

電気・電子情報工学専攻	学籍番号	M163265	指導教員氏名	市川 周一
申請者氏名	正信 健人			

論文要旨 (修士)

論文題目	高位合成によるプロセッサ実装手法の検討
------	---------------------

組込みシステムでは、ハードウェア記述言語 (HDL) で記述され FPGA などに論理合成できるソフトプロセッサが広く利用されている。近年では C 言語などの動作記述から HDL 記述を自動で生成する高位合成 (HLS) 技術が成熟している。Skalicky ら (2015) は C 言語で記述された命令セットシミュレータを高位合成し、ソフトプロセッサを生成することを提案した。また、HLS ツールのディレクティブを使用してスループットやパフォーマンスの向上など生成されるソフトプロセッサの最適化が期待できると述べている。しかし、個々のディレクティブに対する最適化の定量的な評価は行われていない。

坂本 (2018) および岩本 (2019) は、Skalicky らの手法をベースに命令セットシミュレータを高位合成し、CHStone ベンチマークの各アプリケーションの関数の一部を専用命令として実装した。しかし、実装の多くに不具合が生じている。本研究は、岩本の追実験を行い実装の問題点を明らかにすることを目的とし、追加検証として HLS ツールのディレクティブによるソフトプロセッサの性能および回路規模の変化の検証を行う。HLS ツールには Vivado HLS 2020.1 を用いる。

追実験および CHStone のテストベクタによるセルフチェックを行った結果、専用命令なしの実装では全 12 種のアプリケーションの内 `dfmul`, `dfsine` の計算結果が一致せず、`jpeg` では C シミュレーションでエラーとなった。ソフトプロセッサの符号無し整数の乗算命令の記述で型キャストの不具合が生じており、これを修正した結果 `dfmul` と `dfsine` で計算結果が一致した。専用命令ありの実装では、専用命令化する関数の選択基準や参照渡しの方法が異なる計 39 種の実装の内、計算結果が一致した実装は 15 種だった。以上の専用命令なしの実装および、専用命令ありの計算結果の一致を確認できた 15 種の実装をディレクティブを指定する対象とした。

専用命令なしの実装では、配列を個々の要素に分解する `pragma HLS array_partition complete` を MIPS プロセッサが持つ 32 個のレジスタに指定した場合、平均で 17.0 % 実行時間 (レイテンシ) が削減され、ハードウェアリソース使用量 (Slice 数) は 477 % 増加した。専用命令ありの実装では、ループを自動的に展開する `pragma HLS unroll` を専用命令化した関数のループ記述に指定した場合、実行時間は最大で 5.8 % 減少し、ハードウェアリソース使用量は最大で 539 % 増加した。関数およびループをパイプライン化する `pragma HLS pipeline` を専用命令化した関数に指定した場合、実行時間は最大で 13.1 % 減少し、ハードウェアリソース使用量は最大で 267 % 増加した。ソフトプロセッサの記述に対して最適化が有効に働くディレクティブを指定した場合、実行時間はハードウェアリソース使用量とのトレードオフとなる。