

# MorphCore: An Energy-Efficient Microarchitecture for High Performance ILP and High Throughput TLP

著者: Khubaib M.Aater Suleman Milad Hashemi Chiris Wilkerson Yale N.Patt

出典: *Proc. of the 45th Annual International Symposium on Microarchitecture, pp.305-316 2012.*

発表者: 学籍番号 1353012 氏名 齋藤 純

## 1 はじめに

近年では、高いシングルスレッド性能かつ高いマルチスレッド性能を持ち、低消費電力なプロセッサが必要とされている。従来型アーキテクチャである命令を逐次実行するインオーダーコアは、低消費電力だがシングルスレッド性能が低い。対して、命令の順番を入れ替えて実行するアウトオブオーダーコアは、高いシングルスレッド性能を持つ代わりに、消費電力が大きい。

そこで本研究では、高いシングルスレッド性能を持つアウトオブオーダーコアに高いマルチスレッド性能を持つSMTインオーダーコアを組み合わせることで、高いシングルスレッド性能と高いマルチスレッド性能を両立し、かつ低消費電力であるMorphCoreを提案する。

## 2 既存技術

### 2.1 インオーダーコア

インオーダーコアは、命令をプログラムに書かれた順に実行していくことで演算を行う。小規模な回路でコアを構成できるため、消費電力を小さくすることができるがシングルスレッド性能は低い。

### 2.2 アウトオブオーダーコア

アウトオブオーダーコアは、命令をプログラムに書かれた順ではなく、処理に必要なデータが揃った命令から演算を行う。実行可能な命令から実行していくため、無駄な待ち時間が少なくなり、シングルスレッド性能が高い。一方で命令を一時的にためておくキューなどが必要なことから大規模な回路構成になり消費電力が大きい。

### 2.3 同時マルチスレッド (SMT)

同時マルチスレッドは、コア内に複数のプログラムカウンタや、レジスタファイルを用意して、複数のスレッドを1つのコア内で同時に実行するものである。あるスレッドがキャッシュミスなどによりストールした際に、別のスレッドに切替えて処理を継続することで、無駄な待ち時間が少なくなりコアのマルチスレッド性能を向上させることができる [1]。

### 2.4 従来のコアの性能

MorphCoreに組み合わせるインオーダーコアとアウトオブオーダーコアの最適な構成を調べるため、各コアにSMTを実装しスレッド数を変化させた場合に性能がどのよう

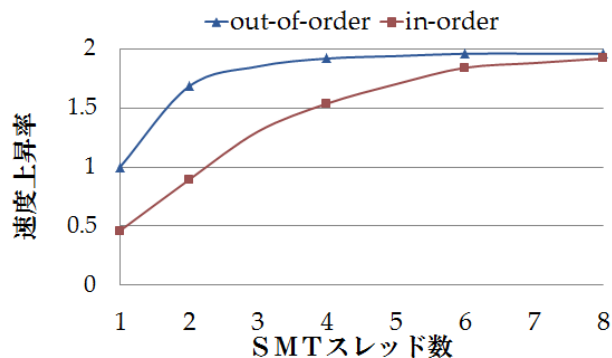


図 1: SMT スレッド数を変化させた場合の速度向上率

に変化するかを評価する。図 1 に、SMT を使用しないアウトオブオーダーコアの性能を基準とした際の SMT を使用する場合の各コアの速度向上率を示す。SMT のスレッド数が 1 のとき、インオーダーコアはアウトオブオーダーコアの半分程度の性能しか持たないが、スレッド数が増えていくにつれてインオーダーコアとアウトオブオーダーコアの性能差がなくなっていることがわかる。またアウトオブオーダーコアはスレッド数を増やしても性能が飽和しやすいことがわかる。

## 3 MorphCore

MorphCore は、実行しているスレッド数に応じて、インオーダーモードとアウトオブオーダーモードを切り替えることで、高いシングルスレッド性能と高いマルチスレッド性能を両立し、かつ低消費電力を実現する。MorphCore のアーキテクチャを図 2 に示す。MorphCore は、2 スレッド SMT アウトオブオーダーコアに 8 スレッド SMT インオーダーコアを組み合わせることで構成される。MorphCore には、2 つの実行モード (インオーダーモード、アウトオブオーダーモード) があり、実行しているスレッド数が 2 以下の場合、シングルスレッド性能の高いアウトオブオーダーモードで各スレッドを実行する。実行しているスレッド数が 3 以上の場合、マルチスレッド性能の高いインオーダーモードで各スレッドを実行する。このように実行中のスレッド数に応じて動的に実行するモードを切り替えることで高いシングルスレッド性能と高いマルチスレッド性能を両立することができる。

