

生体情報処理に基づいたロボットビジョン

八木 哲也^{*,**}・亀田 成司^{*}

A Robot Vision Inspired by Signal Processings of the Brain

Tetsuya YAGI^{*,**}, Seiji KAMEDA^{*}

The image processing is one of the most cumbersome tasks for the current engineering system consisting of CCD (charge-coupled device) cameras and a digital computer. Accordingly, a compact vision system with a novel architecture/algorithm needs to be developed for robot eyes. Here, an artificial vision system was developed inspired by a unique algorithm and an architecture of the neuronal circuit of the brain. The visual system consists of two silicon retina cameras and a PC. The silicon retina was designed to emulate two fundamental types of response in the vertebrate retinal circuit, i.e. the sustained response and the transient response. The outputs of the silicon retinas were fed to the PC by the NTSC (national television standards committee) signal. A real time depth perception in an indoor illumination was conducted with the system using an algorithm inspired by the function of the brain.

Key words: robot vision, real time, silicon retina, brain, binding

視覚などの感覚情報処理は、情報技術の根幹をなすノイマン型コンピュータと、CCD (charge-coupled device) カメラに代表されるセンサーデバイスを組み合わせたシステムが、最も不得意とする技である。この原因のひとつは、外界のアナログ情報を、フロントエンドにおいていきなり直列逐次処理型コンピュータに合わせて処理しようとするにある。特にロボットビジョンを考えた場合、この無理から派生する、計算量とシステム規模の拡大、消費電力増大は決定的な欠陥であり、自律ロボット構築の大きな障害である。このままではロボカップのロボットは、何年たっても訓練されたネズミのチームにも勝てないだろう。

そこで生物の情報処理に、ハードウェアとソフトウェアの両面から学んだ視覚システムを構築することを試みた。本稿では、その試みの一端をご紹介したい。

1. 生体における視覚情報処理

過去の膨大な生理学、神経科学の研究から、脊椎動物視覚系における情報処理のメカニズムが少しずつわかってきている。その概略を大雑把にまとめたのが、図1である。脳神経系からみた視覚の入口は、網膜である。網膜は単なる光センサーではなく、時々刻々変わる視覚環境に順応し

ながら、冗長な視覚情報を圧縮する、れっきとした中枢神経である。高等動物では、網膜出力(視神経)の主力は外側膝状体とよばれる中継組織を経て、脳視覚野へ繋がる。視覚野では、画像の中から輪郭や運動方向などのより具体的な特徴を抽出する。この特徴抽出は、階層的に配置された別々のモジュールにより実行されている。特徴抽出の後に必要となるのは、それぞれのモジュールによって処理された情報を統合する(バインドする)ことである。ここで電子回路的な発想にたつて生体の視覚を理解しようとするとき、アナログ演算から論理演算への階層という切口もみえてくる¹⁾。すなわち、感覚に関わる外界の情報はアナログであり、生体はこのアナログ情報から局所的画像の属性を記号として抽出し、最後にこれらを論理的にバインドするという階層が連想されるのである。

視覚系の特徴をかなり大雑把に説明したが、現時点で「脳もどき」の視覚システムを設計する場合の骨組みとしては、許される範囲の理解であろう。以下にこのような大雑把な知見からヒントを得た、生体模倣型ロボットビジョンについて述べる。

*九州工業大学大学院生命体工学研究科(〒820-8502 飯塚市川津 680-4) E-mail: yagi@ele.eng.osaka-u.ac.jp

**大阪大学大学院工学研究科(〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

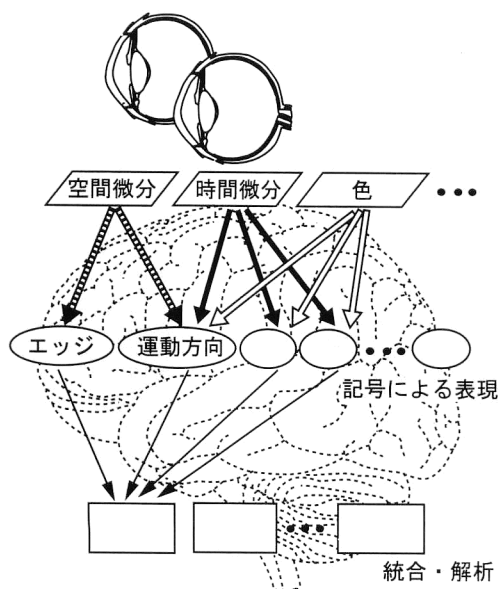


図1 生体視覚系から学ぶ画像処理。

2. シリコン網膜

外界の視覚情報をリアルタイム（生物が知覚に要する時間内）で圧縮する網膜代行デバイスとして、アナログシリコン網膜を製作した²⁾。ここで網膜の前処理デバイスの機能として筆者らが注目したのは、網膜に起始する2つの特徴的な視覚情報経路、すなわち持続性応答チャンネルと一過性応答チャンネルである。持続性応答チャンネルの細胞は、光刺激強度の時間変化に対しローパスフィルターとして働き、光強度の空間的な変化に対してはラプラシアン-ガウシアン (I^2G) 型の受容野をもっている³⁾。 I^2G フィルターは、入力画像の平滑化および輪郭強調機能をもつ。一過性応答細胞は、光刺激強度の変化に敏感で比較的広い受容野をもつ。すなわち、時間フィルターとしてはハイパス特性、空間フィルターとしてはローパス特性をもつ。前者は空間解像度が高く静止画像の処理、後者は画像の時間的変化に対する感度が高く、運動する物体を捉えるのに適していると考えられる。本研究室において製作されたシリコン網膜からは、この2つのチャンネルに対応した出力が得られる。

