

データ駆動型プロセッサ用入出力I/F回路の検討

1230302 植元 陸 【コンピュータ構成学研究室】

1 はじめに

近年, IoT(Internet of Things) デバイスは様々な分野で使われており, 高性能かつ低消費電力であること, 設計柔軟性を持つことが求められる. この要件を満たす IoT デバイスの実現方法として, FPGA(Field Programmable Gate Array) に実装するデータ駆動型プロセッサ (DDP:Data-Driven Processor) が注目されている.

非同期回路である DDP は, アプリケーションプロセッサやセンサ等の同期回路と連携することも想定されている. そのため, 先行研究では, DDP と同期回路を接続するための I/F 回路が検討されている [1]. これに基づき本研究では, DDP 用入出力 I/F 回路 (以下, DDP-IF) を FPGA 向きに設計した.

2 DDP-IF の構成

本研究で設計した DDP-IF の構成を図1に示す. DDP-IF は, 同期回路と DDP の間で送受するパケットを管理する Packet Buffer(PB), パケット入出力制御 I-Ctrl と O-Ctrl から構成される. クロック同期回路と, 転送要求 send/転送許可 ack 信号の授受を通して非同期に動作する DDP との間でタイミングを同期する必要がある.

2.1 データ入力制御回路 (I-Ctrl)

I-Ctrl は, PB からデータ書き込み信号 write を受けると DDP とのハンドシェイクを開始する. write はクロックに同期して更新されるため, 1パケットを1クロックサイクルで入力可能である. クロックの立ち上がり同期してパケットが入力されるため, 1パケットの入力に要する時間がクロック周期内に収まる必要がある.

2.2 データ出力制御回路 (O-Ctrl)

O-Ctrl は, DDP からデータ転送要求信号 send_out を受けると DDP に対してデータ転送許可信号 ack_in の送信を行い, PB に対してデータ有効信号 valid の送信を行う. この valid は, クロックに対して非同期に到着する send_out を元に同期信号として生成する必要がある.

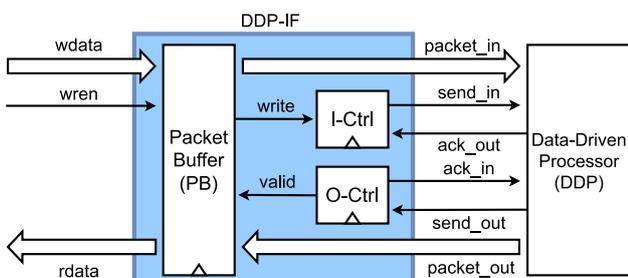


図1 DDP-IF の構成

一般的に非同期信号を同期回路側で利用する方法には, Synchronizer や FIFO を用いる方法などがある. これらの手法では Synchronizer を基本とする回路が多いため, 本研究でもまず Synchronizer を採用した. この方法では, send_out を入力 D とした D-FF の多段カスケード接続により同期化を行う. D-FF の Setup/Hold 制約が満たされずに出力信号が発振しても, 後段の D-FF により安定化できるように段数を決定する必要がある.

本研究では Nand ゲートで構成されたエッジトリガ型 D-FF を論理スライス内へ配置する方法を工夫し, D-FF の Setup/Hold 時間を短縮して発振発生確率を抑えた.

3 評価

Xilinx 社の Vivado を用いて同社 Zynq-7010 の PL (Programmable Logic) 部に DDP-IF と DDP を実装し, パケットを正常に入出力可能なことをシミュレーションにより確認した. この中で, I-Ctrl 内の各制約条件が充足できていることをタイミング検証により確認した.

O-Ctrl については, 8段の D-FF からなる Synchronizer について提案配置と自動配置のそれぞれで実装してシミュレーションを行い, 1段目 D-FF の Setup/Hold 時間のうち, i 段目 ($1 \leq i \leq 8$) D-FF の発振防止時間を分析した. その結果を図2に示す. このグラフには, i 段目 D-FF が発振する確率を算出し併せて示している. この結果から, 提案配置法によって, 5段以上の D-FF があれば発振の発生確率が限りなく 0 に近づけられ, DDP-IF の安定動作が可能になる見通しが得られた.

参考文献

- [1] H. Shibuta, et al., "Self-Timed I/O Architecture of Data-Driven Sensor Hub," Proc. of PDPTA 2016, pp. 323-328, July 2016.

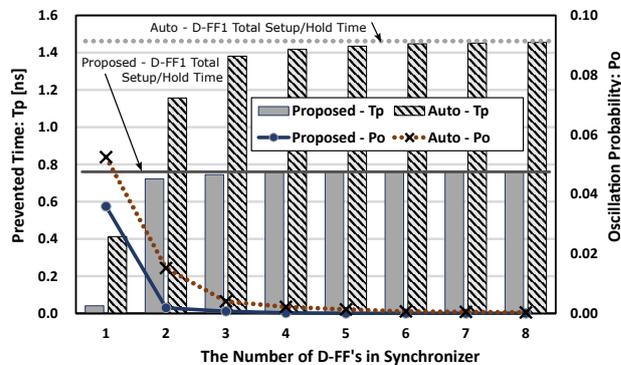


図2 発振防止時間 T_p と発振発生確率 P_o . (クロック周波数: 50MHz, 時間精度: 1fs)