

「脳を創る」

平成11年度採択研究代表者

石川 正俊

(東京大学大学院工学系研究科 教授)

「感覚運動統合理論に基づく「手と脳」の工学的実現」

1. 研究実施の概要

本研究の研究目標は、人間の優れた「手と脳」の基本的機能を工学的に実現可能とする新たな実時間感覚運動統合理論を提案し、本研究で設計・開発する視触覚を有する高速ロボットシステム上でその有効性を実証することにある。このような考えのもとに、平成11年度は、実時間感覚運動統合理論、能動的学習理論、実時間視覚情報処理、実時間触覚情報処理、脳型情報処理LSI、高速アーム、高速ハンドの各研究グループに分かれて基礎的な理論に関する研究を行った。また、基礎的な実験データを得るための予備実験システムの構築を開始し、そのための各方式についての検討を行った。さらに、計算機環境やLSI開発環境等のシステム開発環境の整備を実行した。

2. 研究実施内容

(1) グループA

・実時間感覚運動統合理論の研究

本年度は、環境の変化に対応して柔軟で俊敏な把握行動を実現することを目標として、把握理論へ実時間階層型並列処理モデルを導入するための基礎理論についての研究を実行した。特に、環境の変化に対する反応の高速性と、様々な状況に適応して行動を行う柔軟性を実現するために、把握タスクをトラッキング、リーチング、グラスピング、プリシェーピングといった複数のサブタスクに分解し、それらを階層並列的に統合することを考え、そのために必要とされる行動統合理論について検討した。

・実時間視覚情報処理の研究

本年度は、実時間での高速な視覚認識を実現することを目標として、視覚処理アルゴリズムに超並列的な処理手法を導入するための基礎的な理論を検討した。特に、画像上での領域分割／対応づけの問題に関して、並列性と高速性を利用することで実現される、簡略な形式を持つ新たな領域分割アルゴリズムについて検討した。

・高速アームの研究

「手と脳」のための感覚運動統合理論を検証することを目標として、高トルク、軽量、高速性を満たすアームを導入した。同時に、高速視触覚センサフィードバックに基づいてアームを制御するための理論についても検討を行った。

(2) グループB

・脳型情報処理LSIの研究

a. 感覚運動統合システムにおける脳型情報処理アーキテクチャの検討

従来の脳型チップは汎用的なネットワーク構造と学習によって処理機能を獲得するアーキテクチャをとっているが、これでは実用的な機能と性能を実現するのは困難と考えられる。そこで開発の方針として、感覚運動統合理論グループの成果に基づいて、処理機能に固有なアルゴリズムを作り込み、融通性は再構成技術で与えることが適当との方向付けをした。実現技術として、高速性、精度、複雑な処理を実現のためにVLSIチップ化が必須であり、並列処理による高速性、ダイナミクスの制御、アナデジ混載回路の適用などが鍵である。チップ実現シーズ技術から脳型チップの構成案として、(1) メモリベースアーキテクチャと動的再構成技術によって特徴抽出・マッチング・認識を行うRealtime Matching Processor (RMP)、(2) センサ情報のAD変換、アクチュエータの制御、情報通信制御をAD融合回路アーキテクチャによって実現するSensor Communication & Control (SCC)、(3) 高度領域分割・セレクトィブアテンションなどを非線形セルラネットとアナログダイナミクス回路によって実現するImage Segmentation Processor (ISP) の3つのチップについて検討を行った。

b. 脳型チップ設計評価環境の整備

設計検証計算機環境を整備するとともに、アナデジ混載回路のシミュレーション技術、クロストーク雑音評価技術の調査などを実施した。

(3) グループC

・高速ハンドの研究

a. アクチュエータの高速化の検討

DCサーボモータの設計仕様は、一般に定常動作状態を基準に決められる。そのため、過電流が流れるとたちまち安全回路が動作してenableスイッチが遮断されるように設計されている。ただし、DCサーボモータは瞬間的な過電流によって壊れることはなく、通常過電流が流れ続けることによって発生する熱によって破壊される。この点を踏まえた上で、スピードが要求される位相でのみ大電流を供給する「大電流瞬時駆動型アクチュエーション方式」の実現可能性について考察した。

b. ハンドの小型化の検討

一般に、アクチュエータを固定した場合、ハンドを小型にすればするほど、質量が小さくなり、結果的に大きな加速度を実現することができる。ただし、この場合、小型ハンドで得られた結果を評価するためには、ヒトの手の世界と人工ハンドの世界の力学的相似性を明らかにしておく必要がある。この問題に対する検討は次年度に引き継ぐことにした。

(4) グループD

・実時間触覚情報処理の研究

可動部を有する多指ハンド上に実装可能な、高密度空間解像度を持つ分布型触覚センサの構築のため、感圧構造、検出回路、検出部保護構造の検討及び基礎的設計を行った。また、実時間触覚情報処理アルゴリズムに関しては、分布型触覚センサの多数の検出エレメントから出力される検出値に関して、そのデータ補正方式などの前処理方式について検討を行った。

(5) グループE

・能動的学習理論の研究

本年度は、手の動きおよび視線の動きをいずれも3次元的に計測する体制が整えることを目的として、視覚運動変換のメカニズムおよび能動的視覚情報獲得のメカニズムを調べるための心理実験装置の導入を行った。また、感覚統合処理と学習運動制御のための計算構造として、強化学習と教師あり学習に基づく方式について検討した。このほか、脳における「注意と知覚のダイナミクス」を理解する試みとして、視覚的注意と構造知覚の相互作用に基づいて知覚の動的变化を再現する神経回路モデルについても検討した。

3. 主な研究成果の発表（論文発表）

- 石井抱、石川正俊：高速ビジョンのためのSelf Windowing, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J82-D-II, No.12, pp.2280-2287, 1999
- 並木明夫、石川正俊：視触覚フィードバックを用いた最適把握行動、日本ロボット学会論文集、Vol.18, No.2, pp.261-269, 2000
- M.SHIMOJO, M.SHINOHARA, Y.FUKUI, Human Shape Recognition Performance for 3D Tactile Display, IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, Part A, Vol.29, No.6, pp.637-644, 1999.