

形状のリターゲティング：大人指形状データベースを用いた子供指モデルの合成

Geometry retargeting: child finger models from geometric database of adult fingers

木村 加奈子 (中大) 正 多田 充徳 (産総研) 正 梅田 和昇 (中大) 正 持丸 正明 (産総研)

Kanako KIMURA, Chuo University, kimura@sensor.mech.chuo-u.ac.jp

Mitsunori TADA, Digital Human Research Center, AIST, m.tada@aist.go.jp

Kazunori UMEMEDA, Chuo University, umeda@mech.chuo-u.ac.jp

Masaaki MOCHIMARU, AIST

In this paper, we propose a method to synthesize subject-specific child finger model from geometric database of adult fingers and representative dimensions of the subjects measured by a caliper. Weighted sum of the principal features is computed in order to obtain finger geometry of specific subject. The weights are determined by numerical optimization so that SSD of the representative dimensions is minimized. The result of geometry synthesis shows good agreement in child fingers.

Key Words: Finger database, geometry synthesis, numerical optimization, subject-specific model

1 緒言

近年ベビーカーやコイン取り出し口、玩具などによる子供の指切断事故が多発している。このような事故を防ぐために製品設計時の数値的な安全性評価が必要とされている。しかし現在そのための子供指モデルがない。MRI や CT 画像を用いたモデル作成 [1] には倫理的問題があるため直接的なモデル化が難しいからである。また、図 1 に示すように既存の大人指モデルの単純なスケールングでは子供指の形状特徴を再現できない。本研究では大人指の形状特徴のデータベースとノギスで計測可能な代表寸法をもとに大人指の特徴のブレンドを行い、簡便に特定個人の子供指モデルを合成する手法を提案する。

2 研究概要

大人指の形状特徴データベースから特定個人の子供指モデルを合成するため、まずノギスを用いて生成対象となる被験者の指の代表寸法を計測し、各寸法を平均的な大人指の寸法に近づけるべく長さ、幅、厚み方向に適切な拡大率でスケールングする。次に拡大された代表寸法とモデルの代表寸法との誤差が最小になるように各特徴に対する重みを最適化を用い算出する。そして得られた重みを用いて特徴をブレンドしモデルの合成を行う。最後に合成したモデルを寸法の拡大率の逆数でスケールングし、子供指モデルを完成させる。

2.1 大人指形状データベース

本研究で用いるデータベースとは大人指の形状特徴の集まりである。これらは、異なる被験者の MRI 画像に対して非剛体レジストレーションを適用することで計算した変位場 (個人差) を、主成分分析を用いて分析した結果得られたものである。このため、各特徴が変位場で表されており、図 2 に示すようにこれらの荷重和に従い基準モデルを変形することで、様々な形状特徴を持つ指モデルを迅速に合成できる [2]。

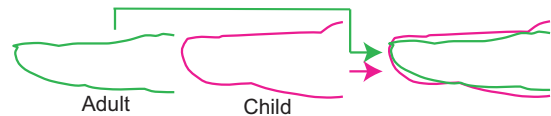


Fig. 1 geometric difference between adult and child

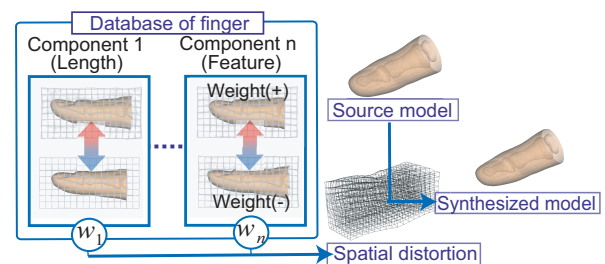


Fig. 2 Transformation using spatial distortion

2.2 重み係数の最適化

各被験者の指の特徴に対応した各主成分の重み係数は被験者の代表寸法データをもとに算出する。先に述べた代表寸法とモデルのスケールングは大人指形状データベースと子供指との大きな形状差に対応するためである。最適化には downhill simplex 法を用いた。目的関数は式 (1) に示す代表寸法の誤差に関する第 1 項と重みの範囲を制限するペナルティである第 2 項から成る。

$$e = \sum_{i=1}^k (L_i - l_i)^2 + \sum_{i=1}^l w_i \left(\frac{\alpha_i}{2\sigma_i} \right)^2 \quad (1)$$

ただし、式中の L_i がノギスで計測した代表寸法、 l_i が生成したモデルの代表寸法、 α_i が重み、 σ_i がデータベースから計算した重みの標準偏差、そして w_i がペナルティに対する重みを表す。

人体の形状は正規分布に従う [3] とされているため重み係数が過大もしくは過小な値をとる事は少ない。そのため第 2 項は重み係数を二乗したペナルティを設定した。ただし主成分毎にばらつきが異なるため各重み係数を標準偏差 $2\sigma_i$ で正規化している。

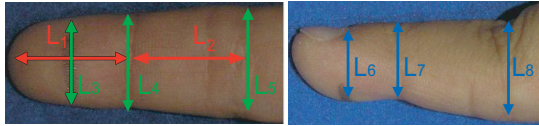


Fig. 3 Measurement region of finger dimension

3 代表寸法による個人別指モデルの生成

2歳から14歳の各年齢2本づつについて図3に示す8寸法(長さ2寸法,幅3寸法,厚み3寸法)で表された代表寸法をもとに最適化を行い,式(1)を最小にする各個人の上位10主成分の重み係数を計算した.ただし全ての主成分の w を0.5,最適化の終了は目的関数値の減少の相対値が 10^{-5} 以下になった時に設定した.これらの設定は経験的に良い結果を得られたものである.

