

氏 名	杉山 皓星	指導教員	藤枝 直輝
-----	-------	------	-------

題 目	システムコール模倣による ソフトプロセッサの相互検証に関する研究
-----	-------------------------------------

1 研究背景と目的

近年, FPGA (Field-Programmable Gate Array) を使ったハードウェア開発が注目されることで, ソフトプロセッサが利用される例が増えている. ソフトプロセッサの開発手法の 1 つに相互検証と呼ばれるものがある. 相互検証は基準となるシミュレータと検証対象のプロセッサで命令の実行ログの比較をすることで行われ, 開発段階に応じて様々な命令列が使用される. 例として Herdt らの手法では, 指定された傾向に沿ったランダムな命令列を, リアルタイムに連続生成する [1]. ファイルの操作などを含む, 実用的なプログラムを使った相互検証では, 検証のカバレッジを広げられる反面, システムコールの扱いが問題となる.

松川らは Verilator を利用することで, システムコールを模倣してソフトプロセッサの相互検証を行えることを示した [2]. この手法の問題点は, 単一のプロセッサや少数のアプリケーションにしか対応していないという点や, システムコール模倣処理の記述統一が行われていない点などが挙げられる.

本研究の目的は, 松川らの手法による相互検証を, 最低限の記述変更で実現するための方法論を確立することである. まず, システムコール模倣による相互検証において, テストベンチやプロセッサに求める要件を明確にする. 次に, この要件に基づき, 複数のプロセッサに対して拡張を施す. そして, 各プロセッサに対し, 相互検証の実行速度や, 記述の変更量を評価する.

2 提案手法

システムコール模倣による相互検証を行うためには, プロセッサや検証環境が満たすべき要件がある. そこで, まずはその要件を定義する必要がある. そして, その要件を満たすようにプロセッサや検証環境を修正する. 本研究では, 松川らが使用した kronos に加え, RVCoreP を変更対象のプロセッサとする.

プロセッサに求める要件のうち重要なのが, システムコール命令により模倣処理を行う前後のパイプラインの扱いである. 具体的には, 模倣処理を始める前にそれ以前の命令は書き戻しを終えていることと, 模倣処理を終えたらパイプラインをフラッシュすることが必要である. そうでなければ, 前後の命令が誤った結果を保持しうる.

kronos においては, この要件に従って, 模倣処理を行う前の対応を変更する. 松川らは, 特定のステージからのフォワーディングによって模倣処理に必要なデータを取得していた. しかしこの方法は, 命令列によっては問題が生じる. 本研究では, 模倣処理の直前にストールを挟むことで, この問題に対処する.

RVCoreP では, 実行ログの出力のために必要な情報がすべて揃うのが, 実行ステージではなくメモリアクセスステージである. そのため, メモリアクセスステージの情報をもとに, ログの出力や, システムコール模倣が必要かの判断を行う. この場合も, kronos と同様に, 模倣処理の直前のストールや, 模倣処理直後のフラッシュは必要である.

3 評価

本研究では, 要件を満たすように修正したプロセッサや検証環境を使用し, 実際に相互検証を行う. 相互検証にかかる時間を測定し, 各プロセッサとシミュレータで実行速度の比較を行う. また, 各プロセッサに対し, 要件を満たすために変更した記述の変化量を評価する.

kronos においては, シミュレータに対して平均 72.42 % の実行速度が得られた. そして, 変更した記述の変化量は全体に対して 2.14 % であった.

RVCoreP においては, シミュレータに対して平均 92.07 % の実行速度が得られた. そして, 変更した記述の変化量は全体に対して 19.88 % であった.

参考文献

- [1] V. Herdt, D. Grosse, E. Jentsch, R. Drechsler : Efficient Cross-Level Testing for Processor Verification: A RISC-V Case-Study. 2020 Forum for Specification and Design Languages (FDL), 1-7, 2020.
- [2] 松川達哉, 藤枝直輝, ソフトプロセッサの相互検証に関するケーススタディ, 情報処理学会研究報告 2021-ARC-244, No. 37, 2021.