

ν MOS セルオートマトンによる機能情報処理 LSI の研究

学位論文内容の要旨

近年 L S I は著しい発展を遂げ、今では情報処理ハードウェアの主流として不可欠のものとなっている。しかし最近のマルチメディア社会の発展に加えて、膨大な情報が多種多様に細分化・特殊化する傾向にあるため、現在の L S I では要求が満たせない新しい分野（高速画像処理や知的情報処理など）の展開が始まっている。したがって、それに対応するため従来とは異なる新規な機能の L S I が必要となってきた。

このような新しい要求に応えるため、現用の L S I 方式-すなわちブール代数とノイマン型アーキテクチャの方式-とは異なる情報処理システムのハードウェア化を試みる必要がある。そのような別種の情報処理システムとして本研究ではセルオートマトンを取り上げ、それを L S I 化するための回路構成法を検討した。

セルオートマトンは並列分散系の情報処理システムであり、画像処理や物理解析との適合性がよい。その並列性を活かすためには、セル対応の専用 L S I（1セルごとに1演算器を持つ L S I）を開発する必要がある。しかし通常の C M O S 回路を用いると膨大な数のデバイスが必要となるので、これまではハードウェア化の試みがなされなかった。加えてセルオートマトンの並列アーキテクチャを有効に活かすためのアルゴリズム開発も十分ではなかった。

本研究では一次元と二次元のセルオートマトンを取り上げ、その L S I 化の方針を検討した。セルオートマトンの応用分野として秘密鍵暗号処理システムと画像処理システムへの適用を検討した。これらのシステムを L S I 化するために必要な処理アルゴリズムを提案し、セルオートマトンアーキテクチャを用いることで従来より2桁以上の高速処理が行えることを理論的に示した。そして L S I 化のために必要なセル回路をシリコン機能デバイスの ν M O S F E T を用いてコンパクトに構成する方法を提案した。それによってセルオートマトン L S I の実現見通しを得た。

本論文は7章から構成されている。以下に各章の要旨を示す。

第1章では、本研究の歴史的背景と目的を述べ、各章の概要を記す。

第2章では、非ノイマン型アーキテクチャであるセルオートマトンについて、構造と相互作用ルール、および動作の簡単な説明を行う。さらに、相互作用ルールの一つ「ライフゲーム」を例として具体的な動作について述べる。

第3章では、1次元構成のセルオートマトンを用いて、カオス暗号処理 L S I への応

用を考える。まず、セルオートマトンによるカオス発生について述べ、さらに秘密鍵暗号のための一方向性関数器を構成する方法を検討する。本章の最後では、構成した暗号処理システムの安全性の考察を行う。

第4章では、二次元構成のセルオートマトンを用いて、並列画像処理LSIへの応用を考える。セルオートマトンの並列性を活かすための処理アルゴリズムとして二値画像処理のモルフォロジー演算とDTCNN (Discrete-Time Cellular Neural Network) について検討し、これらをセルオートマトンに適するように改良する方法を示す。実際の例として、画像処理に対応する相互作用ルールを考案してアルゴリズムシミュレーションを行い、所望の動作を確認した。次に、各種の画像モルフォロジー処理が可能な汎用二値画像処理システムの構成法を提案する。セルオートマトンによるアナログ画像処理についても検討し、輪郭抽出を行うガウス差分処理システムと時系列画像を用いた移動物体検出システムの構成法を提案する。

第5章では、先の第3章と第4章で述べたセルオートマトン処理システムのLSI化を実現するために、 ν MOS FETを用いたセル回路構成法を提案する。 ν MOS FETを用いることで、単位セル回路のコンパクトな構成が可能となる。回路シミュレーションにより、設計した回路の動作を確認した。また、 ν MOS FETの貫通電流による電力消費を削減するために、高しきい値MOS形/ダイナミック形/アナログ形の3方式を提案し、シミュレーションにより消費電力の提言を確認した。

第6章では、試作した雑音除去・輪郭抽出セル回路の測定結果とその考察について述べる。

第7章では本論文の結論と今後の課題について述べる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 雨 宮 好 仁

副 査 教 授 長谷川 英 機

副 査 教 授 酒 井 洋 輔

副 査 教 授 宮 永 喜 一

学 位 論 文 題 名

v MOS セルオートマトンによる機能情報処理 LSI の研究

集積エレクトロニクスにおける目標の一つは、既存 L S I とは異なる手法で情報処理を行う次世代の集積回路を開拓することである。そのためには、現用の L S I 方式とは別種の方法で情報処理動作を行う新しい機能 L S I を開拓しなければならない。情報処理の多様化・細分化にともない要求される処理内容が高度化するに従って、現用 L S I では要求が満たせない高速画像処理や知的情報処理など新しい分野の展開が始まっている。したがって、それに対応するため従来とは異なる新しい機能 L S I が必要となってきた。

このような新しい要求に応えるためには、現用の L S I 方式-すなわちブール代数とノイマン型アーキテクチャの方式-とは異なる情報処理システムのハードウェア化を試みる必要がある。そのような観点に立って、本論文の著者はセルオートマトン情報処理システムに着目し、その機能を L S I 化するための回路構成法を確立した。

セルオートマトンは並列分散系の情報処理システムであり、画像処理や物理解析との適合性がよい。その機能は多数の構成要素（セル）の並列動作にもとづいているので、本質的に高速な処理動作を実現できる。そして隣接要素間だけの信号授受で機能を発生するから、並列処理システムの中では L S I 化できる可能性が最も大きい。ただしその並列性を活かすためには、セル対応の専用 L S I（1 セルごとに 1 演算器を持つ L S I）を開発する必要がある。しかし通常の CMOS 回路を用いると膨大な数のデバイスが必要となるので、これまではハードウェア化の試みがなされなかった。加えてセルオートマトンの並列アーキテクチャを L S I 上で発揮させるためのアルゴリズム開発も十分ではなかった。

本論文において、著者は上記二つの課題、すなわちアルゴリズム開発と回路開発について同時に研究を進め、それによってセルオートマトン L S I の構成方針を確立したものである。研究を進めるにあたって一次元と二次元のセルオートマトンを対象とし、応用分野として重要性の高い画像処理システムと秘密鍵暗号処理システムを念頭

に置いた。そしてこれらの応用システムをLSI化するために必要なセルオートマトン処理アルゴリズムを提案するとともに、従来より高速の処理（2桁以上）が可能なことを理論的に示した。著者の提案と解析はカオス発生・秘密鍵暗号応用・画像形状処理・移動物体検出など多岐にわたっている。あわせて、具体的なハードウェア化に向けて、シリコン機能デバイスのMOS FETを用いたセル回路構成法を提案した。この方法により、LSI化のために必要なセル回路をコンパクトに構成することを可能とした。以上によってセルオートマトンLSIの実現方針を確立したものである。さらに著者は、研究成果を確認するため、画像形状処理システムを例としてセルオートマトンLSI化を製作・評価した。それによって、理論的に予測した機能と性能が得られることを実証した。著者の研究は、提案の新規性、理論解析の緻密性、ハードウェア開発による実証性のいずれにおいても優れていると評価できる。

これを要するに、著者はセルオートマトンをLSI化するという新しい概念を提案し、さらにその具現化に向けてLSI化に適した処理アルゴリズムと回路構成法を開拓したものであり、次世代集積回路の開拓研究に対して貢献するところ大なるものがある。

よって著者は北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認める。