この26人の被験者については別途石膏型から形状モデルを作成している.このため,提案手法で合成し,再現されたモデルと比較することでその精度を検証できる.ただし石膏型には曲がりが多く見られたため比較対象部位は第一関節から先端の表皮とした.また,生成される各モデルの位置は不揃いである.このため石膏型から作成されたモデルと提案手法で再現されたモデルをレジストレーションにより位置合わせをした上で正確な精度評価を行っている.

4 結果

4.1 最適化結果

重み係数の最適化の有効性を検証するため,26名の被験者から計測し拡大した代表寸法と最適化完了時のモデルの代表寸法との誤差の平均値と標準偏差を算出した.2.1で述べた変形前,すなわち最適化前の誤差と最適化後の誤差を図4に示す.寸法間の二乗誤差は平均0.30[mm],最大でも1.06[mm]であることから最適化が有効である事がわかる.

4.2 再現精度検証

8寸法を計測し上位10主成分を用いて合成した2歳から14歳の子供指,計26本について3次元的な再現精度検証を行った結果,誤差は平均0.40[mm],最大でも1.33[mm],標準偏差は0.14[mm]から0.36[mm]をとっており概ね再現可能である事がわかった.

5 考察

全体的に誤差は爪の形状に表れた.これは子供の爪の形状が大人の爪の形状と大きく離れているためと考える.今後代表寸法箇所には爪の長さを導入することで再現精度の向上を図る.

図5に示すように,年齢の高い指は誤差が大きく表れたため,13歳と14歳各2本の指に対して代表寸法のスケールリングを行わず,計測した寸法でそのまま重み係数の最適化を行いモデルの合成を試みた.その結果4本中3本において精度が向上した.20歳以上の大人指についてはスケールリングを行わない再現方法で十分な精度を得ている[4].これらの結果から,年齢が高く指の形状が大人指に近い場合はスケールリングを適用せず重み係数を最適化し,モデルを完成させる方法が有効である可能性がある.今後は14歳以上の指について再現実験を行い,スケールリングの適用について考察を行う.

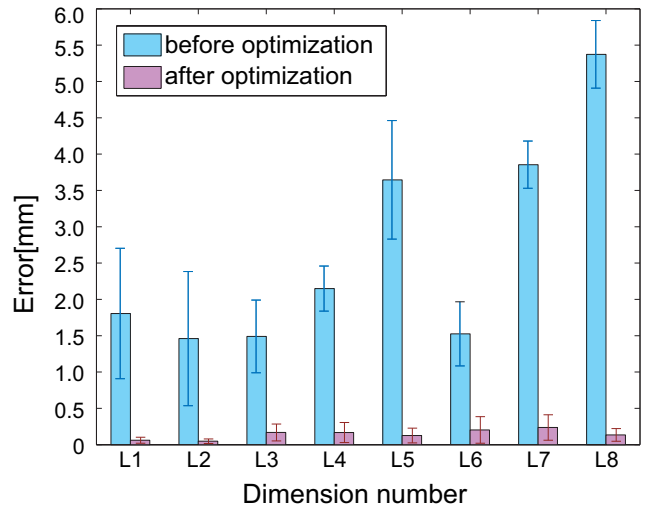


Fig. 4 Error average and standard deviation

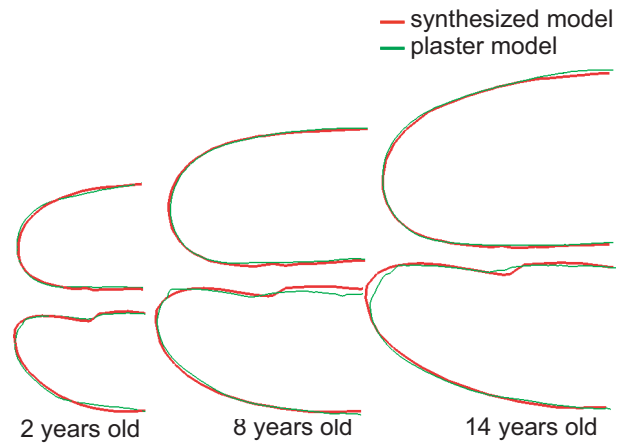


Fig. 5 Result of optimization

6 おわりに

大人指の形状特徴データベースを用いる事でノギスで得られる代表寸法から特定個人の子供指モデルを合成する手法を提案した.大人指と大きく形状特徴の異なる子供指だが,拡大した被験者の代表寸法と特徴の重み付けで表されたモデルとの代表寸法の誤差が小さくなるような重み係数を最適化することで各特徴に対応する重み係数を取得した.そして重み付けした特徴のブレンドにより合成したモデルを寸法の拡大率の逆数でスケールリングする事で子供指の再現を可能にした.今後の展望としては再現された指を実際に工業製品での指挟みの解析に利用する.

参考文献

- [1] 伊能 教夫, 鈴木 知, 横 宏太郎, 宇治橋 貞幸, X線CTデータに基づく骨体の自動モデリング手法(テラウニー分割を利用した有限要素モデルの生成), 日本機械学会論文集C編, 68巻699号, pp.1481-1486, 2002
- [2] 野原健, 多田充徳, 梅田和昇, 持丸正明: "主成分分析を用いたあり得る指先構造の合成" ロボットメカトロニクス講演会 2007 講演論文集, 1A2-H06.
- [3] Kouchi, M. and M. Mochimaru 2004: Analysis of 3D face forms for proper sizing and CAD of spectacle frames. Ergonomics 47:1499-1516
- [4] 野原健, 多田充徳, 梅田和昇, 持丸正明: "代表寸法を用いた個人別手指モデルの高速生成" 日本ロボット学会学術講演会予稿集 2008 講演会予稿集, 113-09.