

C-009

ウェーブ化 MFU のウェーブ段数依存性

Wave degree vs. Dominant Characteristics of a Waved MFU

横山 温子† 大隅 裕介† 深瀬 政秋† 佐藤 友暁‡
 Atsuko Yokoyama Yusuke Osumi Masa-aki Fukase Tomoaki Sato

1. まえがき

著者らは、ユビキタスの簡易小型化携帯性簡易小型化携帯性を目指してハードウェア暗号組込み型マルチメディアモバイルプロセッサ HCgorilla の開発に取り組んできた。HCgorilla は Multi-core 構成で、各コアは依存関係のない複数のインストラクションを一塊として同時並列処理を実行する LIW (Long Instruction Word) 方式を採用している。LIW の要である演算実行段に関して、整数型から浮動小数点型までいくつかの改良がおこなわれた。

HCgorilla.4 の演算実行段は整数型パイプライン(Integer Unit : IU) 2段と浮動小数点型パイプライン(Floating Point number Unit : FPU) 5段の並列構成で、最大4並列処理を行うことができる。しかしレイテンシが異なるため、命令スケジューリングが必要であった。ソフトウェアを用いてこの問題を解消するには、コンパイラによってレイテンシの差を調整することになる。この方法では、コンパイラの開発期間が長くなってしまふ為、コストパフォーマンスが良くない。

ハードウェアの並列性を有効活用するためには、TLP (thread level parallelism) と ILP (instruction level parallelism) のソフト的抽出がなされるが、演算命令スケジューリングの問題は H/S 協調設計で解決できる。その対策として著者らは HCgorilla の演算実行段を多機能化し、多機能型実行段(MFU : multi-functional unit)をウェーブ化する [1]。しかし、多機能化されたことによる回路規模の拡大は、クリティカルパスが延長され、プロセッサ全体の性能向上に必ずしも貢献するわけではない。そこで、本研究ではウェーブ段数とクロックスピード・面積の依存性について検討する。

2. 演算実行段の多機能ウェーブ化

図1(a)に示す HCgorilla.4 の演算実行段は整数演算と浮動小数点演算の間でスケジューリングが必要である。そこで本研究では、スカラユニット方式となっていた IU と FPU を統合した多機能型パイプライン 1-waved MFU について検討を行った(Fig.1(b))。MFU は整数型演算や浮動小数点型演算などの従来から備わっていた各機能を、同一の

レイテンシで動作させるので、命令スケジューリングは解消された。ただし、クロックスピードの減速を招き、必ずしもプロセッサ全体の性能向上につながらない。

クロックスピードを劣化させることなく、ハードウェアユニットを統合するためには、ウェーブ化が有効である。ウェーブ化とは、通常のパイプラインレジスタを使用しない信号伝播制御方式である。ウェーブパイプラインのクロックスピードは、クリティカルパスと最小遅延パスの時間差から導出される。クリティカルパス遅延に最小遅延を近づけ、クロックスピードの調整を行う。したがって、多機能ウェーブパイプラインにはクロックスピードの劣化なしで複雑な命令スケジューリングの解消が期待される。

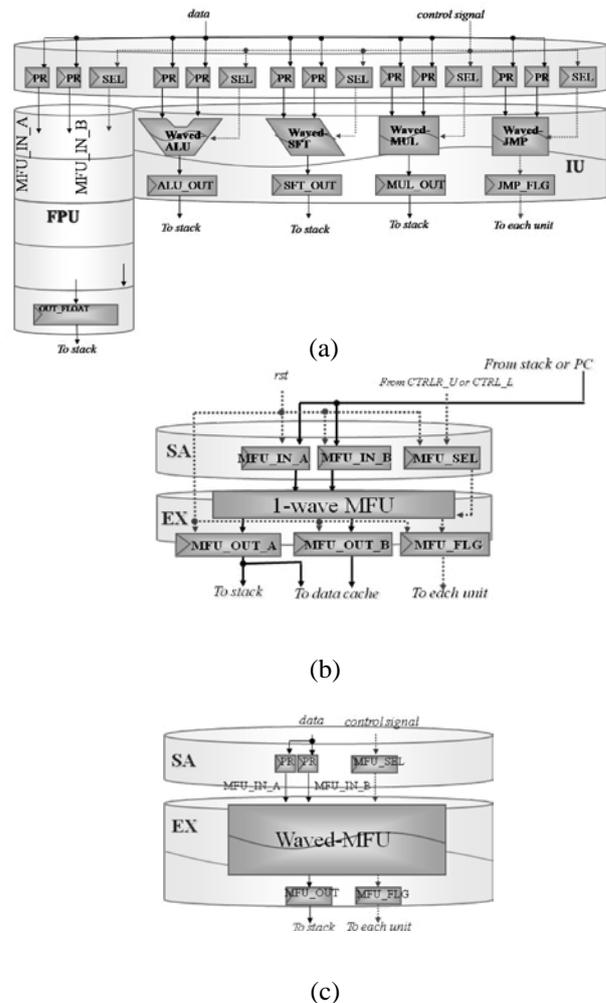


Fig1. HCgorilla's EX stage. (a) non-waved regular MFU (b) 1-waved MFU. (c) more than 2-waved MFU

†弘前大学大学院理工学研究科電子情報システム工学専攻
 Graduate School of Science and Technology, Hirosaki University
 ‡弘前大学総合情報処理センター
 C&C Systems Center, Hirosaki University

1-waved MFU に 2 段以上のウェーブ化を施した回路図を Fig.1.(c)に示す. n 段のウェーブパイプラインとは, 入力信号の n -clock 後に信号が出力されるパイプラインである. 本研究では, バッファやインバータを 1-waved MFU に挿入し, 前後の信号が衝突しないように遅延調整を行い, 2-waved, 4-waved MFU を構築し, それぞれの waved MFU についてシミュレーションを行った結果, 正常に動作することを確認した.

