

平成 22 年 6 月 28 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009

課題番号：20700159

研究課題名（和文） 脳視覚野における両眼視差計算をモデルにした集積視覚システム

研究課題名（英文） A VLSI vision system inspired by the disparity computation in visual cortex

研究代表者

下ノ村 和弘（SHIMONOMURA KAZUHIRO）

立命館大学・理工学部・准教授

研究者番号：80397679

研究成果の概要（和文）：

生体の視覚系は、長年の進化の過程で獲得された独自のアーキテクチャを用いて、複雑な視覚情報を極めて効率的に処理している。本研究課題では、脳視覚野の神経細胞がどのようなメカニズムで奥行きを計算するかを説明するモデルに着目して、これをアナログおよびデジタル集積回路を用いて効率よく実装する方法を提案し、ロボットが環境認識を行うために不可欠な奥行き情報を実時間で計算する集積視覚システムを構築した。

研究成果の概要（英文）：

The brain computes images using quite different algorithms and architectures from those used in the conventional digital image processing systems. In this project, we designed a VLSI binocular vision system that emulates the disparity computation in the primary visual cortex. This system can compute depth information, which is needed for robots to perceive the structure of the external world, in real-time.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：ロボットビジョン，両眼立体視，集積回路

1. 研究開始当初の背景

従来、ロボットビジョンの一般的な構成は、CCDカメラとデジタル計算機を用いた逐次型画像処理システムである。この構成において、より高速、高機能な画像処理を実現するためには、より高い動作クロック周波数のプ

ロセッサが必要になり、その結果、大規模かつ大きな消費電力を伴うシステムになる。従って、例えば小型自律移動ロボットのように、ビジョンのために使用できるスペースと電力が極めて限られている場合、高機能なビジョンを実装することは難しい。(1) 小型、

(2) 低消費電力、かつ(3) 実時間画像処理が可能で、新しいロボットビジョンアーキテクチャの構築は、今後のロボット分野の発展のために極めて重要な課題である。

一方で、生体の視覚系は、長年の進化の過程で獲得された独自のアーキテクチャを用いて、複雑な視覚情報を極めて効率的に処理している。この脳視覚系に学ぶことは、新しい高機能ロボットビジョンをデザインするための重要なアプローチのひとつである。今までに、網膜など極めて初期の視覚機能(エッジ強調など)を模倣したアナログ集積回路(いわゆるシリコン網膜あるいはビジョンチップ)の研究は国内外で数多く行われてきた。しかしながら、いわゆる初期視覚よりも高次の機能に着目した研究は少なく、また実際にロボットビジョンとして応用できるまでには程遠い。

2. 研究の目的

本研究課題では、脳視覚野の両眼視差計算に関わる神経細胞のモデルに基づいて、両眼視差を実時間で検出できる集積視覚ハードウェアを構築するとともに、初期視覚以降の機能を実現する生体模倣型ロボットビジョンの開発につながるフレームワークを提案することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究課題では、“両眼視差エネルギーモデル”と呼ばれる、過去に提案された両眼視差検出細胞の計算モデルに着目し、これに基づいて集積視覚システムを設計する。

本研究課題において構築した集積視覚システムは次の3種類のアナログおよびデジタル集積回路チップから構成され、それぞれのチップは次のような役割を持つ。

(1) シリコン網膜は、ラプラシアン-ガウシアン型フィルタにより、画像前処理を実行する。

(2) 単純型細胞チップは、網膜の出力特性を利用してガボール型のフィルタリングを実行し入力画像を様々な方位、空間周波数の成分に分解する。

(3) 両眼複雑型細胞チップは、視差エネルギーモデルに基づいて左右眼の単純型細胞チップの出力から両眼視差を検出する。

4. 研究成果

図1に、両眼ロボットビジョンシステムの構成を示す。左右網膜に対応する2つのシリコン網膜チップは、脊椎動物の外網膜神経回路網の構造をモデルにして設計されたアナログ CMOS 集積回路であり、画像取得と同時に、入力画像に対して Laplacian-Gaussian 型のフィルタリングを実行する。ここでは、100x100 画素のシリコン網膜を用いた。

