

| | | | |
|-----------|-----------------------------------|--------------------------|-------|
| 氏 名 | 富田 元將 | | |
| 学 位 の 種 類 | 博 士 (工学) | | |
| 学 位 記 番 号 | 博 甲 第 7720 号 | | |
| 学位授与年月日 | 平成 28 年 3 月 25 日 | | |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当 | | |
| 審 査 研 究 科 | システム情報工学研究科 | | |
| 学位論文題目 | 日常の手指動作で人工物操作を行うための 手指形状推定システム | | |
| 主 査 | 筑波大学 教授 | 博士 (医学)、 博士 (工学) | 星野 聖 |
| 副 査 | 筑波大学 教授 | 工学博士 | 丸山 勉 |
| 副 査 | 筑波大学 教授 | 博士 (学術) | 秋山 英三 |
| 副 査 | 筑波大学 准教授 | 博士 (情報科学)、 博士 (デザイン学) | 星野 准一 |
| 副 査 | 筑波大学 准教授 | 博士 (情報科学) | 望山 洋 |

論 文 の 要 旨

コンピュータグラフィックス、家電、医用機器、デジタルサイネージ、ロボット等の人工物操作を実現する方法として、ユーザが日常生活で行っている動作、とくに手指の動作を、そのまま入力指令に用いることができれば、誰でも簡単に、高度で複雑な人工物操作を行うことができる。本研究では、ユーザが自由に動き回りながら、物理世界と同じ手指動作をすることで、あらゆる人工システムを物理世界と同じように操作できるようにするための手指動作認識システム、すなわち手指形状推定システムの実現を目標とした。

そのためには、第 1 に、データグローブのような高い推定精度で、しかも、高速の手指形状推定ができる必要がある。第 2 に、たとえばロボットなどの実機を用いるシステムで、安定した物体把持や物体操作ができるように、とくに自己遮蔽により推定が難しい四指と母指の対向動作も高精度に推定できる必要がある。第 3 に、モーションキャプチャ使用環境下のように、撮像カメラに対してユーザが自由に動き回る状況でも、高速高精度に推定できる必要がある。著者は、以上 3 条件を満たすことにより、あらゆる人工システムが操作可能な手指形状推定システムが実装できると定義した。

第 1 の、高速かつ高精度の手指形状推定システムを実現するため、従来システムでは、事前に特徴量空間における類似度に従って照合用データベースを並び替えておき、過去の推定結果からデータベースの探索範囲を狭める手法を提案していた。それに対して本研究では、粗い篩い分けと精緻な類似度照合という 2 段階のデータベース探索により、高速処理と高精度推定という相反する 2 条件の両方を満足する手指形状推定システムを実現した。第 1 段階の粗い篩い分けでは、過去の推定結果により

探索空間を狭める必要がないため、ある時刻での最良推定結果が探索空間外に出てしまう場合でも、最類似の照合用データセットを検索できる。

第2の、とくに母指と四指との対向状態を高精度に推定するための手指形状推定では、ゆるい直交関係に設置した2台のRGBカメラを用いることにより、手指領域が大きく写っている画像を四指の形状推定に用い、それと対をなす母指が明瞭に写っている画像で母指の形状推定を行うシステムを実現した。四指と母指とで全探索を行わず、四指と母指とを分ける2段階の絞り込みを導入することで、手指ジェスチャー遠隔ロボット操作における高速性と高精度推定の実現を目指した。

第3の、カメラの前でユーザが動き回ったり、後ろを向いたりするような場合でも、断続なく手指形状推定ができるようにするために、超小型カメラと小型コンピュータを掌や手首に装着するウェアラブル手指形状推定システムを実現した。ただし、本研究で利用できる小型コンピュータは通常コンピュータよりも性能が低いため、低仕様コンピュータでも高速に動作する手指形状推定アルゴリズムが必要となる。そこで、超小型カメラを手の甲側に設置したことを利用して、その見えでも効果的に次元圧縮できる画像特徴量についても検討を行った。

審 査 の 要 旨

【批評】

第一の研究では、手指画像から低次の粗い画像情報と高次の精細な画像情報算出し、第一段階を低次の情報による篩い分け、第二段階を高次の情報による類似度計算とする2段階のデータベース探索を採用することで、データベースの探索範囲を狭める必要のない手法を実現した。約30,000個の照合用データセットを用いて評価実験を行った結果、推定誤差の平均値が-2.11度と良好であった。また、第一段階の篩い分けでは、28,386個から平均137.7個のデータセットに絞り込むことができ、過去の推定履歴を用いない本手法で、良好な推定精度と処理速度の2条件が達成できた。

第二の研究では、直交関係にある2台のカメラを使い、撮像されている手指面積の大きい方のカメラで四指の、小さい方のカメラで母指対向状態を推定するシステムを提案した。評価実験の結果、示指PIP関節で推定誤差の平均値が0.45度、母指CM関節で4.7度と、良好な推定精度であった。また、実機のロボットと組み合わせた遠隔操作実験では、ユーザがカメラの前で手指を日常のように動作させるだけで、ロボットは簡単に物体を把持することができた。

第三の研究では、超小型カメラと小型コンピュータによる装着型ハードウェアを使った手指形状推定システムによって、オペレータの歩き回りや振り返りなどの動作に影響されず、安定して手指形状推定できるシステムの実現を図った。画像特徴量である高次局所自己相関特徴25パターンのうち、1パターンのみを使うことで、特徴量を1,600次元から64次元に次元圧縮し、低仕様の小型コンピュータに搭載した。評価実験の結果、推定誤差の平均値と標準偏差は -5.7 ± 7.2 度であり、推定速度の平均値は25.0msであった。非力なコンピュータを使用しながら、推定精度を落とすことなく、推定速度を大幅に高速化できた。

一連の結果は、本提案手法が、コンピュータグラフィックス、家電、医用機器、デジタルサイネージ、ロボット等のあらゆる人工物を、日常動作と同じ手指動作で操作可能である技術であることを示唆していた。

【最終試験の結果】

平成28年2月10日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。