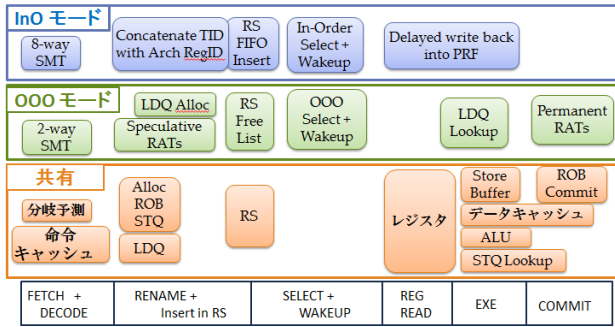


図 2: Morph コア

アウトオブオーダーコアに必要な回路と SMT インオーダーコアに必要な回路には共通点が多く、2つのモードで使用する回路を共用することで、MorphCore の実装による面積増加は通常のアウトオブオーダーコアと比較して 1.5%程度と非常に小さくすることができる。例えば、図 3 に示すように、アウトオブオーダーモード、インオーダーモードでリザーベーションステーションやレジスタファイル、ALU などの多くの回路を共用している。命令発行制御を行うウェイクアップ回路やセレクト回路は共有できないがそれらは少数であることが分かる。

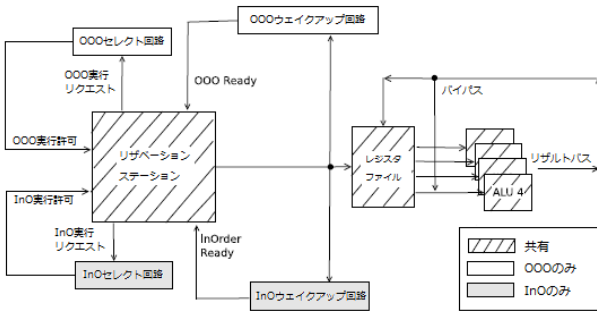


図 3: 内部構造

表 1: 評価したアーキテクチャ

Core	コア数	周波数 (GHz)	タイプ	1コアの SMTスレッド数		総スレッド数
				OOO	InO	
OOO-2	1	3.4	OOO	2	2	2
OOO-4	1	-5%	OOO	4	4	4
MED	3	3.4	OOO	1	2	3
SMALL	3	3.4	InO	2	2	6
MorphCore	1	-2.5%	OOO/InO	2 OOO/ 8 InO	8 InO	2 OOO/ 8 InO

## 4 評価手法

x86 サイクルレベルシミュレータと消費電力シミュレータである McPAT に提案手法を実装し、シングルスレッドアプリケーション、およびマルチスレッドアプリケーションを実行して評価を行った [2]。MorphCore の比較対象として、同時実行スレッド数、コア数の異なる 3 種類のアウトオブオーダーコアと 1 種類のインオーダーコアを用いる。表 1 に評価したアーキテクチャを示す。

図 4 に、シングルスレッド性能とマルチスレッド性能の速度向上率を示す。評価結果より、MorphCore はアウトオブオーダーコアとほぼ同等のシングルスレッド性能を持ち、マルチスレッド性能はアウトオブオーダーコアと比較すると 22% も高く、シングルスレッド性能とマルチスレッド性能を平均すると、比較対象の中で最も性能が高いことがわかる。

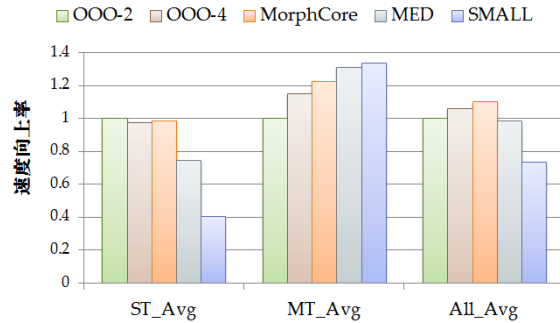


図 4: 速度向上率

次に図 5 にシングルスレッドとマルチスレッドを実行したときの消費電力を示す。評価結果より、MorphCore はシングルスレッド実行時はアウトオブオーダーコアとほぼ同等の消費電力だが、マルチスレッド実行時は 10% 近く消費電力を削減でき、シングルスレッド性能とマルチスレッド性能を平均するとアウトオブオーダーコアより消費電力が小さいことがわかる。

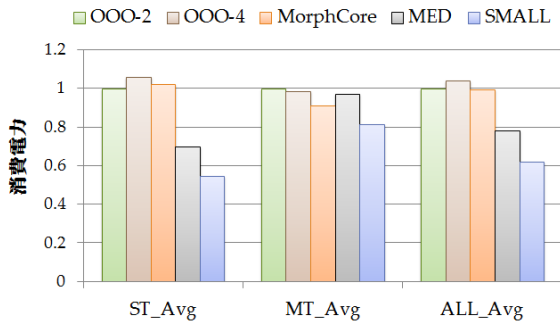


図 5: 消費電力

## 5 終わりに

本研究では、アウトオブオーダーコアに SMT インオーダーコアを組み合わせた MorphCore を提案した。評価結果より、提案した MorphCore は、消費電力を増加させることなく、高いシングルスレッド性能と高いマルチスレッド性能を発揮することができる。

## 参考文献

- [1] H.Hirata et al., "AN elementary processor architecture with simultaneous instruction issuing from multiple threads" in ISCA, 1992
- [2] S.Li et al., "McPAT" an integrated power, area, and timing modeling framework for multicore and manycore architecture" in MICRO 42, 2009