

平成21年6月25日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2006 ～ 2008
 課題番号：18760046
 研究課題名（和文） 低次神経システムに学んだ視覚－運動制御機能1チップLSIの構築に関する研究
 研究課題名（英文） LSI implementation of the visual control system based on low-level biological vision systems
 研究代表者
 大谷 真弘 (OTANI MASAHIRO)
 奈良工業高等専門学校・電気工学科・講師
 研究者番号：10353301

研究成果の概要：

本研究課題では、ロボットなどに搭載されている各種センシング機能を画像処理によって置き換えた撮像デバイスを構築することを目的とし、視覚対象のオプティカルフロー（速度場）を検出するためのネットワークの考案とその集積回路設計および検証を行なった。考案したネットワークは、回路シミュレーションによって視覚対象のオプティカルフローに選択的に応答することが確認できたが、処理機能と占有面積の削減を両立することが困難であり、十分な解像度を有する視覚－運動制御機能1チップLSIの試作には至らなかった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,200,000	0	1,200,000
2007年度	1,500,000	0	1,500,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	270,000	3,870,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎 ・ 応用光学・量子光工学

キーワード：画像・光情報処理, ビジョンチップ, オプティカルフロー, 集積回路設計

1. 研究開始当初の背景

撮像デバイスおよびコンピュータ技術の発達に伴い、産業用ロボットなどに用いられる画像処理システムの高機能化が行われてきた。また、災害現場など、我々が容易に立ち入れない場所において活動することを目的とした自律移動型ロボットの開発も積極的に行われている。しかしながら、既存のセンサや画像処理ボードなどは汎用性を重視しており、それらの組み合わせだけでは必要とされる機能と消費電力や占有空間などの

制約を両立させることは難しい。したがって、用途に特化したシステムの提案とそれに適したセンサおよび演算・制御回路の開発が重要となる。本研究では、自律飛行型ロボットをその対象と考えることとする。交通状況や災害時の被害状況等を把握するためには、上空からの調査が有効であり、自律分散型の飛行ロボットを用いた調査・監視システムの開発が進められている。現状では、小型ラジコンヘリコプターなどにCCDカメラや姿勢制御用ジャイロセンサ、コンピュータなどを搭

載することで、自律飛行もしくは遠隔操作可能な飛行ロボットが開発されている。

一方、ハエなどの飛翔する昆虫は、その小さな身体にも関わらず非常に優れた運動能力を有しており、その運動を制御するための情報は視覚から得ている。このような生物の視覚-運動制御システムでは、対象や自身の動きや形状などの画像情報を瞬時に知覚する必要があり、そのために自らの体構造や脳での演算アーキテクチャを最適化している。昆虫などの脳はヒトなどの高次脳領域と比較して低次神経システムと呼ばれるが、そこに内在する高度な視覚-運動制御機能は極めて魅力的である。近年、実用化されてきた画像処理機能を有する撮像デバイス(ビジョンチップまたはスマートセンサ)では、画素間の並列処理を実行する演算回路部にデジタル演算回路技術を用いたものが一般的である。このようなデバイスでは、次段に続く画像処理のために各画素での演算結果をXY走査などによって外部に取り出す必要がある。瞬時の動作が必要となる移動ロボットなどへ応用するには、如何にして演算結果の時間分解能(フレーム周波数)を高めるかが重要となる。そのため、演算回路の簡素化や出力の取出し方式の検討がさまざまな研究機関で行われている。演算回路の簡素化においては、デジタル技術のみでは限界があり、アナログ回路技術が必要不可欠である。本申請者は、これまでアナログ回路技術の視点からビジョンチップを考案してきた。アナログ回路では、半導体デバイスの物理現象に基づいた演算が行われるため、デジタル回路と比較してスマートかつシンプルな回路構造で実現できる。その際、昆虫などの低次神経システムは機能だけでなくその構造まで解析されているため有効な指標となる。

多くのロボットには周囲状況の把握や撮影のためにイメージセンサが搭載されている。また、移動型ロボットではその姿勢制御や周囲の障害物を検出するためにジャイロセンサや超音波センサ、レーダーなどのセンシングデバイスが搭載されている。これらのセンシング機能を画像処理によって置き換え、イメージセンサに融合すればロボットの構造が簡素化され、小型化と高機能化の両立が可能となる。また、視覚機能と運動制御機能を1チップに実装することによりチップ外に送出する情報量を低減できるため、時間分解能の高い視覚-運動制御システムの構築が期待できる。

2. 研究の目的

近年、ビジョンチップまたはスマートセンサなどと呼ばれる新しい撮像デバイスでは、画像処理機能とフレーム周波数を如何に高めるかが重要である。また、一般的な移動ロボットにはその姿勢制御や周囲の障害物を検出するために各種のセンシングデバイスが搭載されている。本研究課題では、それらのセンシング機能を画像処理によって置き換え、ビジョンチップの機能に取り込むことによって時間分解能の高い視覚-運動制御システムを1チップLSIとして構築するとともに自律制御型飛行船のプロトタイプを製作することを目的とする。

