

氏名（本籍）	唐 榮（中国）
専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	工博 第255号
学位授与の日付	平成31年3月21日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工学資源学研究科・電気電子情報システム工学専攻
学位論文題目 （英文）	磁気式モーションキャプチャを用いた指骨の位置姿勢推定手法の研究：～手指動作推定のための手指スケルトンモデルの構築～ （Research of finger bone position and posture estimation method utilizing magnetic motion capture: ～ Development of skeletal finger model for estimating finger motion ～）
論文審査委員	（主査）教授 水戸部 一孝 （副査）教授 景山 陽一 （副査）教授 有川 正俊 （副査）教授 小野田 勝

論文内容の要旨

ヒトの手指のモーションキャプチャには暗黙知の顕在化や熟練技能の継承等、少子高齢化に直面した社会において大きな可能性が秘められている。習熟した手技が必要とされる医療分野の一つに腹腔鏡手術があり、過去の研究において手袋式や光学式のモーションキャプチャ装置を用いて手首の姿勢や指関節の角度等が調べられている。しかしながら、腹腔鏡器具のような鉤状の器具を操作する条件では、カメラの死角に指が入ってしまう等のオクルージョンが発生するため、操作者の指使いを計測して動作のこつを科学的に解析することは困難だった。

本研究では、生体を透過する磁場を用いて位置姿勢を計測できる磁気式モーションキャプチャ技術による手指巧緻動作の計測・再現技術の構築を目指している。本論文では、指先の末節骨に1個、手の甲に1個の2個のレシーバの位置姿勢情報から3関節を有する1本の指全体の動作を再現するために必要となる操作者独自のスケルトンモデルの構築法を考案すると共に、構築したスケルトンモデルを用いて基節骨と中節骨の動作を再現する推定手法を考案し、5人の検査参加者を対象として提案手法の妥当性を検証している。

本論文は6章で構成されており、手指スケルトンモデルの自動生成手法および末節骨に装着したレシーバから手指の巧緻動作を推定するための逆運動学解について論述している。

第1章では、本論文の背景となる手指巧緻動作計測上の課題および目的について述べている。

第2章では、動作の計測手法と解析手法について説明しており、各種モーションキャプチャ技術の原理と課題について整理すると共に、動作解析に必要となる数学上の基礎知識および手指の巧緻動作解析に必要となる手指スケルトンモデルについて説明している。

第3章では、「手指巧緻動作の計測システム」および指先のエンドポイントの「定位精度の評価実験システム」の構成について、検査参加者および教示条件と合わせて説明している。

第4章では、動作データから手指スケルトンモデルを構築する手法および構築したスケルトンモデルの妥当性を評価する手法について説明している。本章では、CG やロボット等のリンク構造に採用されている従来型の直交軸モデルとユーザに固有の回転軸を採用したユーザ軸モデルの両スケルトンモデルの作成方法を提案している。さらに、ユーザの動作データを再現した際の関節間距離の変動および指先位置のズレを尺度として両モデルの妥当性を検討している。その結果、ユーザ軸モデルは動作中の指先位置のズレを直交軸モデルと比べ平均 50%低減できることを明らかにしている。また、ターゲットを指し示す際の示指のエンドポイントを計測し、両スケルトンモデルによる再現精度を比較した結果、直交軸モデルに比べ、ユーザ軸モデルの目標値に対するズレが有意に小さい (two-factor factorial ANOVA, $p < 0.05$) ことを実証している。

第5章では、前章で作成した直交軸スケルトンモデルを用いて、中節骨および基節骨にレシーバを装着せずに、末節骨と手の甲だけにレシーバを装着した条件で指の動作を再現する推定手法を提案し、評価実験により妥当性を検討している。関節の回転軸が直交軸に近い3名の検査参加者の手指動作データを用いて PIP・MP 関節の軌跡を推定した結果、真値の軌道との相関係数が 0.98 以上の高い相関を示し、また、真値に対する関節位置のズレも 2.4mm 以下であり、提案手法の妥当性を確認している。しかしながら、関節の回転軸の傾きが大きい検査参加者では、相関係数は 0.65 まで低下し、関節位置のズレも最大 5.6mm まで増加する等、本手法の適用限界を確認しており、今後、ユーザ軸モデルによる動作再現手法の構築が必要であると述べている。

第6章では、本研究で得られた成果を整理すると共に、今後の課題についてまとめている。本論文で構築したスケルトンモデルの自動生成技術は、ユーザに固有の手指のCGやロボットハンドの製作等の工業分野において必要不可欠な技術であり、また、指関節部位における脱臼や炎症等の各種疾患の検査等の医療分野においても有用な検査技術となり、人間情報工学に寄与するところが大きい。よって、本論文は、博士(工学)の学位論文として十分価値のあるものと認められる。

論文審査結果の要旨

学位論文審査委員会は、平成31年2月12日(火)午前9時00分から午前10時00分まで、理工学部5号館201教室にて論文公聴会を開催した。水戸部一孝審査委員会主査、景山陽一審査委員、有川正俊審査委員、小野田勝審査委員の出席のもと、論文内容と関連する項目について、詳細な質疑応答並びにディスカッションにより学力および論理的思考力を確認した。

特に、博士論文で述べられた手指スケルトンモデルの構築法および評価方法を中心に、

- (1) 握り動作の訓練に使用した円筒の選定理由と動作データの再現性について。
- (2) 実験に参加した被験者群、実験条件および推定精度の個人差について。
- (3) 指骨の長さの定義と計算方法について。
- (4) 手指へのレシーバの装着方法とキャリブレーション手法について。
- (5) レシーバ装着が手指動作に与える影響について。
- (6) ユーザ軸で構築したにも関わらず定位精度が改善しなかった2例の理由について。
- (7) 座標系に右手系ではなく、左手系を採用した理由について。

以上の口頭試問に対していずれも的確な回答がなされた。

本公聴会后，同場所にて開催した学位審査委員会において審議した結果，本学位審査委員会は唐栄氏が最終試験に合格し，博士（工学）として十分な資格があるものと判定した。