

## ● アナログ・デジタル混在型知能視覚システムの開発と応用

生体視覚神経系の効率的な情報処理に学ぶことにより、小型・低消費電力でありながら知能的な処理を実時間でできる視覚システムの開発を行った。本システムは、逐次的演算を行う従来のデジタル画像処理システムとは根本的に異なり、並列・階層的な情報処理に適したアーキテクチャを利用している。所望のアーキテクチャは、アナログ回路による瞬時の並列演算が行えるシリコン網膜と、並列なデジタル演算回路をプログラムできるFPGAを組み合わせることにより実現した。本システムの小型・低消費電力(1W以下)で実時間処理が行えるという特長を生かし、以下の研究を行った。①画像の拡大・縮小・回転・輝度変化にロバストな、物体認識のための実時間視覚特徴量抽出、②車両ロボットを用いた、衝突回避やレーン追跡といった実時間視覚制御ナビゲーション、③人工視覚システム構築を目的とした、大脳皮質視覚野を刺激した際に予測される光覚の実時間シミュレーションシステム、等である。

### 1. アナログ・デジタル混在型アーキテクチャ

本研究で構築した知能視覚システムの概略を図1に示す。このシステムは、主にシリコン網膜とFPGA (field-programmable gate array)によって構成されている。

用いたシリコン網膜は、当研究グループによって開発されたものであり、APS (active pixel sensor)、二層の抵抗回路網、作動アンプからなる128×128画素のCMOSイメージセンサである。隣接画素同士を接続する抵抗回路網によって、従来のデジタル画像処理システムが不得手とする空間フィルタ処理を瞬時に実行することが出来る。また、FPGAでは、シリコン網膜から得られる複数の空間フィルタ済み画像を用いて、画像の特徴情報を並列的に効率よく抽出し、より高次の処理までを行う。FPGAでは、任意のデジタル回路を構成できるため、システムの要件に応じて柔軟にカスタマイズできる。高速・低消費

電力というアナログ回路の利点と、容易にプログラムができ汎用性が高いというデジタル回路の利点を生かし、後述する知能視覚システムを開発した。

### 2. 物体認識のための視覚特徴量抽出

画像処理を利用した物体認識は、ロボットビジョンにおいて必要とされる機能の一つである。特定物体(人物や標識等)を認識する際、画像中から特徴点を抽出し、その特徴量を記述することは有効な手段であり、様々な試みがなされている。認識の対象となる物体は、画像中で大きさ・角度・明るさ等が変化するため、特徴点や特徴量はこれらの変化に対してロバストであることが求められる。SIFT (scale-invariant feature transform) 特徴量は、大きさ・角度・明るさの変化にロバストな特徴量であり、画像認識を目的とした研究での利用が広まっている。しかしながら、この特徴量の抽出には、従来の逐次的デジタル画像処理が不得手とする空間フィルタリング処理が多数含まれているため、ソフトウェアを用いての実時間演算は困難であった。

当研究グループでは、空間フィルタリングを瞬時に実行する抵抗回路網と、並列演算回路をカスタマイズできるFPGAを活用することにより、実時間でSIFT特徴量の抽出や特徴点のマッチングが行える視覚システムの開発を行った。また、本システムで記述された特徴量をもとに、サイズの異なる図形間の対応点探索を行うことにより、本システムが物体の拡大縮小にロバストな物体認識システムとして有効であることを確認した(図2)。

