

## 動的再構成回路 DRoMPA2.0 の時分割実行モードを用いた

## アプリケーション実装評価

## Evaluation of Application Mapping using Time Sharing Mode of Dynamically Reconfigurable Circuit : DRoMPA2.0

小椋 清孝†      菰口 将考†      森下 賢幸†      伊藤 信之†  
 Kiyotaka Komoku   Masataka Komoguchi   Takayuki Morishita   Nobuyuki Itoh

## 1. まえがき

本研究では、現在我々が開発中のメディア処理向け動的再構成アーキテクチャである DRoMPA2.0(Dynamic Reconfiguration oriented Media Processing Architecture)の時分割実行モードを用いてメディア処理を構成する幾つかの処理ルーチン(逆量子化, IMDCT 等)を実装し、通常のパイプライン実行モードと比較した場合の、実行速度の向上率について評価を行った。

複数の種類の演算器を持つヘテロ演算器型動的再構成回路へ処理を実装する際、パイプライン処理のフローに従いつつ再構成回路上的演算器に処理を割当て、もし再構成回路上に収まらない場合は適宜パイプラインを分割して実装する。処理の構成によっては再構成回路上の演算器を十分に使用していない状態で回路分割を行う状況が発生し、性能低下の原因となる。この問題への対応方法として我々は“時分割実行”モードの導入を提案している。時分割実行は、再構成回路上の演算ユニットの演算結果を保持するレジスタを多重化することで実現している[1]。

## 2. DRoMPA2.0 の実行モード

DRoMPA2.0 は Unit Group (UG) という最小構成単位を持つ。UG は 4 種類の基本演算ユニットである加減算器 2 個、乗算器 2 個、カウンタ 2 個、レジスタ 5 個で構成されており、これらがメッシュ状に接続されている。アプリケーションに応じて必要な数の UG を搭載して用いることを想定している。

このプロセッサの動作について、動的再構成回路上的各演算器を接続してパイプライン回路を構成する通常動作モードを“パイプライン動作モード”と呼び、提案する“時分割実行モード”と区別する。パイプライン動作モードでは、実装するアプリケーション回路について再構成回路上に収まるようにパイプラインを分割し、分割したそれ

ぞれの処理についてパイプライン処理を行う。搭載 UG 数によって決まる演算ユニットの数・種類だけでなく、演算ユニット間の接続関係や次段へのデータ受け渡しのタイミング等も考慮して分割をする必要があり、分割に際して様々な制約が存在する。

一方、時分割実行モードでは、処理対象の回路が全て収まる、任意の大きさ (n 個の UG で構成) の“仮想再構成回路”を考え、その上へ処理を実装するような形となる。実際の演算ユニットへの処理の割付けは処理の流れ(パイプラインの接続関係)に寄らず、任意の UG の演算ユニットへの割付けが可能である。実行時は、パイプライン上流の演算処理が割付けられた UG 面から 1 サイクル分ずつ n 面すべてを順番に実行する。これにより、仮想再構成回路上の 1 サイクルの処理を実現することになり、これを既定のサイクル数繰り返すことで処理を行うことになる。

## 3. 時分割実行モードの実用例

図 1 に時分割実行モードでの処理の割付け例を示す。これは図 2 に示す MP3 復号処理中の逆量子化回路の演算部分(ROM, RAM 以外)を割付けたものである。図 1 の A の UG には図 2 中の A1, A2 が、B には B1, B2 が、C には C1, C2 が割付けられている。図 1 の斜線部は図 2 の X1、網点部は X2 でグループ化されている部分の演算ユニットである。このように割付けた状態で時分割実行モードで動作させると、A 面を構成した状態で 1 サイクル演算後、B 面の構成に再構成し 1 サイクル演算、さらに C 面を構成して 1 サイクル演算を行う。これで仮想再構成回路での 1 サイクルを実行した形になる。続いて再び A 面を構成し処理を続けて

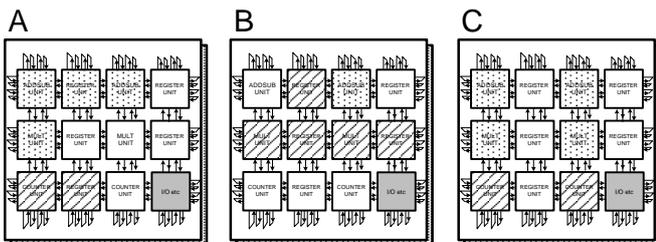


図 1 時分割実行モードでの演算ユニット割付け例

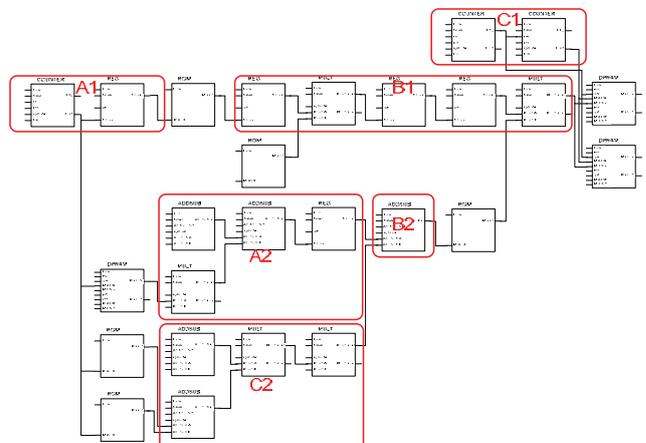


図 2 逆量子化回路の実装例

† 岡山県立大学, Okayama Prefectural University

いくことになる。パイプライン動作モードでは、実行に少なくともUGが3個必要である。このときの動作は通常のパイプライン動作となり、既定のデータ数だけメモリから読みだして連続的に処理を行う形となり、この処理途中で再構成を行うことはない。

図3にUG4個で構成したDRoMPA2.0上へ各モードで実装した例を示す。図2の逆量子化回路では実装に必要なUG数が3個であるため、パイプライン動作モードでは、1個のUGが使われない状態となる。時分割実行モードでは、各UGに同じ構成を割当て、データを分割して並列に実行する。つまり、パイプライン動作モードと比較してUGを有効に利用することが可能になる。

4. 実行サイクル数の評価

MP3の復号処理に含まれる、逆量子化処理、エイリアシング削減処理、IMDCT処理の各処理回路について、2つのモードで実行した場合の必要サイクル数を評価した。まず、これらの処理をDRoMPA2.0の演算ユニットを用いて図2のようにパイプライン処理回路として実装した。その結果、パイプライン長はそれぞれ8,7,9、実装に必要なUG数は3,3,4となった。この回路を用いて、576個のデータを処理させた場合の必要サイクル数を求めた。UG4個の構成での結果を表1に示す。必要UG数が3個の処理では時分割実行により20%程度高速化している。逆量子化、エイリアシング削減処理を時分割実行モードで、IMDCT処理をパイプラインモードで動作させることにより、全体で15%の高速化が可能となる。

これらの実行サイクル数は、以下により定式化できる。

$$T_p = t_s + \text{Roundup}(N_d / (\text{Rounddown}(N_{UG} / N_{REQUG})))$$

$$T_t = (t_s + \text{Roundup}(N_d / N_{UG})) \times N_{REQUG}$$

ここで、 $T_p, T_t$ はそれぞれパイプライン実行モード、時分割実行モードにおける実行サイクル数、 $t_s$ は実装回路のパイプライン長(スタートアップタイム)、 $N_d$ はデータ数、 $N_{UG}$ は使用可能なUG数、 $N_{REQUG}$ は処理の実装に必要なUG数を示す。また、 $\text{Roundup}$ 、 $\text{Rounddown}$ は切り上げ、切り捨て処理を意味する。

これを用いて、いくつかのUG数での実行サイクル数を求めた結果を表2に示す。この結果より、UG数が増えた場合に両モードの差が小さくなるのが分かる。また、結果は示していないが、データ数が小さい場合(100以下程度)や、パイプライン長が長い場合なども時分割実行モードが不利になる結果が得られた。これらは、(実質の)データ数に対してパイプライン長の占める割合が比較的大きくなる状況では、パイプラインスタートアップ時の空の計算を行う無駄な時分割実行状態が増えるため、実行効率が低下しているためであると考えられる。

5. まとめ

動的再構成アーキテクチャDRoMPA2.0の時分割実行モードを用いて、逆量子化処理、エイリアシング削減処理、IMDCT処理を実装した場合の実行サイクル数を評価した。

パイプラインスタートアップ時の空の計算を行う無駄な時分割実行状態の削減が今後の課題である。

参考文献

[1] 小椋他, “動的再構成回路 DRoMPA2.0 への時分割実行モードの実装,” 2011年電子情報通信学会総合大会, D-18-2 (2011)

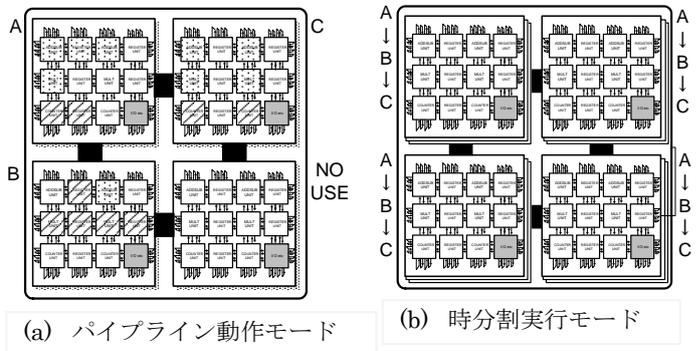


図3 UG4個の構成での実装例

表1 UG4個の構成での実行サイクル数

	実行サイクル数			動作選択
	パイプライン動作モード	時分割実行モード		
逆量子化	584	456		時分割
エイリアシング	583	453		時分割
IMDCT	585	612		パイプライン
計	1752	1521		1494

表2 UG数を変化させた場合の実行サイクル数

(a) UG6個の場合の実行サイクル数				
UG6	実行サイクル数			動作選択
	パイプライン動作モード	時分割実行モード		
逆量子化	296	312		パイプライン
エイリアシング	295	309		パイプライン
IMDCT	585	420		時分割
計	1176	1041		1011
(b) UG8個の場合の実行サイクル数				
UG8	実行サイクル数			動作選択
	パイプライン動作モード	時分割実行モード		
逆量子化	296	240		時分割
エイリアシング	295	237		時分割
IMDCT	297	324		パイプライン
計	888	801		774
(c) UG9個の場合の実行サイクル数				
UG9	実行サイクル数			動作選択
	パイプライン動作モード	時分割実行モード		
逆量子化	200	216		パイプライン
エイリアシング	199	213		パイプライン
IMDCT	297	292		時分割
計	696	721		691
(d) UG10個の場合の実行サイクル数				
UG10	実行サイクル数			動作選択
	パイプライン動作モード	時分割実行モード		
逆量子化	200	198		時分割
エイリアシング	199	195		時分割
IMDCT	297	268		パイプライン
計	696	661		690