

## 研究課題別 事後評価結果

1. 研究課題名： 感覚運動統合理論に基づく「手と脳」の工学的実現

2. 研究代表者： 石川 正俊(東京大学大学院 情報理工学系研究科 教授)

3. 研究内容および成果：

本研究は、脳・手・眼・触感覚などのロボットを構成する諸要素を従来品に比べてはるかに高性能なレベルで構築し、それらを有機的に統合することにより、速さと環境変化への適応能力が人間の認識能力を超える超高速動作をするロボットを製作することを目標とした。

3-1 感覚運動統合システムの超高速化と多機能化

超高速ロボットシステムを実現するための戦略、即ち、1) システムの性能を最大限に引き出す、2) 高速の物理現象に現れる特性を利用する、3) 不安定領域や非接触状態を積極的に利用するという三つの戦略を導入することにより、新たな運動技能の創出とシステムの多機能化を図った。具体的には、1) 人間がランダムに投げたボールを目標位置へ打ち返すバッティング動作、2) 二本の指で交互にボールを打撃するドリブル動作、3) 落下してくる生卵を割らずに把持するソフトキャッチ、4) 棒状の物体を高速かつ安定して回転させるペン回し、5) 物体を投げ上げて把持姿勢を変化させ、直すダイナミックリグラスピング、6) 発生エネルギーの効率的な伝播で手先の運動を高速化するスローイング動作、7) 高速ビジョンを用いた瞬時の判断による衝突回避動作を実現した。

3-2 超高速マニピュレーションメカニズムの開発

高速動作に適したワイヤ駆動式軽量高速ロボットハンドの製作においては、ロボットハンドが対象物を捕獲する際の設計指針として、動的把握事前動作(Dynamic Preshaping)を考慮したロボットの最適機構パラメータ決定の手法を新たに構築した。また、遺伝的アルゴリズムを用いてワイヤ張力波形を調整する学習により、入力張力の最適波形を獲得する手法を確立するとともに、高速捕獲対象を並進および回転運動をする棒状物体へと拡張し、接触摩擦に依存することなく安全に捕獲できる動的捕獲戦略を作成した。さらに、これまで実施されることのなかった柔軟物体の非把持ダイナミックマニピュレーションを実現するために、プレートの並進および回転の二つの自由度運動によって生成される柔軟対象物の慣性力と摩擦力を定式化し、接触面積変化に応じた対象物の高速回転メカニズムについての力学的枠組みを構築した。

3-3 触覚情報処理の高速化・知能化

高速の応答と知能をもつ触覚・滑り覚・近接覚を有するシステムを開発した。その基本となるロボットハンドを多指ハンドに統合した把持操り動作を行わせることにより、その有用性を実験的に確認した。ここで開発したセンサは、柔軟な薄型の形状を有し、その接触面積や配置にかかわらず数ms以下の高速の応答性があり、センサからの配線数が4~6本程度という省配線型である。

また滑り覚については、全方位の初期滑りを高感度・高速で検出できる特徴を有する。さらに、視覚情報と触覚情報を滑らかに接続する近接覚センサを導入したことにより、物体が近距離に接近したことを確実に検知できることから、より高速に接近してソフトな接触ができることを実証した。

#### 4. 事後評価結果

##### 4-1 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

期間中の外部発表、特許等の実績を示す。

発表論文:(邦文) 12件/(英文) 14件

口頭発表:(国内) 131件/(海外) 62件

特許出願:(国内) 0件/(外国) 0件

(基本的な特許は過去に押さえている。)

「学習や予測システムを用いずに、センサ系と処理系を高速化することにより、従来にない高度な機能を持たせる」という基本的な研究方針の下、高速ビジョンと高速マニピュレータ・高速指の組み合わせで、人間を凌駕する性能を実現した。これらの研究成果は、最初の構想どおり、またはそれを上回るものであるとともに、その内容は要素の極限を追求したユニークなものであり、世界的に類例がなく、高く評価される。

今後、高速ビジョンと感覚運動統合を軸に、タスク分解、ダイナミック整合などのキーとなるプロセス技術を一般の企業でも容易に扱えるような環境を整えることができれば、本研究で蓄えられたアルゴリズムや様々な技術の価値はさらに増し、実用に向けた新たな発展が期待される。

##### 4-2 成果の科学技術への貢献

視覚技術と運動技術において現状での極限ともいべき水準を実現し、人間の認識能力を超える超高速動作を行う統合システムを開発した。これは現状の技術水準を大きく超えるもので、そのインパクトは大きい。しかしながら、これまでの技術開発のポイントは要素技術の高度化に注力されており、そのかわりに予測制御、学習、頑健性などの要素は除外されている。今後技術の体系としての着実な地位を占めるためには、様々な他のシステム技術との融合が必要になるであろう。本研究は、ロボットシステムの融合化における要素技術の極限の可能性を実証したこと、さらにその成果が国内外を問わず他の追従を許さない極めて高いレベルにあることから、今後の科学技術の発展に大きく貢献するであろう。

##### 4-3 その他特記事項(受賞等)

研究代表者の技術思想に基づく一貫した方針と強い指導力がサブグループを含めて大きな柱となり、大学院生の教育や若手育成の面にも大いに貢献した。