さらに、V1 単純型細胞の受容野を模擬するために、シリコン網膜からの画像読み出し時に、垂直方向に並ぶ複数画素の値を統合する。これにより、中心-周辺拮抗型の受容野をもつシリコン網膜の画素が、Hubel と Wiesel のフィードフォワードモデルのように統合され、Gabor 型の受容野を構成する。左右眼のシリコン網膜の出力画像は AD 変換の後、field programmable gate array (FPGA) に送られる。FPGA1(Xilinx Spartan-III)には、V1 の両眼視差検出ニューロンのモデルを計算する回路が実装され、画像入力と同時にパイプライン処理により5つの異なる両眼視差に選択性をもった両眼視差エネルギー画像を生成する。また、これらの結果を用いて、後述する輻輳眼球運動を制御する信号が計算され、モータドライバを介して左右カメラをそれぞれパン方向に回転させるステッピングモータ(Orientalmotor CSK523)を制御する。FPGA2(Xilinx Virtex-IIPro)は、FPGA1 で計算された両眼視差エネルギー画像を受け取り、内臓された CPU コア(PowerPC405)上で動作するソフトウェアによりさらに複雑な立体視計算のモデルの計算を行うことができる。また、ビジョンシステムの出力画像を、LAN コントローラを介して出力する。

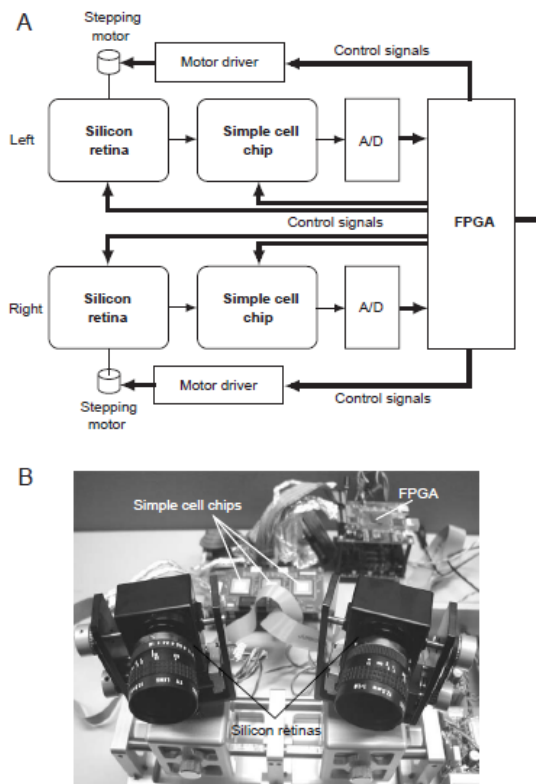


図1：両眼ロボットビジョンシステムの構成。(A)ブロック図、(B)外観写真。

本システムは実時間で両眼視差マップを計算し、実環境における奥行き情報を取得することができる。また、本研究成果は、今後の生体模倣型ロボットビジョンの更なる研究開発につながる次のような意義をもつと考えている。

(1) 脳視覚野の情報処理メカニズムをモデルにした集積視覚ハードウェア：網膜などの極めて初期の視覚機能（エッジ強調など）を模倣したアナログ集積回路の研究は今までも数多く行われてきた。しかしながら、中枢の脳視覚野が持つより複雑な特徴抽出機能にまで踏み込んだ研究はほとんど行われていない。近年の視覚野計算メカニズムに関する生理学的、心理物理学的な知見の蓄積を基に、実環境で動作する集積視覚ハードウェアを構築したことで、最新の神経科学の知見の蓄積を反映し、かつ実用的な脳型ロボットビジョンのアーキテクチャの具体的な例を示した。

(2) アナログ・デジタル回路を組合わせた画像処理：アナログ CMOS 集積回路として実現するシリコン網膜上での計算は、抵抗回路ネットワークやフォロア統合回路などのアナログ回路を用いて超並列に実行される。これにより、計算量の大きな空間フィルタ処理が低消費電力かつ実時間で実行可能になる。一方、残りの両眼視差計算では、Field Programmable Gate Array(FPGA)を用いてデジタル集積回路として実現することで、複数の異なる視覚特徴や視差に対する計算回路を並列に実装できる。生体視覚モデルにおける各部の計算の特徴によって、それらをハードウェア実装する際にアナログ・デジタル回路を使い分ける方法の有効性を示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計3件)

