

Title	アナログ/デジタル混在型システムによる網膜および 大脳一次視覚野V1の神経活動の再構築
Author(s)	長谷川, 潤
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	http://hdl.handle.net/11094/484
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	長谷川 潤
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 23851 号
学位授与年月日	平成22年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電気電子情報工学専攻
学位論文名	アナログ/デジタル混在型システムによる網膜および大脳一次視覚野V1の 神経活動の再構築
論文審査委員	(主査) 教授 八木 哲也 (副査) 教授 谷口 研二 教授 尾崎 雅則 教授 伊藤 利道 教授 森 勇介 教授 片山 光浩 教授 杉野 隆 教授 栖原 敏明 教授 森田 清三

論文内容の要旨

本論文は、筆者が大阪大学大学院工学研究科博士後期課程在学中に行なったアナログ/デジタル混在型ハードウェアシステムによる網膜および大脳一次視覚野V1の神経活動の再構築に関する研究をまとめたものであり、全8章から構成されている。

第1章では、これまで行われてきた生体視覚系の生理学、心理学研究が持つ問題点を指摘し、それと対比させて本論文の目的と意義を明らかにした。システムとしての生体視覚系の機能を理解するためには、実時間での細胞活動の再構築手法が必要であることを述べた。

第2章では、脊椎動物の網膜における種々の神経細胞とそれらが構成する神経回路に関して、これまでの知見を概説する。また、網膜で行われている視覚情報処理を包括的に理解するために提案された幾つかの網膜機能モデルと、生体模倣型ハードウェアによって神経活動の実時間再構築を目指した先行研究を紹介した。

第3章では、脊椎動物の網膜が持つ情報処理様式の特徴を保ちつつ簡略化した網膜機能モデルを導入した。まず、網膜神経回路で本質的と思われる、神経細胞間の並列階層的な結合様式、持続性及び一過性の時間応答、さらに緩電位応答とスパイク応答について説明した後、電気回路モデルとして網膜の機能モデルを示した。

第4章では、第3章で導入した網膜機能モデルにおける、緩電位応答を示す神経細胞群の活動を実時間で再構成するシステムについて述べた。このシステムの特徴である、アナログ回路によるハードウェア処理とデジタルコンピュータによるソフトウェア処理を組み合わせた構成について説明し、網膜の持続性応答チャンネルおよび一過性応答チャンネルの神経活動が効率的に計算できることを説明した。次いで、システムの動作を単純な視覚刺激と複雑な自然画像を提示することで検証した。この結果から、システムが60フレーム毎秒の動作速度で神経細胞の緩電位応答を再構成できることを明らかにした。

第5章では、固視微動下での網膜神経活動を実時間再構築について述べた。まず、固視微動を再現できるコンパクトな回路実装を示した。次いで、第4章で述べたシステムと組み合わせることで固視微動下での網膜神経活動の模擬が可能であることを示した。

第6章では、神経節細胞のスパイク応答を含めた網膜神経活動を模擬するシステムについて述べた。スパイク生成には確率的積分発火モデルを用い、高速化のために第3章から第5章までで述べたシステムの処理機能を一

部簡略化してデジタル回路として実装したことを説明した。次いで、自然な画像の提示による検証を通じて、システムが200フレーム毎秒の動作速度で緩電位応答とスパイク応答の両者を同時に模擬できることを示した。

第7章では、一次視覚野V1における両眼入力統合による両眼視差の検出に関係する細胞の活動を実時間で再構築するシステムについて述べている。システムが、デジタル回路として実装された視差エネルギーモデルの模擬結果を基に、両眼カメラの輻輳開散運動の制御を行いながら、同時に奥行きを計算できることを示した。

第8章では、本研究で得られた結果を総括した。

論文審査の結果の要旨

本論文は、筆者が大阪大学大学院工学研究科博士後期課程在学中に行ったアナログ/デジタル混在型ハードウェアシステムによる網膜および大脳一次視覚野V1の神経活動の再構築に関する研究をまとめたものであり、全8章から構成されている。

第1章では、これまで行われてきた生体視覚系の生理学、心理学研究が持つ問題点を指摘し、それと対比させて本論文の目的と意義を明らかにしている。システムとしての生体視覚系の機能を理解するためには、実時間での細胞活動の再構築手法が必要であることを述べている。

第2章では、脊椎動物の網膜における種々の神経細胞とそれらが構成する神経回路に関して、これまでの知見を概説している。また、網膜で行われている視覚情報処理を包括的に理解するために提案された幾つかの網膜機能モデルと、生体模倣型ハードウェアによって神経活動の実時間再構築を目指した先行研究を紹介している。

第3章では、脊椎動物の網膜が持つ情報処理様式の特徴を保ちつつ簡略化した網膜機能モデルを導入している。まず、網膜神経回路で本質的と思われる、神経細胞間の並列階層的な結合様式、持続性及び一過性の時間応答、さらに緩電位応答とスパイク応答について説明した後、電気回路モデルとして網膜の機能モデルを示している。

第4章では、第3章で導入した網膜機能モデルにおける、緩電位応答を示す神経細胞群の活動を実時間で再構成するシステムについて述べている。このシステムの特徴である、アナログ回路によるハードウェア処理とデジタルコンピュータによるソフトウェア処理を組み合わせた構成について説明し、網膜の持続性応答チャンネルおよび一過性応答チャンネルの神経活動が効率的に計算できることを説明している。次いで、システムの動作を単純な視覚刺激と複雑な自然画像を提示することで検証している。この結果から、システムが60フレーム毎秒の動作速度で神経細胞の緩電位応答を再構成できることを明らかにしている。

第5章では、固視微動下での網膜神経活動を実時間再構築について述べている。まず、固視微動を再現できるコンパクトな回路実装を示している。次いで、第4章で述べたシステムと組み合わせることで固視微動下での網膜神経活動の模擬が可能であることを示している。

第6章では、神経節細胞のスパイク応答を含めた網膜神経活動を模擬するシステムについて述べている。スパイク生成には確率的積分発火モデルを用い、高速化のために第3章から第5章までで述べたシステムの処理機能を一部簡略化してデジタル回路として実装したことを説明している。次いで、自然な画像の提示による検証を通じて、システムが200フレーム毎秒の動作速度で緩電位応答とスパイク応答の両者を同時に模擬できることを示している。

第7章では、一次視覚野V1における両眼入力統合による両眼視差の検出に関係する細胞の活動を実時間で再構築するシステムについて述べている。システムが、デジタル回路として実装された視差エネルギーモデルの模擬結果を基に、両眼カメラの輻輳開散運動の制御を行いながら、同時に奥行きを計算できることを示している。

第8章では、本研究で得られた結果を総括している。

以上のように、本論文は、瞬時に演算が行えるアナログ回路による空間特性模擬と、高い汎用性を持ったデジタル回路による時間特性模擬を組み合わせた、アナログ/デジタル混在型アーキテクチャにより、生体視覚系における細胞活動の実時間再構築システムを小型・低消費電力で構築出来ることを示しており、電気電子情報工学に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。