3. 研究の方法

視覚対象の移動によって視野内に生じる速度場(オプティカルフロー)を検出するため、低次神経システムに学んだ視覚機能LSIを以下の方法で考案・設計・検証する。

まず、視覚対象の局所的な動き情報および空間的なコントラストの検出を可能とするアナログCMOS電子回路を基礎として、視覚対象の運動方向に対して選択的に応答するアナログネットワークを統合し、自己移動によって生じるオプティカルフローの知覚を可能とする視覚機能LSIを考案し、LSI回路シミュレーションならびにレイアウト設計を行う。

最終的な目的である視覚-運動制御1チップLSIの核となる視覚機能についてその仕様を決定するために運動制御回路に先駆けて検討を行う。昆虫の視覚システムは階層的な構造をとり、局所的な動きの情報を空間的に統合しオプティカルフローを知覚している。知覚されたオプティカルフローに基づき、飛行姿勢の制御などを行っている。このような視覚システムをLSIとして実現するような演算回路を考案・設計することとなる。設計したLSIは東京大学大規模集積システム設計教育センター(VDEC)にその試作を依頼する。視覚機能LSIの考案および設計において、回路はアナログ集積回路技術および半導体デバイス技術に着目して考案するため、それらの解析を回路とデバイス構造の両面から行う必要がある。また、考案するLSIは二次元画素アレイ間の並列演算を行うため、解析のための演算量は膨大となることが懸念される。なお、解析のためのソフトウェアについてはVDECより無償で提供されるものを使用する。

一方、自律移動型飛行船のプロトタイプモデルとして市販CMOSイメージセンサとマイコン・FPGAなどを組み合わせた画像処理システムを構築し、実証検証方法や画像処理機能の検証を行なう。

4. 研究成果

エッジ検出および局所動き検出を同一の回路構成で可能とするビジョンチップの画素回路を基礎として、視覚対象のオプティカルフロー（速度場）を知覚するための演算ネットワークの構成を検討した。演算ネットワークは、生物の低次視覚システムに学んだアナログ電流遅延回路によって構成し、回路構成の簡素化を行った。構成した演算ネットワークに対し、チップ上をさまざまな方向に移動する微小線幅の線分を模擬した入力信号を与えたときの応答を回路シミュレータ SPICE によって検証した。回路シミュレーション結果より、構築した演算ネットワークはチップ上を移動する線分に対して選択的に応答することを確認できた。しかしながら、その選択性は方向に対して緩やかであり、より現実的な視覚対象のオプティカルフローを得るには十分ではないことがわかった。

以上での問題点を検討し、視覚対象のオプティカルフロー（速度場）を知覚するための演算ネットワークを生物の低次視覚システムに学んだアナログ電流遅延回路によって構成し、回路構成の簡素化を行うとともに改良を行なったオプティカルフロー近くシステムを構成した。図 1. に構成したオプティカルフロー知覚システム概念図を示す。まず、視覚対象の移動によって生じる視野内の局所的な動きを動き検出回路 (MDC) で検出し、その検出信号を典型的なオプティカルフローのパターンに対応した複数の方向選択性ネットワーク (DSN) によって空間的に統合する。視覚対象によるオプティカルフローに類似した空間的なパターンをもつ DSN では出力の応答が大きくなるため、各 DSN からの出力を Winner-Take-All (WTA) 回路によって最大出力の DSN を選択する。選択された DSN により、視覚対象のオプティカルフローのパターンを推定することが可能となる。

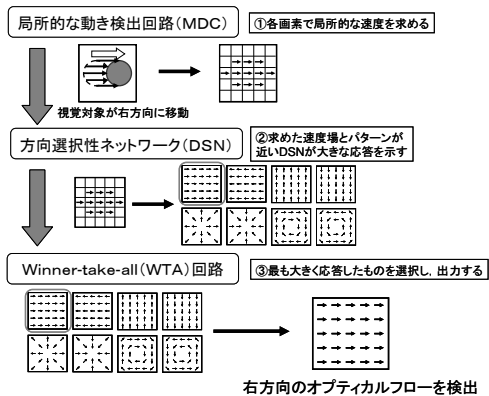


図 1. オプティカルフロー検出の概念図

オプティカルフローの検出の初段となる局所的な動きの検出は、自己抑制型動き検出モデルに基づいて構成した図 2. に示す MDC で実現した。MDC の出力は受光素子で捉えた視覚対象による光電流信号の時間微分に対応しており、回路パラメータによって視覚対象の速度に対して選択的に応答する。また、MDC には後段の DSN へ接続するためのバッファ回路を含んでいる。

