

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 見まねにより手話や舞踊動作が可能なヒト型ロボット

2. 研究代表者： 星野 聖（筑波大学 大学院システム情報工学研究科 助教授）

3. 研究概要：

ロボットとヒトが共存するような環境では、ロボットがいかに動作するかについての指令をヒトが逐一与えるよりは、ロボット自らがヒトを観察して動作を自己獲得できることが望ましい。ヒトの運動能力の巧みさや知能は、「手」や指の動作に顕著に現れる。しかし、ヒトの手は形状が複雑で、変形も大きく、しかも何らのセンサを装着せずにカメラ映像だけで運動推定を行おうとすると、自分の体の部分によって他の部分を隠してしまう自己遮蔽の問題が存在する。ヒト動作の見まねにより動作を自己獲得するためには、高速かつ高精度に手の形状推定を行い、それをもとにロボット自らが動作を生成できるアルゴリズムが不可欠となる。他方、現状のロボットハンド技術では、ヒトの手のような豊富な能動自由度を付与しようとする、重くて大きな機械になってしまう。ヒトの手の生理学と機械工学の知識を活用して、ヒトの手のように器用で知的に動く新しいヒト型ロボットハンドの開発も切望されている。

本研究の狙いは、見まね（非接触的方法）によりヒト手指動作を高速かつ高精度に再現できるロボットハンドシステムの実現にあった。この目標達成のためには、画像処理技術と機構設計の双方における大きなブレークスルーが前提となった。

本研究目標の実現のために第一に行ったことは、高速かつ高精度のヒト手指形状推定システムの開発であった。従来の発想を変え、形状が複雑であろうと自己遮蔽があろうと、膨大な量の「手」類似画像をデータベースとしてあらかじめ用意しておき、そこから類似画像を高速検索してロボットを制御する方式を採用した。とくに、大規模データベースを簡単に構築でき、手形状の個人差にも対応できる方法として、データグローブにより手指関節動作を計測し、同データからコンピュータグラフィックス(CG)の手を生成する手法を採用した。主成分分析を用いて、使用する特徴量の大幅な低減を図った。その結果、比較的高い仕様のPCを用いれば、指関節の推定誤差が数度程度で、50～60fps程度の速さのヒト手指形状指定が実現できた。高速検索された類似画像は、データグローブを用いて計測された関節データから生成されたCGであるため、検索結果をもとに即座にヒトと同じ動作をロボットハンドに再現させることも可能であった。

第二に行ったことは、重くて固い物体をしっかりと把持できるだけでなく、薄くて柔らかく壊れやすい物体を指先で安定してつまむことのできるヒト型ロボットハンドの設計と開発であった。そのために、第一に、ハンドのそれぞれの指先に、小さなモータにより駆動する独立自由度を配置した。また、その指先関節の可動閾を、屈曲だけでなく、手の甲側に反ることまで可能な機構にした。その結果、机の上に置いてある1枚の名刺をつまみ上げることも可能となった。第二に、母指にねじりの自由度を配置し、母指の指腹と他の指の指腹とが正対するようにして、安定した指先つまみを実

現した。新しく設計試作したヒト型ロボットハンドは、指先での名刺操作や、ペンを持つての書字やペン操作が可能であった。

第三に行ったことは、ロボットハンドを装着して伸縮させるためのロボットアームの設計であった。そのために、排気がきれい、突発的出力が出にくい、安全であり、駆動時の騒音も小さくて済むという利点を持っているため、動力源として空気に着目した。ところが従来の空気圧式アクチュエータでは、正確な位置決めが難しく、任意の位置でピストンを動かすに難しく、すなわち剛性形成が困難という欠点を持っていた。しかし本研究では、流体シリンダへの流体の入出を止めたり、また流体シリンダに接続された流体の流路を細めたりすることによって生じるスプリング効果（圧縮される流体の反発力）やダンパ効果（入出する流体の流量抵抗）を利用することにより、ピストン運動の抵抗となる受動的な抗力を生み出す機構を開発した。ヒト上肢と同じように7自由度を持つヒト型ロボットアームに空気圧式アクチュエータと剛性形成可能な制御バルブとを配置し、制御実験を行ったところ、ヒトの動作と同じように、音楽に合わせての二拍子、三拍子、四拍子の指揮動作を行うことも可能であった。

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

PRESTO（さきがけ研究）の発展継続として、人型ロボットハンドの製作、ヒト手指の形状推定、エアシリンダを用いた柔らかい動作のアームなど、ヒト型ロボットハンドアームに関して、高い機械設計技術に独創的なアイデアを注入してハードウェアを設計試作し、そのための運動制御システムを作り、限られた範囲での認識処理ではあるが認識行動実験を行ってみせた点は、高く評価できる。プロジェクトのテーマそのものはヒト型ロボットに統合されているイメージがあるが、ハンド、形状推定、アームの3つの開発をほぼ同時に行う研究となっている。3つのそれぞれについて、研究代表者独自のアイデアを基に形のある成果を創出している。この研究は、ロボットに動作手順や操作手順を教示するためのティーチング方法について、一つの方法を提案したものと位置づけられる。本研究が目的とする手話や舞踊動作のティーチングでは、本研究で得られている精度、応答性で、十分、達成可能と判断できる。しかし、現状では、触覚などのセンサがなく、学習機能が考慮に入っていないこと、また画像処理をデータベースとの照合で高速化する技術はフル3次元では破綻するであろうことなど、種々の限界がある。回転が含まれる広い範囲の動作認識も可能な上での高速化が必要であり、認識対象動作の見る位置と運動範囲に対する制約条件の一層の拡大に踏み込んだ展開が望まれる。また、研究目標の一つであった人間の脳の見まね機能との関連性に関しては、不明確なままとなっている。これらを、今後の研究課題として、大いに発展させることを期待する。

4-2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

人型ロボットは多数あるが、手指の器用さに着目した研究は少なく、コンパクトなヒト型ロボット

ハンドのメカニクスの研究開発成果としては、先端的であり、高く評価できる。ロボットへのティーチングや遠隔操作プロセスの研究という立場から見ると、重要度が高い研究と位置づけられ、手話や舞踊動作、ゲーム等への応用が期待できる。

個々の研究のなかで、ヒト手指形状推定システムの開発では、8自由度で、人手指動作が生成できるロボットハンドシステムを設計、開発したことは、他のロボット指システムと比較しても技術的インパクトは大きいと評価する。しかし、指先つまみ可能なヒト型ロボットハンドの開発としては、机の上に置いてある名刺やペンを人と同じようにつまみ上げる操作が出来るまでには至っていないようなので、つまみ可能ロボットハンド技術としては未完成な状況にある。また、空気圧式ロボットアームの開発については、途中の段階であり、手先にハンドを搭載したシステムに至っておらず、今後の成果を待つ必要がある。しかし、これらの各技術について、多くの特許出願をしていることは、各要素技術の実用化という観点から高く評価する。

科学的・学術的には、腰を落ち着けて見まねに含まれる本質的課題の解決を目標として進もうとする深い計画があるならば、システムのハードウェアから吟味し、次なる展開へ向かうというアプローチは、大変重要で高く評価できる。今後は、当該研究分野の厳しい議論を経るなかで、ロボットハンドを組み込んだ見まねシステムの要素技術を、情報工学分野の専門家の協力も得ながらさらにレベルアップして、延いては、人間の脳の見まね機能との関連性を明確にして、ヒューマノイドロボットの研究の中での位置づけを明確にする方向へ更に発展されることを期待する。

4-3. 特記事項

特に無し