

論文内容の要旨

博士論文題目 操作的な手動作入力インタフェースのための多視点画像に基づく手形状推定

氏名 上田 悦子

(論文内容の要旨)

本論文は、多視点画像に基づく手形状推定の新しい手法を提案するものである。人間の意識的な手動作は、人間に対する「対話的な手動作」と物体に対する「操作的な手動作」に分けることが出来る。本論文で提案する手法は、後者の操作的な手動作の際の手形状を推定することを目的としており、そのためには手指の各関節の回転・屈曲角度を定量的に推定する必要がある。また、推定した操作的な手動作をコンピュータインタフェースや VR インタフェース、ロボットインタフェースの直接操作入力として応用することを目標にしている。これらの実現により、従来のポインティングデバイスを用いた入力インタフェースに比べて、より直接的で直感的な入力インタフェースを構築することが出来るという効果をもたらす。

はじめに、本研究のキーアイデアとなる多視点画像に基づく手形状推定手法の提案を行う。提案する推定手法において、入力データは多視点カメラシステムを用いて得られた実空間の手の 2 次元シルエット画像群である。得られた複数視点のシルエット画像群は統合され、3 次元観測データであるボクセルモデルとして再構成される。一方で、人間の手は関節物体として 31 自由度のリンクと表面形状データで表現されており、このモデルを骨格モデルと呼ぶ。提案する推定手法は、画像キャプチャごとに逐次作成されるボクセルモデルと、骨格モデルの位置関係より 3 次元フィッティングを行い骨格モデルの指の各関節回転角度を推定することを基本とするものである。シミュレーションにより提案手法の評価を行い、その上で実カメラシステムを用い多視点動画像を入力とした連続的な手形状の推定実験を行う。次に、提案した基本手法の推定速度

の向上を図るために、手の表面形状データを Catmull-Clark サブディビジョンサーフェスで表現し、基本推定手法に粗密探索法を導入することを提案する。シミュレーションと実画像を入力とした実験により、改良手法の評価とその有効性を明らかにする。次に提案した手形状推定手法における 2 種類の特性評価を行う。一つはボクセルモデルの復元レベルの違いが与える推定結果への影響、もう一つはカメラの台数とそれらの位置の違いが与える推定結果への影響をそれぞれ評価する。最後に、提案手法により推定された操作的な手動作を、物体あるいは形状操作のための入力インターフェースとして応用し、評価を行う。評価のためのアプリケーションとして、提案手法を用いて推定した操作的な手動作によってバーチャルクレイの変形を行うバーチャルクレイモデリングシステムのプロトタイプを構築し、その操作性の検証を行う。

シミュレーションおよび実画像を入力とした実験とそれらの検証結果から、提案した多視点画像に基づく手形状推定手法の有効性・正当性、そして目標とするアプリケーションへの応用が可能であることを示すことが出来た。

(論文審査結果の要旨)

本論文は、人間の意識的な手動作のうち物体に対する「操作的な手動作」の際の手形状をコンピュータインタフェースや VR インタフェース、ロボットインタフェースの直接操作入力として応用することを目的とした、多視点画像に基づく手形状推定の新しい手法を提案し、シミュレーションおよび実画像を入力とした実験とそれらの検証結果から、提案した多視点画像に基づく手形状推定手法の有効性・正当性、そして目標とする推定精度と処理時間が達成でき、またアプリケーションへの応用も可能であることを示している。本論文の主な成果は以下に要約される。

1. 手の骨格モデルと、多視点カメラシステムから得られたシルエット画像を統合して 3 次元化されたボクセルモデルと呼ばれる手の観測データの間との、3 次元上での直接的なフィッティングを基本とした手形状推定アルゴリズムについて示している。提案した手法は、従来モデルマッチング手法として一般的に行われている、モデルの形状変化を 2 次元画像に反映させ評価を行う手法に比べより直接的にモデルの形状変化を取り扱うことが出来る手法であることを示している。シミュレーションでは角度変化が 40 度程度の手形状を、約 5Hz で推定することが可能であることを示している。また実カメラシステムへの実装も行い、実画像を入力とした場合もシミュレーションと同様に期待通りの動作を示している。
2. ボクセルモデルの復元レベルの違いが推定精度と処理時間に与える影響をシミュレーションし、手形状推定の応用目的により、精度優先か速度優先かが異なるため、目的により復元レベルの設定も考慮する必要があることを示している。
3. カメラの数の違いとカメラ配置の違いが推定精度に与える影響をシミュレーションし、推定誤差が小さくなり安定するカメラ台数の指標と、現状の実カメラシステムの適切な配置について示している。それと同時に、どのような手形状に対しても最適な推定結果を与えるカメラ配置を決定することは不可能であり、複数のカメラからオクルージョンが少ないカメラを選択しながら推定を

行う必要性があることを示している。

4. コンピュータインタフェースとしての手形状推定手法の応用のためにバーチャルクレイモデリングシステムのプロトタイプを実装し、推定した手形状により塑性体表面形状を滑らかにリアルタイムに変形することは可能であることを示している。

以上のように、本論文は、実務環境で実用可能なビジョンベース手形状推定システムの構築に寄与しており、コンピュータインタフェースや VR インタフェース、ロボットインタフェースの技術向上に大きく貢献している。よって本論文は、博士（工学）の学位論文として価値があるものと認める。