

氏 名 神保 潮

学位(専攻分野) 博士
(情報学)

学位記番号 総研大甲第 2079 号

学位授与の日付 平成 31年 3 月 22日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 タイミング制約を緩和するクロッキング方式

論文審査委員 主 査 教授 五島 正裕
教授 米田 友洋
教授 合田 憲人
准教授 鯉淵 道紘
准教授 入江 英嗣 東京大学大学院
情報理工学系研究科

(様式3)

博士論文の要旨

氏名 神保 潮

論文題目 タイミング制約を緩和するクロッキング方式

半導体プロセスの微細化に伴う素子遅延のばらつきの増加が、回路設計における大きな問題となりつつある。ばらつきが増大していくと、従来のワースト・ケースに基づいた設計手法は悲観的になりすぎる。

この問題に対処するため、Razorなどの動作時にタイミング故障を検出し回復する手法が提案されてきた。タイミング故障とは、遅延の動的な変化によって設計者の意図とは異なる動作が引き起こされる過渡故障である。ワースト・ケース設計では、熱暴走がない限りタイミング故障は発生しない。タイミング故障を検出し回復する手法では、タイミング故障の発生を許容することで、ワースト・ケース設計から脱却できる可能性をもつ。我々もまた、二相ラッチとRazorと似たタイミング故障検出とで構成される動的タイム・ボローイングを可能にするクロッキング方式を提案してきた。

動的タイム・ボローイングを可能とする方式は、ごく簡単な回路によって最低限の動作確認がされたただけであった。実用化のためには、最終的には、Out-of-Orderプロセッサなどの現実的な回路に対して適用した上で、LSI化し、評価を行う必要がある。また、既存の回路を入力として、提案クロッキング方式が適用された回路を出力する自動変換ツールの開発が不可欠である。また、タイミング故障を検出し回復する手法の課題として、ダイナミック・プリチャージ・ロジック、特にSRAMへの適用が考慮されてこなかったという問題があった。

本論文では、実用化に向けての方式上の課題を解決する。方式上の課題が解決された後は、さらに実装上の問題を解決すれば、Out-of-Orderプロセッサなどに適用した上でLSI化し、評価することが可能となる。方式上の課題として以下の4点を解決する：

1. SRAMを対象としたタイミング故障検出手法
2. 自動変換ツールのフレームワークの構築
3. 二相ラッチ化手法
4. 実用的なスカラ・プロセッサの回復機構の実装

本論文は以下の章から構成されている：

第1章 序論

本論文の背景、目的、ならびに、本論文の構成について述べている。

第2章 クロッキング方式

本章では、本論文においてクロッキング方式を実効遅延の観点から整理するために、タイミング・ダイアグラムと呼ぶ図を導入している。そして、既存のクロッキング方式である単相FF方式と二相ラッチ方式についてまとめている。

第3章 タイミング故障検出・回復

本章では、タイミング故障検出・回復手法がどのようにワースト・ケース設計からの脱

却を可能にするかについて説明するとともに、その代表例として Razor について説明している。

第 4 章 SRAM のタイミング故障検出

本章では、本論文の貢献の 1 つである、SRAM へのタイミング故障検出の適用手法について述べている。適用の問題点を明らかにし、それを克服する提案手法を述べている。また、提案した手法の評価について述べている。

第 5 章 動的タイム・ボローイングを可能にするクロッキング方式

本章では、まず我々が既に提案した動的タイム・ボローイングを可能にするクロッキング方式について説明している。次に、本論文の貢献の 1 つである、本方式のための自動変換ツールのフレームワークを述べている。最後に、リップル・キャリー・アダーを用いたカウンタを対象として、自動変換を行った評価について述べている。

第 6 章 二相ラッチ化手法

本章では、本論文の貢献の 1 つである、二相ラッチ化手法として提案したアルゴリズムを述べている。FF を用いた回路を、ラッチを用いた回路に変換する問題は、最小カット問題の一種に帰着できることを説明し、その特殊な最小カット問題を解くためのアルゴリズムを提案している。また、その評価について述べている。

第 7 章 Razor の Rocket への適用

本章では、本論文の貢献の 1 つである、Razor の Rocket を対象とした適用について述べている。実用的なスカラ・プロセッサへの回復機構の実装として、標準的なタイミング故障検出・回復手法である Razor を Rocket に適用する。Rocket のマイクロ・アーキテクチャを説明し、Rocket への Razor の適用において必要なポイントをまとめている。

第 8 章 結論

本論文の内容についてまとめ、今後の展望を示している。