

# 分散制御による動的スケジューリングの適用範囲の拡大

Extended Dynamic Scheduling for Distributed Control

中野 和香子  
Wakako Nakano

石浦 菜岐佐  
Nagisa Ishiura

関西学院大学 理工学部 School of Science and Technology, Kwansei Gakuin University

## 1 はじめに

高位合成において、実行サイクル数が実行時に変動する演算器を有する回路を効率的に制御する手法として、分散制御方式が提案されている [1]。文献 [2] ではこの方式を拡張し、複数データフローグラフ (以下 DFG) にまたがって演算を動的にスケジューリングする方法を提案している。しかし、この手法で同時に実行可能な DFG は高々2に制限されているため、速度性能の向上が制限される場合がある。そこで本稿では、分散制御方式における動的スケジューリングの範囲を3以上のDFGに拡張する手法を提案する。

## 2 分散制御方式

文献 [1] の分散制御では、1つの演算器に1つの状態機械 (以下 FSM) を割り当てて制御を行う。FSMの各状態は1つの演算の実行を制御し、入力値が揃うのを待って演算の実行を開始し、演算の完了を待って次状態に移行する。これにより、遅延に変動があっても演算の実行タイミングを動的に調整することが可能になる。文献 [2] はこの手法を拡張し、複数 DFG にまたがる演算の動的スケジューリングを可能にしている。例えば、図1 (a) では、演算器 A1, A2, M を3つのFSMで制御している。二重円はこの演算が実行中か完了していることを、破線矢印はデータ依存を表している。MのDFG1での実行は完了していないが、A1はDFG2の演算を実行できる。文献 [2] ではさらに、分岐予測に基づく投機的実行も提案している。しかし、文献 [2] では、制御の複雑化を回避するため、同時に実行可能な DFG は高々2までとしていた。則ち、図1 (a) では、DFG1の全ての演算が完了するまで DFG3の演算実行は開始できなかった。

## 3 動的スケジューリングの適用範囲の拡大

本稿では、分散制御において3以上のDFGにまたがる演算の動的スケジューリングを可能にする手法を提案する。これは次状態への遷移を許可する条件を、「実行中の先頭のDFGの状態からは実行中のDFGには遷移できない」に変更することにより実現する。図1 (b) において、AでマークしたDFG2, 3, 4は実行中であり、HでマークしたDFG4が先頭DFGである。DFG1は実行中ではないので、S1からS2への遷移は許可されるが、DFG2は実行中なのでS3への遷移は許可されない。

分岐予測に基づく投機的実行も [2] と同様に行えるが、分岐予測が外れた場合の遷移先に注意が必要である。図1 (c) において、DFG1 → DFG2 の分岐予測に基づいて DFG2 の S1 を投機的実行しているときに、DFG1 → DFG3 への遷移が決定した場合、DFG3 は実行中なので S1 をキャンセルして S2 に遷移することはできない。この場合、S1 をキャンセルして S0 に状態を戻す必要がある。

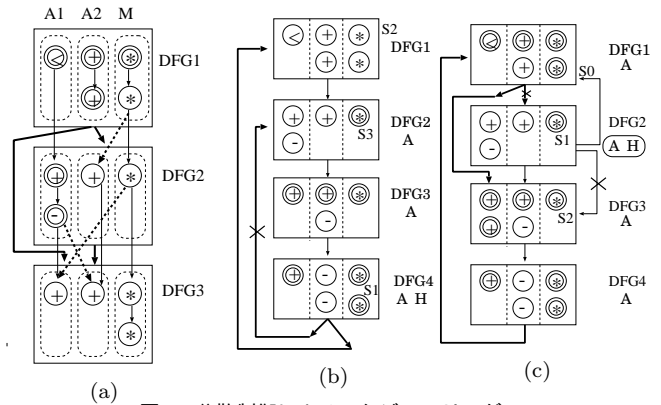


図1. 分散制御によるスケジューリング

表1. 実験結果 (サイクル数, 回路規模)

	r	従来手法 [2]			提案手法		
		cycles	LUT (FF)	delay [ns]	cycles	LUT (FF)	delay [ns]
bicubic (DC)	0.0	5,610			4,976		
	0.5	5,920	585	9.60	5,461	599	8.71
	1.0	6,245	(261)		5,928	(269)	
bicubic (SE)	0.0	4,976			4,976		
	0.5	5,343	603	9.72	5,108	716	8.96
	1.0	5,708	(261)		5,488	(271)	

## 4 実験結果

提案手法に基づいてベンチマーク bicubic の回路を Verilog HDL で設計した。論理合成は、FPGA (Artix-7) をターゲット Xilinx Vivado (2016.4) により行った。結果を表1に示す。DCは投機的実行なし、SEは投機的実行ありの場合である。乗算のサイクル数が1又は2として実験したが、rはサイクル数が2となる確率である。cyclesはbicubicを1000回ループさせた時のサイクル数であるが、DCで平均8.1% SEで平均2.8%サイクル数を削減できている。

## 5 むすび

本稿では、分散制御の動的スケジューリングの適用範囲を拡張する手法を提案した。設計の自動化や性能評価が今後の課題である。本研究は、一部 JSPS 科研費 16K00088 の助成による。

## 参考文献

[1] Alberto A. Del Barrio, et al.: "A distributed controller for managing speculative functional units in high-level synthesis," *IEEE Trans. CAD*, vol. 30, no. 3, pp. 350-363 (Mar. 2011).

[2] M. Shimizu and N. Ishiura: "Extending distributed control for high-Level synthesis beyond borders of basic blocks," in *Proc. SASIMI 2016*, pp. 172-177 (Oct. 2016).