著者名：Kazuhiro Shimonomura, Takayuki Kushima, Tetsuya Yagi、論文標題：Binocular robot vision emulating disparity computation in the primary visual cortex、雑誌名：Neural Networks、査読：有、巻：21、発行年：2008、ページ：331-340

著者名：Kazuhiro Shimonomura, Tetsuya Yagi、論文標題：Neuromorphic VLSI vision system for real-time texture segregation、雑誌名：Neural Networks、査読：有、巻：21、発行年：2008、ページ：1197-1204

著者名：下ノ村和弘、八木哲也、論文標題：蓄積容量変調による広ダイナミックレンジシリコン網膜、雑誌名：映像情報

メディア学会誌、査読：有、巻：64、発行年：2010、ページ：358-364

〔学会発表〕(計12件)

発表者名：Kazuhiro Shimonomura, Tetsuya Yagi、発表標題：A neuromorphic binocular robotic vision to predict the response of V1 complex cells during vergence eye movements、学会名：Neuroscience 2008 (Society for Neuroscience 38th annual meeting)、発表年月日：2008/11/15-19、発表場所：Washington, DC, USA

発表者名：Kazuhiro Shimonomura, Tetsuya Yagi、発表標題：Computing lightness constancy with an APS-based silicon retina、学会名：IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS 2008)、発表年月日：2008/11/20-22、発表場所：Baltimore, MD, USA

発表者名：T.Yagi, K.Shimonomura, Y.Okazaki, H.Okuno, M.Osanai and H.Sawai、発表標題：Analog VLSI vision device for cortical implants、学会名：XXXVI International Congress of Physiological Sciences (IUPS2009)、発表年月日：2009.7、発表場所：Kyoto, Japan

発表者名：J.Hasegawa, K.Shimonomura, T.Yagi、発表標題：Real-time reconstruction of neural images for natural scenes with integrated circuits、学会名：Neuroscience 2009 (Society for Neuroscience 39th annual meeting)、発表年月日：2009.10、発表場所：Chicago, Ill, USA

発表者名：下ノ村和弘、亀田成司、八木哲也、発表標題：明るさ恒常性をもつ広ダイナミックレンジシリコン網膜、学会名：第21回回路とシステム軽井沢ワークショップ、発表年月日：2008/4/21-22、発表場所：長野

発表者名：下ノ村和弘、田之上裕、八木哲也、発表標題：色恒常性をもつビジョンチップシステム、学会名：日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2008、発表年月日：2008/6/5-7、発表場所：長野

発表者名：下ノ村和弘、八木哲也、発表標題：知能視覚センサネットワークによる人物トラッキング、学会名：日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2008、発表年月日：2008/6/5-7、発表場所：長野

発表者名：Kazuhiro Shimonomura, Tetsuya Yagi、発表標題：Emulating

motion-in-depth selectivity of visual cortical neurons with a neuromorphic binocular robotic vision、学会名：第31回日本神経科学大会 (Neuroscience2008)、発表年月日：2008/7/9-11、発表場所：東京

発表者名：下ノ村和弘，八木哲也、発表
標題：眼球運動下での視覚野細胞応答エミュレーションのためのロボットビジョン、学会名：第18回日本神経回路学会大会、発表年月日：2008/9/24-26、発表場所：つくば

発表者名：下ノ村和弘，八木哲也、発表
標題：蓄積容量変調方式を用いた広ダイナミックレンジシリコン網膜の明るさ恒常性応答、学会名：映像情報メディア学会技術報告(情報センシング)、発表年月日：2008/11/14、発表場所：東京

発表者名：下ノ村和弘，長谷川潤，八木哲也、発表標題：眼球運動下における視覚細胞の時空間応答エミュレーションのためのロボットビジョン、学会名：日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2009、発表年月日：2009/5/24-26、発表場所：福岡

発表者名：下ノ村和弘，八木哲也、発表
標題：蓄積容量変調による広ダイナミックレンジシリコン網膜、学会名：映像情報メディア学会年次大会、発表年月日：2009/8/26-28、発表場所：東京

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1)研究代表者

下ノ村和弘 (SHIMONOMURA KAZUHIRO)

立命館大学・理工学部・准教授

研究者番号：80397679