OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	脳一次視覚野のアーキテクチャに学んだアナログ集積回路システム
Author(s)	下ノ村, 和弘
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2770
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

氏名	下ノ村 和弘（しものむら かずひろ）
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	第 18718 号
学位授与年月日	平成16年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電子工学専攻
学位論文名	脳一次視覚野のアーキテクチャに学んだアナログ集積回路システム
論文審査委員	（主査） 教授 八木 哲也 （副査） 教授 吉野 勝美　教授 尾浦憲治郎　教授 森田 清三 教授 栖原 敏明

論文内容の要旨

本論文は、生体視覚系に見られる並列階層アーキテクチャを取り入れたアナログ集積回路システムの開発に関する研究をまとめたものであり、本文8章から構成されている。

第1章では、従来一般的に用いられてきたディジタル画像処理システムによる逐次計算方式の実時間画像処理における問題点を指摘するとともに、生体視覚系の情報処理アーキテクチャに学んだシステムの必要性を示し、本研究の目的と意義を述べている。

第2章では、生体視覚系の並列階層型情報処理アーキテクチャの概念を示し、従来型画像処理システムと比較することで、その特長を明らかにしている。また、外網膜神経回路モデルに基づいたシリコン網膜を取り上げ、生体模倣型視覚デバイスの具体例として示している。

第3章では、シリコン網膜をロボットビジョンとして応用する試みについて述べている。具体的には、シリコン網膜とFPGA（Field Programmable Gate Array）を組み合わせることで、計算の実時間性に加えて様々な応用に適用できる柔軟性を持つ視覚システムを構築し、いくつかの実時間画像処理実験を通してその有用性を示している。

第4章では、大脳一次視覚野で行われる情報処理に関する知見をまとめている。

第5章では、網膜から一次視覚野単純型細胞へと至る情報処理経路の集積回路実現を進めるに当たって用いたアナログマルチチップ技術及び基本回路について述べている。また、外網膜神経回路モデルにおける複数の出力ノードを統合することで方位選択性を実現する電子回路モデルを提案している。

第6章では、シリコン網膜及びその出力を受けて画素統合を行う方位選択チップから構成される視覚システムを製作し、その応答特性を検証している。実験によりアナログ信号によるチップ間画像転写の特性を評価し、また、システムの応答特性を回路パラメータにより制御できること、自然照明下における実時間画像処理が可能なことを示している。

第7章では、本研究で示したマルチチップの手法を発展させることでより高次の視覚野細胞の応答を構成できることを示し、大脳一次視覚野全体のハードウェアモデル実現への展望について論じている。

第8章では、本研究で得られた結果を総括し、結論としている。

論文審査の結果の要旨

生体視覚系における情報処理機能をアナログ集積回路技術を用いて実現する研究は、今までにも網膜を中心に数多く行われてきたが、より複雑な情報処理を行う中枢へと踏み込み、かつ実際の画像処理に適用できるシステムの開発は報告がない。中枢の視覚情報処理モデルをハードウェアとして実現することは、新しいロボットビジョンとしてのみならず、脳視覚情報処理のメカニズムを構成的手法により解析するという重要な意味を持つ。本論文ではこのような観点から、方位選択性を示す一次視覚野単純型細胞の空間応答特性を、網膜側から階層的に組み上げてアナログ集積回路によって実現している。本研究の主な成果は次の通りである。

(1) 中心周辺拮抗型受容野を発現する外網膜神経回路モデルの複数の出力ノードをフォロア統合により収束させることで、フィードフォワードモデルに基づいて方位選択性を実現する電子回路モデルを提案している。

(2) 上記モデルを、シリコン網膜及び方位選択チップの２つのアナログ集積回路から成るマルチチップシステムとして階層的に構築している。方位選択チップは、本研究において開発、試作したものである。

(3) アナログ信号によるチップ間画像転写の特性を実験により評価し、転写の精度、速度が後段での画像処理に対して十分耐え得ることを示している。

(4) 製作したマルチチップシステムを用いた実験において、本システムが方位選択的な応答を示すこと、また、外部信号により回路パラメータを変化させることで最適方位に対するチューニングの鋭さや空間周波数特性を制御できることを示している。さらに、自然照明下における実時間での画像処理にも適用できることを確認している。

以上のように、本論文は生体視覚系の階層的並列処理構造をアナログマルチチップにより模擬し、一次視覚野細胞に見られる方位選択性を有する集積回路システムを実現している。単に神経細胞の応答を再現するだけではなく、実際的な画像処理に適用可能なシステムを構築した本研究は先駆的かつ独創的である。よって、本論文は博士論文としての十分な価値を持つものと認める。