方向選択性ネットワーク (DSN) は、図 3. に示す電流遅延回路 (CDL) を縦続に接続し、空間的に配置された各 MDC からの出力信号を重ね合わせることで方向選択性を有する応答を生成する。DSN を構成する CDL の空間的な配置と接続によって検出するオプティカルフローのパターンに対する選択性をもたせることが可能である。

以上によって構成したネットワークの視覚対象の動きに対する方向選択性を検討するため、図 4. に示すような画素回路の配置と視覚対象 (スリット光による線分) の動きを想定して回路シミュレータ SPICE によるシミュレーションを行なった。図 5. にシミュ

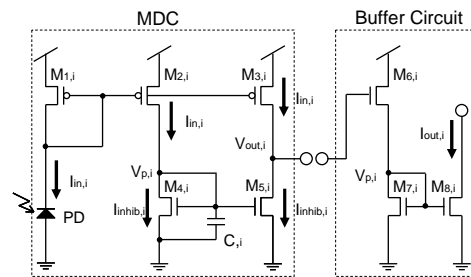


図 2. 動き検出回路 (MDC)

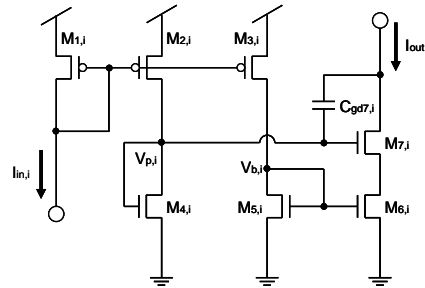


図 3. 電流遅延回路 (CDL)

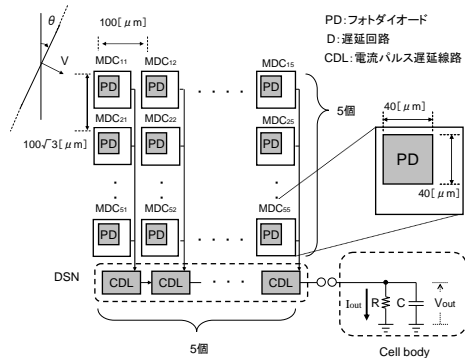


図 4. オプティカルフロー検出ネットワーク

レーション結果の一例を示す。回路シミュレーション結果より、構築したネットワークはチップ上を移動する線分の方向に対して選択的に応答することを確認できた。

次に、図 6. に示すような視覚対象の接近によるオプティカルフローを想定し、図 7. に示すネットワークに対する回路シミュレーションを行なった。接近によって、視覚対象は見かけ上の大きさが拡大するため、その拡大速度を検出する同心円状の DSN ネットワークを構成した。図 8. に示すシミュレーション結果より、構築したネットワークは視覚対象の接近とその形状に応じた出力信号を生成していることがわかった。以上により、奥行き方向への視覚対象の動きについても検出可能であり、考案したネットワークは空間を移動する飛行船などの制御に必要な基本的なオプティカルフローの検出が可能であることが確認できた。

視覚対象の動きによるオプティカルフローの検出と同時にその形状に関する特徴の

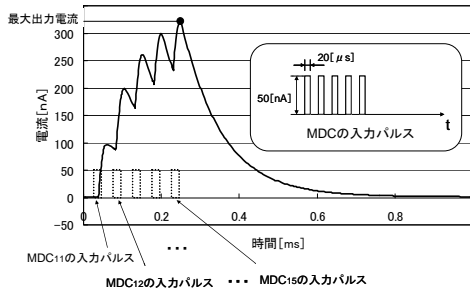


図 5. シミュレーション結果

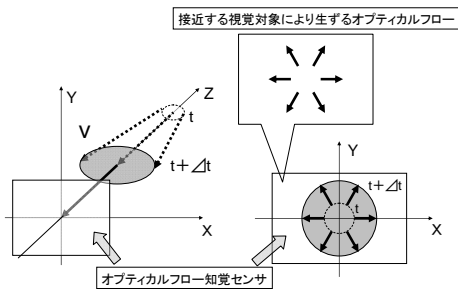


図 6.

