

Eigen Finger: MRI 画像を用いた形状データベースの生成

Eigen Finger: Geometric Database from MRI Images

○正 多田 充徳 (産総研) 学 野原 健 (中大) 正 梅田 和昇 (中大) 正 持丸 正明 (産総研)

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

Ken NOHARA, Chuo University, nohara@sensor.mech.chuo-u.ac.jp

Kazunori UMEDA, Chuo University

Masaaki MOCHIMARU, Digital Human Research Center, AIST

In order to synthesize geometric models with individual variations, we created geometric database of human finger from MRI images. Volume registration technique was employed to quantify the individual differences from 3-dimensional MRI images of 50 male subjects. The result of principal component analysis for the measured individual differences (displacement fields) has clarified the principal features of finger geometry such as dimension, thickness and thickness of a finger pad. We can synthesize possible variations of finger geometry and subject specific finger geometry by transforming a template model according to a displacement field computed by weighted sum of these principal features.

Key Words: Geometric model, individual difference, principal component analysis, non-rigid volume registration

1 はじめに

生体力学シミュレーションや、コンピュータグラフィックスのための人体形状モデルを作成するには、多大な人的・時間的コストを要する。その主たる理由が、作成の過程で MRI や CT のような医用画像に対して領域分割を半ば手作業で行わなければならない点にある。これに対して我々は、異なる被験者の医用画像から形状の個体差を変位場として計測し、それを用いて被験者別の形状モデルを効率的に生成する手法 [1] や、それらを統計的に分析して個体差の特徴を明らかにする手法 [2] を提案した。

後者で得られた個体差の特徴とは、いわば形状のデータベースである。そして、これを利用すれば、(1) 統計的に存在し得る形状モデルを迅速に生成すること、(2) 被験者別の形状モデルをノギスなどで簡便に計測可能な代表寸法から生成することができる。本稿では、手指の MRI 画像を例に、多様なモデルの生成手法を提案する。

2 方法

データベース構築法の概要を以下に記す。(a) 分析の対象となる全ての被験者の手指 MRI 画像を同一のシーケンスで撮像、(b) そのうちの一人をテンプレート被験者、それ以外をターゲット被験者に設定、(c) テンプレート画像とターゲット画像に対して3次元非剛体レジストレーション [1] を適用することで、テンプレート被験者の形状をターゲット被験者のそれへと変形するための変位場(個体差)を計算、(d) 計算した全ての変位場を主成分分析を用いて統計的に分析することで、個体差の特徴を表す主成分(固有ベクトル)を計算。ただし、(d) で計算した個体差の特徴がデータベースの実体となる。また、データベースを用いて多様なモデルを生成するには、(b) で設定したテンプレート被験者のモデルをその MRI 画像から手作業で作成する必要がある。これをテン

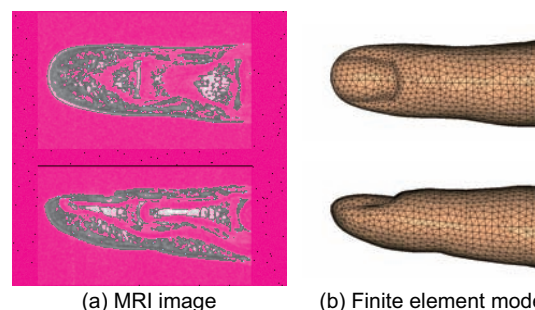


Fig. 1 MRI image and finite element model of the template subject.

プレートモデルと呼ぶ。

このデータベースを用いて統計的に存在し得るモデルを生成するには、異なる主成分の加重和からなる変位場を計算し、それに従いテンプレートモデルを変形すればよい。また、被験者別のモデルを生成するには、ノギス等で手指の代表寸法を計測し、それを最も良く再現できるような重みを決定した上で、前述の方法でテンプレートモデルを変形すればよい。いずれの方法でも、(i) 表面形状だけでなく、骨のような人体内部の構造まで再現できる、(ii) テンプレートモデルさえ手作業で作成すれば、あとは自動的にモデルを生成できる、(iii) 変位場を用いて個体差を表すため、テンプレートモデルの種類(例えば単純なポリゴンモデルでも、有限要素モデルでも良い)を問わない、という特筆すべき利点がある。

3 実験・結果

3.1 データベースの構築

磁場強度 4.7 T の実験用 MRI(Unity INOVA, Varian, Inc.) を使用して、21 歳から 39 歳の 50 名の日本人成人男性の手指 MRI

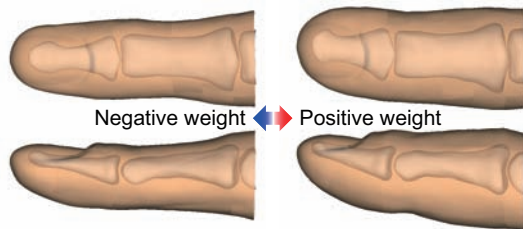


Fig. 2 4th principal component (thickness of a finger).

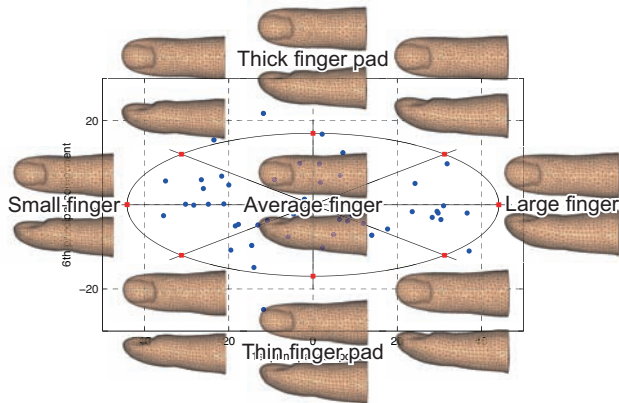


Fig. 3 Boundary family.

