HOKKAIDO UNIVERSITY

| | |
|---|---|
| Title | Plausible 3D Human Hand Modeling for Virtual Ergonomic Assessments of Handheld Product : Construction, Contact simulation and Variational Modeling [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review] |
| Author(s) | 謝, 雨来 |
| Degree Grantor | 北海道大学 |
| Degree Name | 博士(工学) |
| Dissertation Number | 甲第11314号 |
| Issue Date | 2014-03-25 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/55771 |
| Rights(URL) | https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/ |
| Type | doctoral thesis |
| File Information | Xie_Yulai_review.pdf, 審査の要旨 |




Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　謝　雨来

審査担当者　主　査　教　授　金井 理
副　査　教　授　小野里 雅彦
副　査　准教授　田中 孝之
副　査　准教授　伊達 宏昭

学位論文題名

Plausible 3D Human Hand Modeling for Virtual Ergonomic Assessments of Handheld Product: Construction, Contact simulation and Variational Modeling
（携帯型製品の仮想エルゴノミック評価のための手の 3 次元モデリングに関する研究:　その構築, 接触シミュレーション, 寸法バリエーションのモデル化）

デジタルカメラなどの手で把持・操作する機器では,「持ちやすさ」や「操作しやすさ」といったエルゴノミック特性が市場競争力に影響を与える. しかし現在, 企業においてその特性評価は, 物理モックアップと実被験者を用いたテスト手法に頼っており, 製作コストの高さ, 多数の被験者確保や客観評価の困難さなどの問題を抱えている. 現在その解決のため, 人間の手指形状と運動を模擬した 3 次元モデルである「デジタルハンド」により製品 CAD モデルを仮想的に把持させ,「持ちやすさ」等の評価をシミュレーションベースで行おうとする「仮想エルゴノミック評価」の研究が行われている. しかしこれらには,(1) 手の表皮形状や関節構造のモデル化精度が十分に検証されていない,(2) 製品把持時の表皮接触変形のモデル化がなされていない, ならびに (3) ユーザ集団の統計的な手の寸法バリエーションを考慮したモデル化と統計的なエルゴノミック評価が行われていない, といった実用化上の課題が残されている.

本論文は, 仮想エルゴノミック評価をより高精度・高能率に行えるデジタルハンドの新たな機能を実現し, 上記課題の解決を図ることを目的としており,6 章から構成されている.

第 1 章 Introduction では, 本研究の背景, および目的を述べている.

第 2 章 MRI-based 3D Precise Human Hand Modeling では, 医療用 MRI による様々な姿勢の手のボリュームデータより, 表皮や骨の境界面抽出,ICP による手指の関節軸導出,RBF 補間を用いた指屈伸に伴う表皮変形再現に有効な幾何処理アルゴリズムを提案し, 関節運動平均誤差 1mm, 表皮変形平均誤差 0.8mm の高精度なデジタルハンドを生成できたことを明らかにしている.

第 3 章 Efficient Simulation of Skin Contact Deformation では, 製品把持時の手指表皮の接触変形と接触圧力を, 妥当な精度でかつ高速に推定できる表皮変形シミュレーション手法を提案している. この手法では,　変形を局所限定した Quasi-rigid モデル, 表皮の非線形な力-変位特性の再現が可能な拡張 Boussinesqu 近似, さらに組織の体積保存性制約を導入したモデルを構築し, これを線形相補性問題 (LCP) 問題として解くことで, 手指や掌部の変形量, 接触圧力, 接触面積を, 精度を著しく落とすことなく高速に推定できることを示している. また実験値との比較より, 提案手法が接触力, 変形量, 接触面積を高精度に近似可能であること, 計算時間も手指領域の接触で 1sec 以下, 掌領域で

30sec 以下と, 仮想エルゴノミック評価に用いるには十分な高速性を持つことを明らかにしている.

第 4 章 Variational Hand Modeling based on Image-based 3D Model では, 第 2,3 章で生成された高精度かつ変形可能なデジタルハンドをテンプレートモデルとし, ここから特定被験者の手の寸法と関節回転軸が反映されたデジタルハンドを高精度に生成する手法を提案している. まず被験者の手を多方向撮影し 3 次元表皮計測メッシュモデルを自動生成する. このメッシュモデル上から, 数十か所に及ぶ手の解剖学的な特徴寸法値を画像処理で自動抽出し, その寸法に基づきテンプレートモデルを異方的にスケーリングすることで, 特定被験者の手を精度良く再現した表皮モデルを生成する. また異なる 2 姿勢の表皮計測メッシュモデル上のマーカ位置から, 手指の関節回転軸の位置姿勢を導出し, 表皮モデル内に配置する. これにより MRI 計測に頼らずとも, 特定被験者の手寸法と関節回転軸が反映されたデジタルハンドを生成可能なことを示している. また,MRI 計測データとの比較から, 生成モデルの回転軸の軸間距離誤差は約 2mm 以内であり,Power-Grasp 時の手のモデルとしては十分な精度を持つことを示している.

第 5 章 Statistical Virtual Ergonomic Assessment of Hands based on Anthropometric Statistical Data では, 産業技術総合研究所が公開している日本人成人の手寸法の統計分布を用い, その分布をサンプリングした寸法をもつ手のモデルを多数生成し, 第 3 章で提案した表皮変形シミュレーションへ入力することで, 同一製品を多数の日本人成人集団が把持した場合の接触面積や接触圧力の統計分布を導出でき, この方法が日本人の手の寸法バリエーションを考慮した仮想エルゴノミック評価や, 製品形状の再設計に有効となりえることを, 例題により示している.

第 6 章 Conclusions では, 本論文で得られた研究成果をまとめ, 今後の課題を述べている.

これを要するに, 著者は, 人間による工業製品の把持を対象に, シミュレーションを用いた把持容易性等の解析評価を高精度・高能率に行うためには必須となる, 表皮変形が可能でかつ統計的寸法バリエーションをもつ人間の手の 3 次元モデル化技術に関する新たな知見を与えており, 設計工学, 人間工学, 生体工学, ディジタル幾何処理情報学の発展に寄与するところ大なるものがある. よって著者は, 北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める.