3. Waved MFU の評価と段数依存性

Non-waved regular, 1-waved, 2-waved, 4-waved MFU のクロックスピードにおける多機能化とウェーブ化の効果を Fig.2 に示す. Non-waved MFU と比較した際の 1-waved MFU のクロックスピードの減速は, パイプライン処理がなされていないことに起因する. 1-waved は Fig.1(b)に示されているように, ウェーブ化はされていない. Non-waved regular MFU はパイプラインレジスタによりステージを区切られて構成されているのでクロックスピードは速い. 他方では, 2 段以上の waved MFU では, ウェーブの段数が多くなるに従い, クロックスピードが速くなる傾向が得られた.

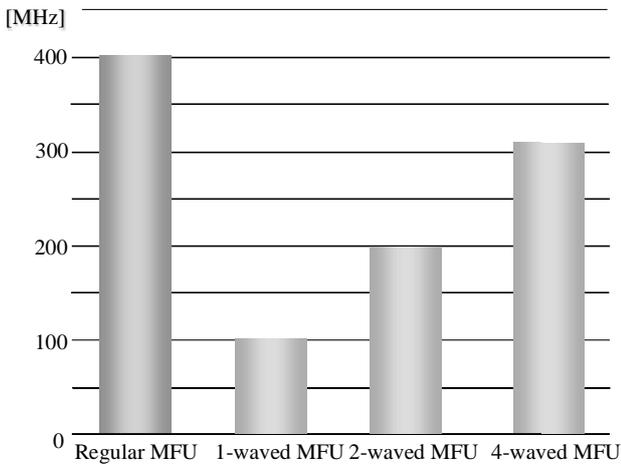


Fig.2 MFU clock frequency

Non-waved regular, 1-waved, 2-waved, 4-waved MFU の面積における多機能化とウェーブ化の効果を Fig.3 に示す. Regular MFU と 1-waved MFU の差は, 2-waved IU を構成する 4 個の integer arithmetic units と 5-clock FPU の一括論理合成に伴う combinational logic blocks の節約分と, 以下に列挙する pipeline registers の削減に依る.

- SA-EX 間の instruction pipeline registers を 11 個から 3 個に減らしたこと
- FPU 内の 4 個の arithmetic pipeline registers を不要としたこと

1-waved MFU と 2 段以上の waved MFU の差はウェーブ化で使用する遅延調整用バッファ分に相当する. 一般的に, 挿入バッファによる面積の増加分は arithmetic pipeline registers の削除による面積の減少分を超えないが, 興味深いことに Fig.3 から, 2 段以上の waved MFU を用いた系において, 超えてしまうという結果が得られた. 下図の場合にウェーブ化の効果が出ていないのは, 使用する CAD ツールのバッファ挿入機能と面積の最適化機能が必ずしもうまく連携していないためだと考えられる.

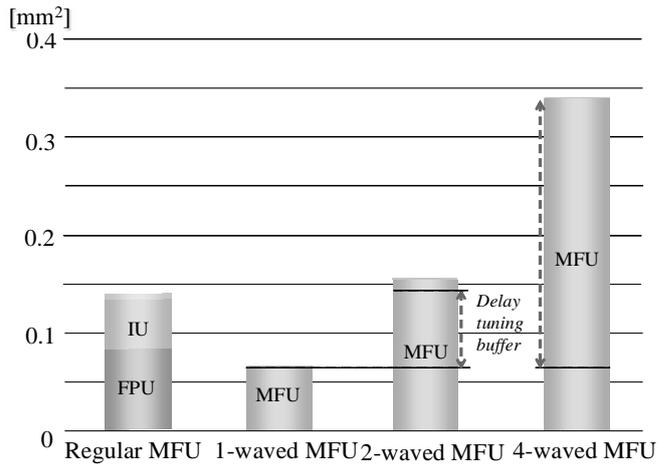


Fig.3 MFU area

4. むすび

本研究では, レイテンシの異なる 2 本のパイプラインから構成された HCgorilla.4 の演算実行段を, 一つのユニット MFU として多機能化を行い, ソフトウェア処理の必要のないように命令スケジューリングを解消した. さらに 1 段, 2 段, 4 段の MFU をウェーブ化し, クロックスピード, 面積と段数依存性について評価した.

今後の課題としては,

- スイッチング情報を加味した消費電力の評価
- タイミング検証
- ウェーブ化用に最適設計されたバッファの組み込みが挙げられる

5. 謝辞

本研究は東京大学大規模集積システム設計教育研究センター(VDEC)を通し, シノプシス株式会社の協力で行われたものである.

6. 文献

- [1] 野田 一訓, 横山 温子, 武田 宏樹, 深瀬 政秋, 佐藤 友暁, “実行段の多機能ウェーブ化によるマルチメディア機能強化”, Technical Report of IEICE, Vol. 107, No. 8, pp. 7-12, 2008 年 3 月.