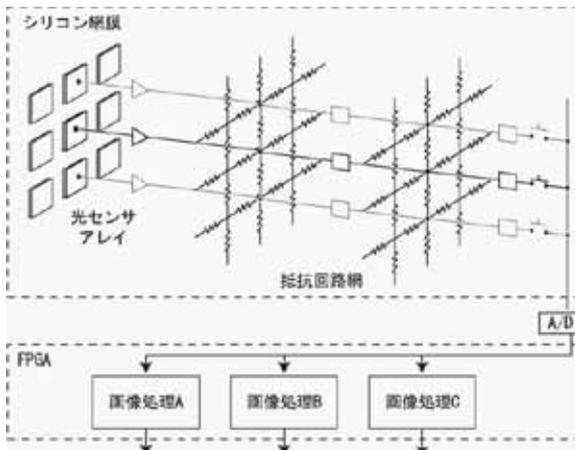


図1

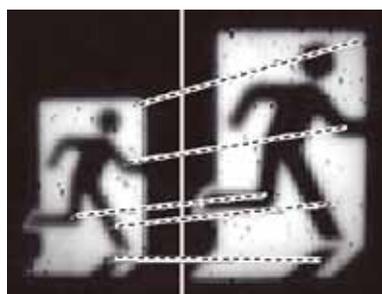


図2

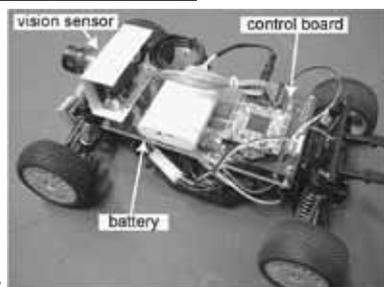


図3

### 3. 視覚制御ロボットへの応用

車両ロボットにアナログ・デジタル混在型知能視覚システムを搭載し、ロボットの視覚制御システムの開発を行った(用いた車両ロボットは図3)。自律移動型のロボットにとって、視覚は周囲を把握するための豊富な情報源となる。しかしながら視覚情報処理は計算コストの高い処理であるため、従来の逐次型処理システムでは、小型・低消費電力・実時間処理といったロボットビジョンの要件を満たすのは極めて困難である。この様な局面において、本研究グループの知能視覚システムは強力なソリューションとなる。ロボット車両の視覚制御の一例として、衝突検知システムを開発した。衝突検知を担っているバツタの視覚神経回路モデルに学び、衝突経路を接近する物体に対して特異的に反応するシステムを実装した<sup>[1]</sup>。本衝突検知システムをロボット車両に搭載し、屋外で動作検証を行うことにより、照明環境が苛酷な屋外でもロボバストに衝突の危険のある物体に対して特異的に応答することを確認した。また、屋外応用のため、イメージセンサの広ダイナミックレンジ化の研究も併せて行った<sup>[2]</sup>。

また、ロボットの視覚ナビゲーションの応用に向けて、レーン追従システムを開発した。開発したシステムは、車線左右の白線を手掛かりとして道路に沿って自動走行するよう、車両ロボット前輪の角度を調整する。処理の流れとしては、まずシリコン網膜から得られる輪郭強調画像から白線を抽出し、シリコン網膜の高さ、角度を既知として、画像上の白線を道路平面上の座標に変換する。この道路平面上の白線情報に従って、車輪の角度を調整する。本システムを搭載したロボットは、様々な照明環境下において、安定して白線に沿った自律走行を行った。

### 4. 人工視覚シミュレータの開発

近年、失明者の大脳皮質を電気刺激し視覚機能を部分的に代行する治療法、すなわち人工視覚の研究と臨床実験が進んでいる。大脳皮質刺激型の人工視覚システムでは、外界の視覚情報を電気パルスに変換し、埋植した電極配列にパルス刺激を加える。患者は、電気刺激によって惹起される光の感覚(光覚、phosphene)を感じる。人工視覚を臨床応用へと結び付けるには、このphospheneを解析し、より効果的な電気刺激方法、電極のデザイン、信号処理などを検討する必要がある。人工視覚システムには、撮像・画像処理・電気刺激の3つの構成要素が必要であり、また、小型かつ低消費電力であることが求められる。本研究では、シリコン網膜を大脳皮質刺激型の人工視覚に応用することを前提として、入力画像に対応した電気信号が惹起するphospheneを予想する実時間シミュレータを構築した<sup>[3]</sup>。脳半球片側の一次視覚野を電気刺激することを前提としているため、本シミュレータから出力されるのは半側視野のphospheneである(出力の一例は図4)。シミュレーションには、網膜や視覚野神経回路で存在する輪郭強調や時間フィルタを組み込み、電極数やフィルタサイズなどを変え、実験を行った。本研究で開発されたシミュレータは、人工視覚の最適な刺激方法を決定する上で有効である。

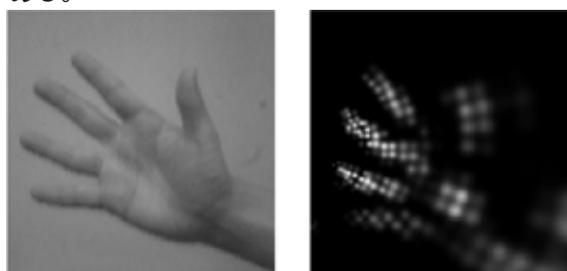


図4

### 参考文献

- [1] 奥野弘嗣, 八木哲也, “ロボット車両の衝突回避のための知能視覚システム,” 日本機会学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009, 福岡, 2009/5/24-26, 講演論文集, pp.2P1-G10(1)-(3).
- [2] 奥野弘嗣, 今井快多, 八木哲也, “実時間画像処理機能を備えた広ダイナミックレンジイメージセンサ,” 日本機会学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009, 福岡, 2009/5/24-26, 講演論文集, pp.1A1-C18(1)-(3).
- [3] 奥野弘嗣, 松岡 優, Tamas Fehervari, 八木哲也, “視覚野電気刺激によって誘発される光覚のシミュレーション,” ニューロコンピューティング研究会, 東京, 2010/3/9-11, 信学技報, vol.109, no.461, pp.363-366.