい場合は CPU 側で計算待ち時間を設ける必要がある。総和演算を並列化することで、DFT 回路の高速化が期待できると考えられる。

本研究によって、通信処理を減少させることで、FPGA と CPU による協調動作によって全体的な演算を高速化することができると示唆された。

参考文献

- [1] 伊東 樹生, "FPGA と CPU の協調動作による計算の高速化", 平成 30 年度, 群馬大学理工学部卒業論文, 2018.
- [2] 宮川 洋 / 今井 秀樹, "高速フーリエ変換", 科学技術出版社, 1979.