

論文内容の要旨

博士論文題目

Model Calibration and Unscented Kalman Filter for Hand Pose Estimation
(モデルキャリブレーションとアンセンテッド・カルマンフィルタによる
手姿勢推定)

氏名 Albert Causo

(論文内容の要旨)

ビジョンベースの手姿勢推定やジェスチャ認識の進歩は、非接触な入力を可能とし、より自然なヒューマンロボットインタラクションやヒューマンコンピュータインタラクションを実現する。手姿勢を推定するためにカメラと手モデルを使用する、ビジョンベース+モデルベースのアプローチにおける最新の研究では、「モデルの校正」、「手首姿勢と各指姿勢の同時推定」および「推定精度の定量的評価」、の三つの問題を解決することが特に重要な点となっている。本論文の目的は、これら3つの問題をユーザ固有の手モデルの生成と予測フィルタを用いた推定手法によって解決することである。

推定に利用する手モデルの表面形状表現方法の改善及び、リンク長などのモデルパラメータを個々のユーザに対応することは推定精度の向上につながる。しかし従来研究では、MRIのような高価な装置を用いて調整するものや、姿勢推定を行いながらモデルパラメータの調節を行うものが多く、簡単に個人別の手モデルを作成することが困難である。そこで、性別や手の大きさなどの物理的な違いに関係なく、誰もが簡単に手形状推定システムを利用できるように、推定システムと同じ複数のカメラを使用した手モデルの個人対応手法を提案する。論文前半では、姿勢推定する前に行う手モデルの校正手法について述べる。提案手法では、手の表面形状を視体積交差法を用いてボクセル表現する。さらに校正のための手指動作を観測することで、手モデルと観測結果の誤差を最小化し、各指のリンク長を推定する。実際の各関節間の長さとは推定したリンク長を比較することで、提案手法の有効性を確認した。さらに、手の姿勢推定の性能を定量的に評価するため、個人対応していない手モデルと個人対応した手モデルによる姿勢推定結果の比較を行った。

手の姿勢推定に関する多くの研究では、手首位置姿勢を設定するグローバルパラメー

タ、あるいは指関節角度を設定するローカルパラメータのいずれかを固定して手姿勢を推定している。しかし、このような制限は、ユーザにとっては自然な手の動きを困難にするものとなる。これら両方のパラメータを同時に推定するためには、本研究では、非線形フィルタの一種であるアンセンテッド・カルマンフィルタを手形状推定に適用することを提案する。アンセンテッド・カルマンフィルタを用いれば、手モデルと観測の誤差を最小にすることが可能となる。15 自由度を持つ手動作推定を通して、手首位置姿勢と指姿勢の同時推定実現可能性を検証した。

(論文審査結果の要旨)

本研究では手姿勢を推定するためにカメラと手モデルを使用する、ビジョンベースならびにモデルベースのアプローチにおける三つの問題、「モデルの校正」、「手首姿勢と各指姿勢の同時推定」および「推定精度の定量的評価」、をユーザ固有の手モデルの生成と予測フィルタを用いた推定手法によって解決しようと取り組んだものである。本論文の主な成果は以下に要約される。

1. 推定システムと同じ複数のカメラを使用して、手の表面形状を視体積交差法を用いてボクセル表現し、校正のための手指動作を用いて手モデルと観測結果の誤差を最小化することで、各指のリンク長を推定する手法を提案した。実際の各関節間の長さで推定したリンク長を比較することで、モデル校正手法の有効性を確認している。

さらに、モデルフィッティングによる手形状推定時に用いるモデルも、手の表面形状と指のリンク長の個人対応を行ったモデルに更新した。これら手の校正（個人対応）に基づく手の姿勢推定の性能を定量的に評価するため、従来の手モデル（個人対応をしていないもの）と提案した個人対応手モデルによる姿勢推定結果、加えてデータグローブを用いて計測した手姿勢との比較を行っており、個人対応した手モデルではデータグローブと遜色のない推定結果が得られることを定量的に示している。

またこれまでの研究においては、手姿勢推定対象のユーザは成人に限られていたが、本研究では、子どもの手姿勢推定も可能であることを示している。

2. これまでのビジョンベース手形状推定分野では、「手首位置姿勢あるいは指姿勢のいずれかを固定する」といった動作制限をユーザに与えることが多かった。これはユーザにとっては自然な手の動きを困難にする要因であった。本研究では、最近着目され、徐々に様々な分野への適用が進められてきた非線形フィルタの一種であるアンセンテッド・カルマンフィルタを手形状推定に適用し、複数のパラメータを同時に推定することを提案している。アンセンテッド・カルマンフィルタを適用するための、推定ベクトルの定義、観測ベクトルの定義、各種パラメータ設定について提案を行っている。15自由度を持つ手動作推定を通して、手首位置姿勢と指姿勢の同時推定実現可能性を検証しており、さらに新しい非線形フィルタの手形状推定導入の方法も示すことができた。

以上のように、手モデルの校正と予測フィルタの導入により、現在の手姿勢推定システムの主要な問題に取り組み、その結果、手モデルの個人対応により姿勢推定精度の改善を達成し、さらにアンセンテッド・カルマンフィルタの適用によって、自然な手動作における姿勢推定を可能にする、グローバルとローカルパラメータの同時推定を実現しており、本論文は人の動作認識技術及び画像認識技術の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。