画像を撮像した。なお、本実験は産業技術総合研究所人間工学実験委員会の審査を受け、承認を得た後に行った。50名の被験者の中からテンプレート被験者を選出し、そのMRI画像からテンプレートモデルを手作業で作成した。本稿では、テンプレートモデルとしてポリゴンモデルと有限要素モデルを作成した。前者については本節と3.3で、後者については3.2で使用する。Fig. 1-(a)にテンプレート被験者のMRI画像を、同図(b)に有限要素モデルを示す。なお、テンプレートモデルの作成には1500分程度を要した。

また、3次元非剛体レジストレーション[1]を全てのターゲット画像に対して適用することで、テンプレート被験者との間の形状の個体差を変位場として定量化した。そして、計算した49人分の変位場に、テンプレート被験者を自身へと変形するための変位場(つまり無変形)を加えたものを主成分分析を用いて分析した。

それぞれの主成分が表す特徴を可視化するには、主成分の重み付き線形和を用いてテンプレートモデルを変形すればよい。例としてFig. 2に正負の重みを用いて第4主成分を可視化した結果を示す。ただし、この例ではテンプレートとしてポリゴンモデルを用いた。第4主成分が指の太さに対応することが分かる。

3.2 統計的に存在し得る形状モデルの生成

主成分の重み付き線形和を用いてテンプレートモデルを変形すれば、統計的に存在し得るモデルを効率的に生成できる。Fig. 3に第1主成分を横軸、第6主成分を縦軸とした時の形状の分布を示す。ここでは、テンプレートとして有限要素モデルを用いた。青丸がMRI画像を撮像した50名の被験者の分布を、中央の赤角が平均形状を、そして周辺の赤角が95%確率楕円上のバウンダリーファミリー[3]を表す。

統計的には第2から第5主成分の方が顕著な特徴であるが、指腹部の形状が工業製品との接触に与える影響を検討する必要がある。

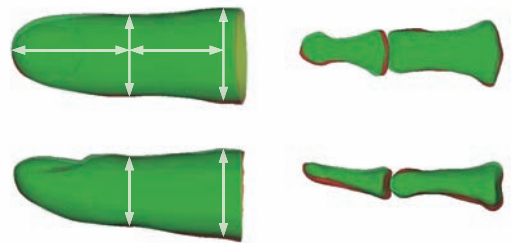


Fig. 4 Subject-specific geometric model generated from the database.

あったため第2軸にはあえて第6主成分を選択した。この図より、第1主成分の特徴である指の大きさ、そして第6主成分の特徴である指腹の厚みが混ざり合った様々な形状特徴を有する有限要素モデルが生成できていることが分かる。いずれのモデルも各主成分に対する重みさえ決定すれば瞬時に、そして自動的に生成できる。

3.3 被験者別形状モデルの生成

Fig. 4に示す6ヶ所の寸法をノギスで計測した。これを L_i とする。ただし $i = 1 \dots 6$ とする。一方、第1から第6主成分を用いて3.2の方法で生成したモデルの同一部位の寸法を $l_i(\mathbf{a})$ である。ただし $\mathbf{a} = (a_1, \dots, a_6)$ がそれぞれの主成分に対する重みを表す。被験者別の形状モデルを生成するには、 $E(\mathbf{a}) = \sum_{i=1}^6 (L_i - l_i(\mathbf{a}))^2$ を最小にするような $\mathbf{a}$ を最適化手法を用いて決定すれば良い。

本稿では、滑降シンプレックス法を用いて $\mathbf{a}$ を決定した。Fig. 4に生成したモデルを示す。ただし、緑が提案手法で生成したモデルであり、赤が比較のために[1]の手法で生成したモデルである。いずれの部位についても、0.5から0.8mm程度の誤差でモデルを生成できた。データベースを用いることで、ノギスを用いた代表寸法の計測結果から、骨まで含んだ3次元的な形状モデルを自動的に生成できる。

4 おわりに

個体差を統計的に分析することで形状データベースを構築した。またそれを用いて、統計的に存在し得るモデルを迅速に生成する手法と、被験者別のモデルをノギスなどで簡便に計測可能な代表寸法から生成する手法を提案した。本稿では手指を対象としたが、提案手法には部位に関する事前知識が必要ない。このため、様々な人体部位へと適用できる。

参考文献

- [1] 多田充徳, 持丸正明. MRI画像に対する3次元非剛体レジストレーションを用いた個体別手指形状モデルの生成. 計測自動制御学会論文集, 投稿中.
- [2] 多田充徳, 野原健, 梅田和昇, 持丸正明. 個体差の統計分析に基づく多様な形状特徴を持つ手指有限要素モデルの生成. 日本機械学会論文集C編, 投稿中.
- [3] A. C. Bittner, F. A. Glenn, R. M. Harris, H. P. Iavecchia, and R. J. Wherry. CADRE: a family of manikins for workstation design. In S. S. Asfour, editor, *Trends in Ergonomics/Human Factors IV*, pp. 733-740. Elsevier Science Publishers, 1987.