図2にシリコン網膜の持続性応答を示す。入力画像として人の手を提示した。実験は室内照明下 (3.5 W/m^2) で行った。図のようにシリコン網膜の出力は、手の輪郭の部分で強く応答していることがわかる。過去のシリコン網膜では、画像処理に応用できるほどの出力精度は得られていなかった⁴⁾。本シリコン網膜では、いくつかのアナログ回路設計の工夫により、十分な出力精度が達成された⁵⁾。

一過性応答は、連続したフレーム間の差分をシリコン網膜内でとることで模擬的に実現した。先と同様にこの場合も、いったん空間的に平滑化された画像のフレーム間時間

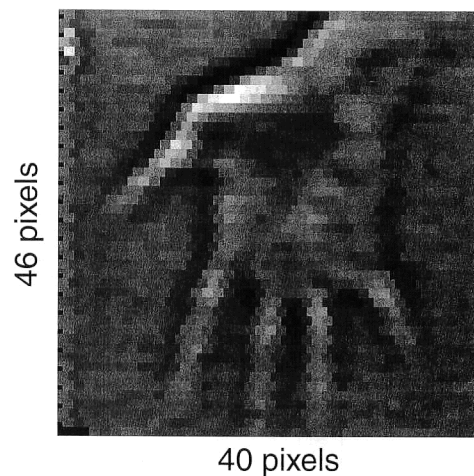


図2 シリコン網膜の持続性応答モードでの出力。

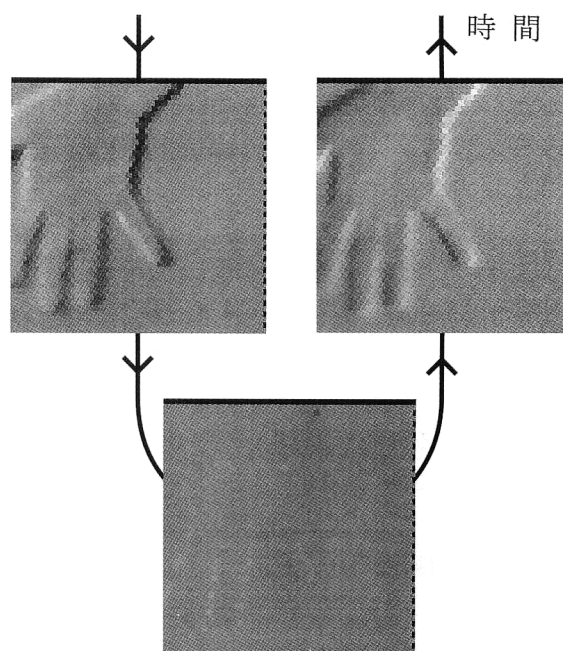


図3 シリコン網膜の一過性応答モードでの出力。

を計算するので、出力は雑音が少ない(図3)。ここでは、カメラレンズの前で左右に手を動かした。上段左図では右から左へ、上段右図では左から右へ手が動いている。手の動きが止まったとき(下段の図)にはほとんど応答がない。

3. 階層モジュールによる奥行き検出

上記に示した2種類の応答チャンネルを用いて、きわめて迅速に奥行き検出が実行できる。このアルゴリズムは、生体視覚のトップダウン的な解釈からヒントを得た¹⁾。誌面の関係から詳しいアルゴリズムは他の報告に譲るが⁶⁾、大方の流れは図4のとおりである。

立体視をするには、一方の網膜像の点が他方の網膜像のどの点に対応するかを決定しなければならない。しかし、網膜像内の点が多くなると組み合わせの数が増大し、対応

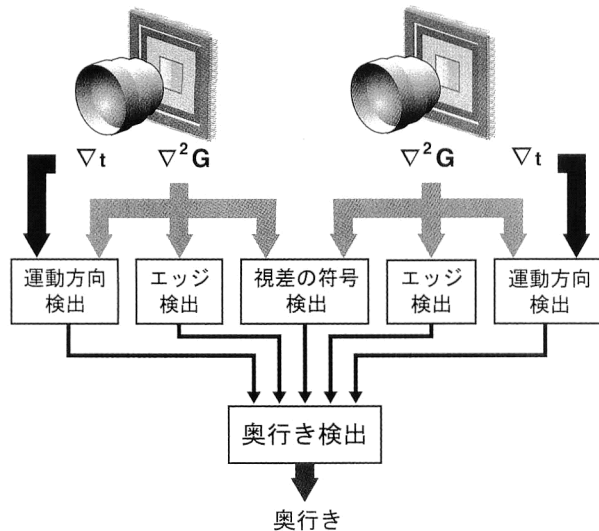


図4 奥行き検出システムフローチャート.