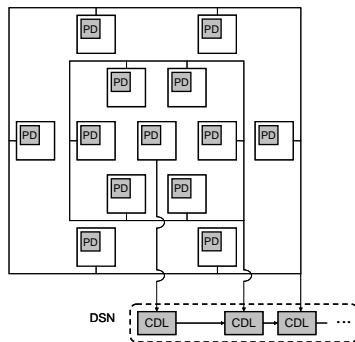


図 7. 接近を検知するためのネットワーク構成

抽出も必要となる機能である。そこで、これまでに提案されたエッジ検出ネットワークに基づき、そのアナログ出力信号を積分-発火型神経細胞モデル (IFN) に学んだパルス密度変調回路によって生物の神経システムと同様のパルス信号に変換する回路を検討した。アナログ出力信号をパルス信号に変換することで、信号伝送のロバスト性が向上するとともにパルス信号の重ね合わせなどによる簡易な演算の実現が期待できる。図 9. にエッジ検出回路による視覚対象の輪郭抽出を行なったシミュレーション結果を示す。また、図 10. に生物の神経細胞モデルの1つである IFN に基づいて構成したパルス密度変調回路を示す。回路シミュレーションにより、入力電流の大きさに比例したパルス密度の出力信号が生成されることを確認した。これをエッジ検出回路に接続し、隣接する画素からの出力パルスを重ね合わせることで輪郭の角などの特徴点を強調することが可能であることを確認した。

以上に基づき、視覚対象のオプティカルフロー (速度場) を知覚するための動き検出ネットワークおよび視覚対象の特徴を抽出するためのエッジ検出ネットワークを融合した画素回路の設計と検証を行なった。しかし

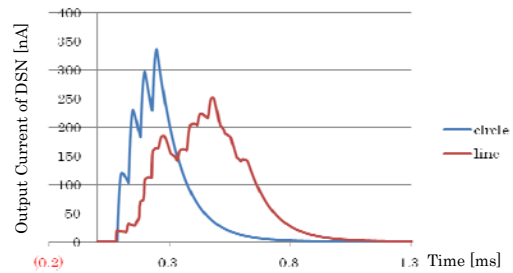
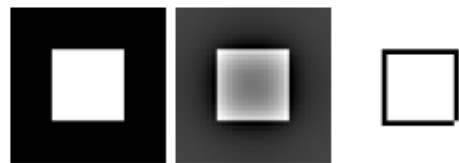


図 8. 接近を想定したシミュレーション結果



(a) 入力画像 (b) 出力画像 (c) ゼロクロス点

図 9. エッジ検出結果

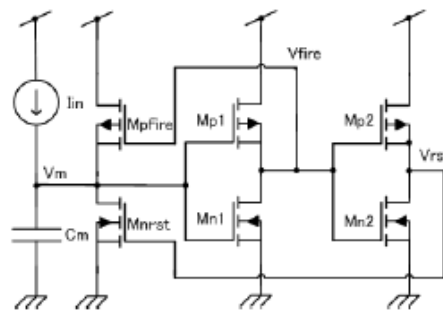


図 10. IFN に基づくパルス密度変調回路

ながら、処理機能と占有面積の削減を両立することが難しく、十分な解像度を見込める画素回路とそのレイアウト設計を果たすことができず、LSI試作に至らなかった。

一方、図11.に示すようにCMOSイメージセンサとマイコン・FPGA等を使用して自律制御型飛行船のプロトタイプを作製を行なった。地上に設置したマーカーをCMOSイメージセンサモジュールで撮影し、その撮影画像の変化をマイコン・FPGAによる演算によって検出し、姿勢制御用モータの制御信号を生成したが、プロトタイプ実機による十分な実証には至らなかった。

今後、これまでの成果を継続して検討・検証し、高い時間分解能を有する視覚-運動制御システムを1チップLSIとして実現し、自律制御型飛行船に搭載することを試みる。

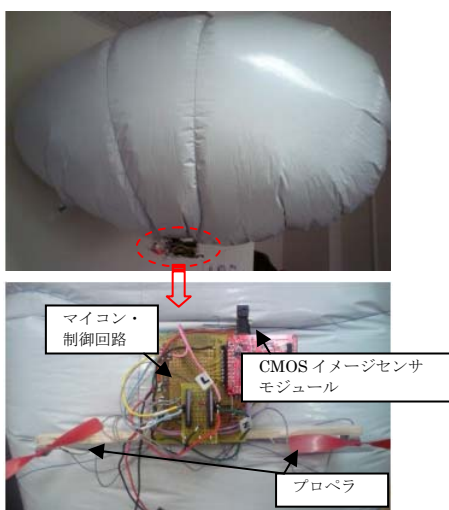


図 11. 自律移動型飛行船のプロトタイプ

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 0 件)

[学会発表] (計 2 件)

- (1) 安川真輔, 大谷真弘, “オプティカルフロー知覚機構LSIの構築に関する研究,” 平成 19 年度電気関係学会関西支部連合大会, 2007 年 11 月 18 日, 神戸大学.
- (2) 田中聡, 大谷真弘, “IFN型受光演算回路を用いたビジョンチップの構築に関する研究,” 平成 19 年度電気関係学会関西支部連合大会, 2007 年 11 月 18 日, 神戸大学.

[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]
ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大谷 真弘 (OTANI MASAHIRO)
奈良工業高等専門学校・電気工学科・講師
研究者番号: 10353301

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし