

人間にとって使いやすい製品の開発コスト削減のため、人間の手を精密に模擬した3次元モデルであるデジタルハンドを持ちやすさのエルゴノミック評価に応用する研究が進められている。本研究では、持ちやすさ評価に必須となる、製品に対するデジタルハンドの妥当な把持姿勢を自動的に生成するため、上肢関節限界制約と表示部可視性制約を併用した把持姿勢の自動生成手法、並びに生成把持姿勢における干渉除去手法を提案する。

1. はじめに

近年、シミュレーションによるエルゴノミック評価に基づく効果的な製品開発が様々な分野に応用されており、その評価効率化の為にデジタルハンドを応用する研究が進められている[1]。デジタルハンドによるエルゴノミック評価には、適切な把持姿勢の生成が必須となる。把持姿勢生成手法としては、把持姿勢データベースを用いた Grasp Synthesis (把持姿勢生成)[2]があるが、製品形状のみを考慮しているため、製品の操作に不適切な把持姿勢が生成されてしまう。また、他の手法に製品-ハンド対応点入力による精密 Grasp Synthesis[1]も提案されているが、対応点の指定に熟練を要し、姿勢生成を効率的に行えない。

そこで本研究では、それらの問題点を克服するため、把持姿勢データベースと製品把持制約を用いた把持姿勢自動生成手法、並びにハンドと製品モデルの干渉除去手法を提案する。このデータベースを用いる事で、困難なユーザ入力なしに把持姿勢候補を生成でき、さらに製品把持制約として、上肢関節の可動域限界と製品表示部の可視性という2つの制約により把持姿勢候補の効率的な絞り込みを行う事で、製品の把持に妥当な姿勢のみを自動的に導出することが可能である。さらに、ハンドと製品モデルの干渉を取り除く事で導出された把持姿勢より適切な姿勢へと改善する事が可能である。

2. 製品把持制約を考慮した Grasp Synthesis 手法

図1に提案する製品把持制約を考慮した Grasp Synthesis の処理手順を示す。以下にその詳細述べる。

2.1 デジタルハンド[1]

本手法で用いるデジタルハンドは、図2(a)の様にリンク構造モデル、および表皮メッシュモデルからなる。リンク構造モデルは、手骨の回転運動を近似したモデルで、17のリンクを持ち、各リンクはその両端に、1, 3または6自由度の関節を持つ。表皮メッシュモデルは、CT画像から得られたハンド表皮の3次元ポリゴンメッシュである。表皮メッシュ変形アルゴリズムによって、リンク構造モデルの姿勢変化に基づき、指の曲げに応じた変形後の表皮メッシュが生成される。

2.2 把持姿勢データベース生成

1) デジタルハンドによる実製品把持姿勢の再現

多関節型接触式3次元位置姿勢測定器 (MicroScribe) を用いて、いくつかの実製品を把持した姿勢で手表皮上特徴点21点を測定し、測定された特徴点位置にデジタルハンドの特徴点位置(図2(b))を合わせる事で、その実製品把持姿勢をデジタルハンドで再現する。

次に再現された把持姿勢において、接触点を指定する。ハンドの手のひらと人差し指側面にはあらかじめ合計40点

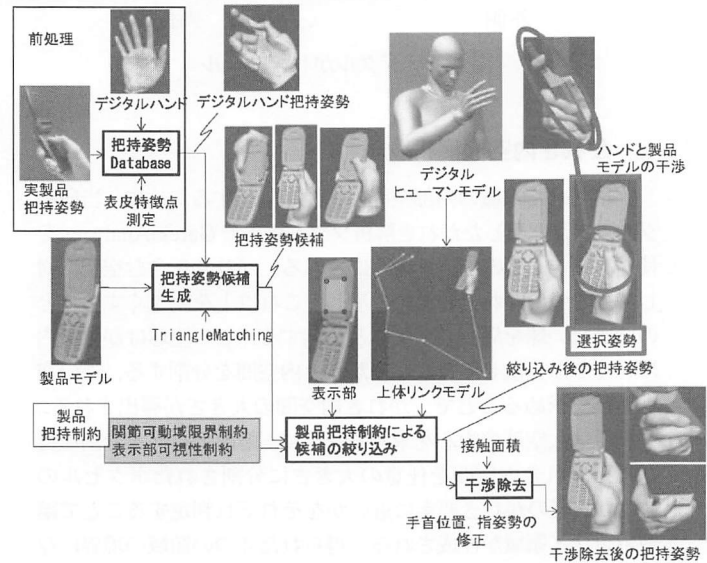


図1 本手法の概要

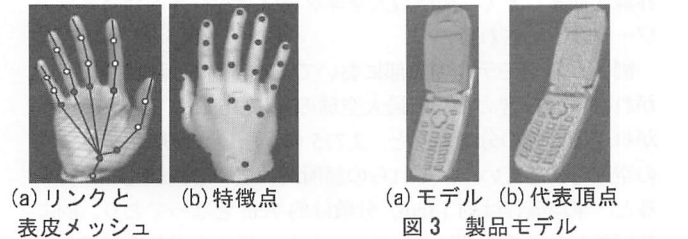


図3 製品モデル

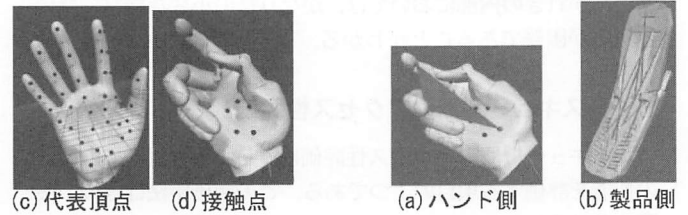


図2 デジタルハンド

図4 Alignment Triangle

の代表頂点が設定されている(図2(c)). 代表頂点のうち、実製品把持において接触していると考えられる点を接触点(図2(d))としてユーザが選択する。

2) デジタルハンド Alignment Triangle の生成

前述の接触点の全3点組み合わせに対し各々三角形を生成し、最大面積を持つ三角形1つをその把持姿勢のデジタルハンド Alignment Triangle(図4(a))とする。以上により、把持姿勢データベース内に、ある実製品を把持したハンドの把持姿勢と、その Alignment Triangle が登録される。

2.3 把持姿勢候補生成

データベースに無い新たな製品モデルが入力されると、本手法は以下の処理によりそのモデルを把持する姿勢候補を導出する。

1) 製品モデル Alignment Triangle の生成

製品モデル(図 3(a))表面上にほぼ均一に点群を発生させ、製品モデル代表頂点(図 3(b))とする。製品モデル代表頂点から複数回ランダムに選ばれた3点で三角形集合を生成し製品モデルの Alignment Triangle 集合(図 4(b))とする。

2) Triangle Matching

把持姿勢データベース内のデジタルハンド Alignment Triangle と製品モデルの Alignment Triangle 集合とのマッチングを行う事で、データベースの把持姿勢を製品モデルに整列させ、把持姿勢候補を生成する。Alignment Triangle のマッチングは対応点間距離を最小化する方法で行う。

2.4 製品向け把持制約による把持姿勢候補の絞り込み

生成された把持姿勢候補に対し、以下の製品把持制約をさらに課すことにより、製品モデルに対する妥当な把持姿勢候補に絞り込む。

1) 上体リンクモデル

上体リンクモデルは、商用ソフトウェア Poser のデジタルヒューマンモデル(図 5 左下)をもとに生成した。肩の根元から末端にかけて肩元-肩-肘-手首の4回転関節を持つ上肢リンクモデル(図 5 青部)と、首-頭-目の3回転関節を持つ頭部リンクモデル(図 5 赤部)の2つのリンクモデルを、肩元関節と首関節を固定リンク(図 5 緑部)で連結させる事で上体リンクモデルとする。デジタルハンドは末端に3自由度の回転関節を介して接続される。

2) 把持姿勢候補の上体リンクモデルへの配置

視線と水平面が成す角 ϕ 、製品モデル表示部と目の間の距離 L_{eye} 、及び表示部4隅位置をユーザが指定する。システムは視線が指定された角度を向く様に頭関節を回転させ、その後、表示部を両目中心位置から定義される視線上の距離 L_{eye} において、目に正対する位置姿勢で製品モデルを自動配置する。

3) 関節可動域限界制約による把持姿勢の絞り込み

上体リンクモデルに Triangle Matching から得られるデジタルハンドの把持姿勢候補を接続し、関節可動域限界制約による把持姿勢候補の絞り込みを行う。上肢リンクモデルの各関節回転角には人間の上肢の構造から規定される可動域が定められているため、把持姿勢候補の手首位置姿勢を上肢リンクモデルの関節回転角の可動域内で実現できない時、人間には不可能な把持姿勢であるとして候補から破棄する。

この判定のため、CCD法による逆運動学解法を用いて上肢リンクモデルの手首と把持姿勢候補の手首位置姿勢が一致するような上肢4関節の12関節回転角を算出し、回転角が1つでも可動域内にない把持姿勢を候補から破棄する。

4) 表示部可視性制約による把持姿勢の絞り込み

さらに表示部可視性制約による把持姿勢候補の絞り込みを行う。頭部リンクモデルの左右の目の位置を頂点とし、表示部4隅を底面とする錐体を2つ生成し、これら2錐体内の空間の和集合を可視空間(図 5 黄部)として定義する。可視ピラミッド内部にデジタルハンドの一部が存在する場合、目と表示部との間がデジタルハンドによって遮られ表示部が見えなくなる。従って、デジタルハンド表皮メッシュ頂点と可視空間との内外判定を行い、この表示部可視性が失われる把持姿勢を候補から破棄する。

2.5 デジタルハンドと製品モデルの干渉除去手法

導出された把持姿勢から1つを選択し、以下の干渉除去手法を用い、デジタルハンドと製品モデルの干渉を取り除く。

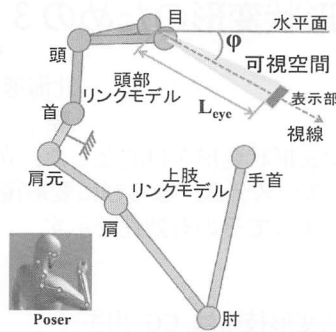
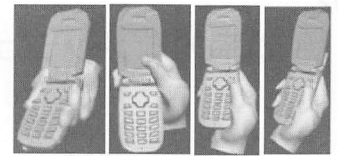
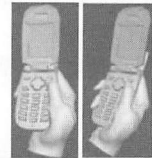


図 5 上体リンクモデルと可視空間

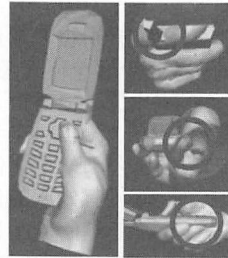


(a) 把持姿勢候補(一部)



(b) 把持制約を満たす姿勢(一部)

図 6 絞り込み結果



(a) 干渉除去前把持姿勢と干渉位置 (b) 干渉除去後把持姿勢
図 7 手首位置と指姿勢の修正による干渉除去

1) 手首位置の修正

まず、干渉判定により製品モデルと干渉しているハンド手のひら部分のメッシュ頂点を選択する。それらの頂点の平均法線方向に1[mm]手首位置を平行移動する。この干渉判定と平行移動を、手のひら部分と製品モデルの干渉が無くなるまで繰り返す。

2) 指姿勢の修正

手首位置の修正後、指姿勢を修正する。各指の各関節において、可動域限界幅の10分の1を単位回転角とした上で、初期姿勢の回転角から±2単位まで回転角を単位量ずつ変化させる。全指姿勢において干渉判定を行い、ハンドと製品モデルの接触面積が最大となる指姿勢を採用する。

3. 結果と今後の課題

実際の携帯電話の製品把持姿勢1種類を2.2に従いデータベースに登録した。これに対し、登録された携帯電話とは異なる形状の図 3(a)の製品モデルを入力し2.3の手法により把持姿勢生成したところ262の把持姿勢候補が選ばれた(図 6(a))。明らかに携帯電話の把持として不適な姿勢が含まれていることが判る。これに対し $L_{eye}=30\text{cm}$ 、 $\phi=30^\circ$ の条件で2.4の2制約を用いたところ、関節可動域限界制約で23に、可視性制約で13に把持姿勢候補が絞り込まれた(図 6(b))。それらの姿勢の1つ(図 7(a))に対し、干渉除去手法を用いる事で、ハンドと製品モデルの干渉が無く、かつ接触点数が最大となる妥当と思われる把持姿勢が生成された(図 7(b))。製品把持制約によって、妥当な把持姿勢のみに絞り込みが行われ、干渉除去手法によってハンドと製品モデルの干渉が除去されている事が判る。

今後の課題としては、導出された姿勢を他の評価指標を導入することで、より適切な姿勢へ修正する事が考えられる。

参考文献

- [1] 遠藤, 他: デジタルハンドとプロダクトモデルとの統合によるエルゴノミック評価システムの開発(第1報), 精密工学会誌, 74(2), 2008.
- [2] Y. Li, J.L. Fu, N.S. Pollard, "Data Driven Grasp Synthesis using Shape Matching and Task-Based Pruning," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 13(4), pp732-747, 2007.