を決定するのが困難になる。本奥行き検出システムでは、まずシリコン網膜からの2種類の応答を用いて、エッジ検出、運動方向検出、視差の符号検出などのモジュールにより、エッジの属性を2値にラベルする。こうして求めたエッジの属性に基づいて、奥行き検出ユニットにおいて両眼からの情報の対応を取り、奥行きを求める。これらの処理は、シリコン網膜の2種類の出力をビデオ信号にのせ、画像取得ボードを介してパーソナルコンピュータに取り込んで計算している⁹⁾。ただし、計算のアルゴリズムはデジタル演算が主体であり、簡単にFPGA (field programmable gate array) により実装可能である。

4. 奥行き検出実験

2台のシリコン網膜カメラ、FPGA基盤、PCにより奥行き検出実験を行った。奥行き検出を行った結果を図5に示す。左右のシリコン網膜の間隔を20cm離し、注視点を1m先に設定した。注視点付近で手を左右に振り、注視点より5cmほど奥には筒が置いてある。出力画像ではエッジの濃度値が奥行きに相当し、濃いほど手前、薄いほど奥を表す。手が筒より手前にあることが検出できている。以上の計算は実時間で実行され、手の奥行き方向の動きも、ビデオレートで追うことができた。

5. ロボットビジョンの新展開

本稿で紹介した両眼視アルゴリズムは、デジタル演算に基づくものであり、FPGAによる実装が容易である。したがって、この視覚システムは、全体をカメラボックス程度の大きさに収めることが可能であり、ロボットビジョンにはうってつけである。また将来は、アナログ計算から記号表現、統合といった過程で使われた計算モジュールの1つ1つをチップ化することによって、小型の自律ロボット

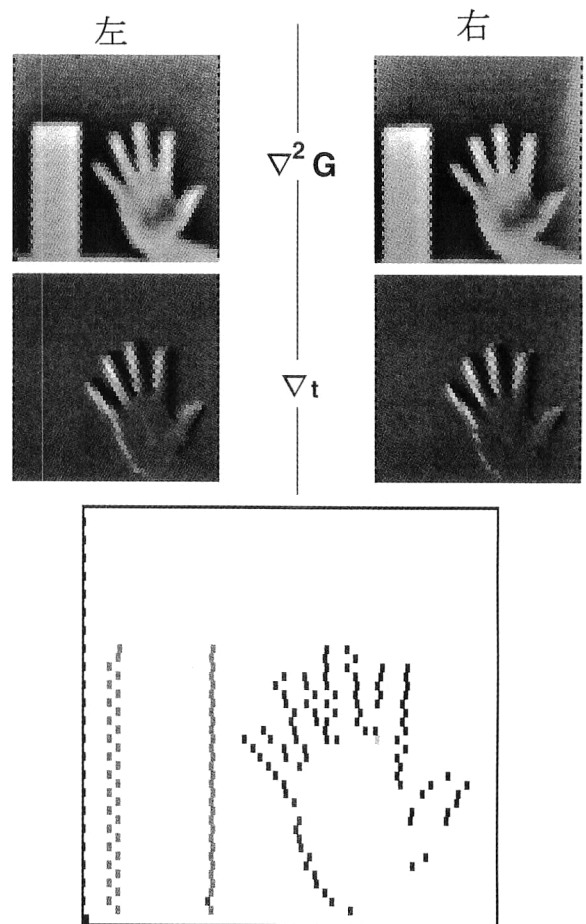


図5 奥行き検出結果.

へも実装可能となるだろう。ロボットサッカーチームが訓練ネズミチームに勝つ日は近い、と筆者らは考えている。

本研究は日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業 (JSPS-RFTF97I00101: 代表山川烈九州工業大学教授) の援助により行われた。

文 献

- 1) D. Marr: *Vision* (W. H. Freeman, San Francisco, 1982).
- 2) 亀田成司: “生体視覚系を模擬したシリコン網膜の開発”, 九州工業大学博士論文 (2001).
- 3) 八木哲也, 大島成通, 舟橋康行: “初期視覚における網膜双極細胞の機能について”, 電子通信学会論文誌 D-II, **J78-D-II** (1995) 1123-1133.
- 4) C. Mead: *Analog VLSI and Neural Systems* (Addison-Wesley, Reading, 1989).
- 5) 八木哲也, 亀田成司, 飯塚邦彦: “可変受容野を備えた超並列アナログ知能視覚センサ”, 電子通信学会論文誌, **J81-D-I** (1998) 104-113.
- 6) 鶴殿直嗣, 八木哲也: “シリコン網膜とPCを用いた奥行き検出: アナログ演算から記号表現へ”, 電子情報通信学会技術報告, **100** (2001) 213-216.

(2001年6月14日受理)