Evaluation of the Manipulability of an Index Finger Fingertip using Genetic Algorithm

学 ○福本 俊則 (同志社大) 正 積際 徹 (同志社大)

正 横川 隆一 (同志社大) 正 柴田 浩 (同志社大)

Toshinori FUKUMOTO, Doshisha University, 1-3, Tataramiyakodani, Kyotanabe, Kyoto

Toru TSUMUGIWA, Doshisha University

Ryuichi YOKOGAWA, Doshisha University

Hiroshi SHIBATA, Doshisha University

1 緒 言

本研究では遺伝的アルゴリズムを用いて示指における末節骨、中節骨、基節骨の各リンク長と関節角度の連動特性の最適化を行う。そして最適化された結果と MRI 計測により得られたヒトの示指のリンク長と特性の比較を行う。そして指先操作性を評価し、ヒトの持つ指の機能を調べる。

2 示指モデル

取り扱う示指モデルを Fig.1 に示す。\$L\$ はリンク長、\$\theta\$ は角度を表し、添字の 1 は基節骨、2 は中節骨、3 は末節骨に相当する。

Fig.1. Joints and bone name and axis system on index finger
そしてこの示指モデルにおけるヤコビ行列を

$$J_r = \begin{bmatrix} -L_1 S_1 - L_2 S_{12} - L_3 S_{123} & -L_2 S_{12} - L_3 S_{123} & -L_3 S_{123} \\ -L_1 C_1 - L_2 C_{12} - L_3 C_{123} & -L_2 C_{12} - L_3 C_{123} & -L_3 C_{123} \end{bmatrix} \quad (1)$$

とする。但し、\$S\$ は正弦を表し、\$C\$ は余弦を表す。

3 最適化手法

3.1 遺伝的アルゴリズム

末節骨、中節骨、基節骨の各リンク長、そして IP 協調関係は実数値で表される。最適化手法として遺伝的アルゴリズムを最適化手法として用いる。

3.2 可操作性楕円を用いた評価関数

可操作性楕円の長軸と短軸は(1)式のヤコビ行列を特異値分解して求められる。長軸と短軸をそれぞれ \$\sigma_1\$、\$\sigma_2\$ とすると、評価関数は

$$f_1 = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \quad (2)$$

と表される。

3.3 可操作度を用いた評価関数

可操作度を用いた評価関数は次式で表される。

$$f_2 = \sqrt{\det(J_r J_r^T)} \quad (3)$$

但し、計算にあたっては各リンク長の和が 1 になるようにする。

3.4 IP 協調関係を条件に入れた評価関数

IP 関節の協調関係 \$k\$ は横軸に PIP 角度、縦軸に DIP 角度を取ったときの傾き

$$k = \frac{d\theta_3}{d\theta_2} \quad (4)$$

に相当する。この \$k\$ を用いて、評価関数は

$$H = [J_r]^+ - J_{**}^{-1} \quad (5)$$

の特異値 \$\sigma_{H1}\$、\$\sigma_{H2}\$ より与えられる。そして \$\sigma_{H1}\$、\$\sigma_{H2}\$ が 0 に近づくほど高い適応度を与えるものを評価関数とする。ここで \$[J_r]^+\$ は \$J_r\$ の擬似逆行列であり、\$J_{**}^{-1}\$ は IP 協調関係を考慮に入れたヤコビ行列より得られる行列である。\$J_{**}^{-1}\$ は \$\theta_1\$、\$\theta_2\$、そして \$k\$ よりなる \$[3 \times 2]\$ の行列である。最適化を行うパラメータは各リンク長と IP 協調関係 \$k\$ とする。

4 結果および考察

Table 1 に示す角度を用いて、最適化を行った結果を以下に示す。Table 1 に示す角度は MRI 計測時に用いた角度である。各表のリンク長は総和が 1 となるように変換した結果である。

Table 1 Position angle

	MP[deg]	PIP[deg]	DIP[deg]
position1	-5.1	6.9	2.4
position2	7.4	25.8	10.0
position3	14.3	29.1	25.2
position4	19.6	39.1	26.6
position5	30.8	49.6	29.7
position6	57.9	98.7	44.7

Table 2 Link ratio for manipulability ellipsoid and measure

	Link Ratio for manipulability ellipsoid			Link Ratio for manipulability measure		
	\$L_1\$	\$L_2\$	\$L_3\$	\$L_1\$	\$L_2\$	\$L_3\$
position 1 ~ 5	0.6	0.0	0.4	0.5	0.0	0.5
position 6	0.6	0.2	0.3	0.0	0.5	0.5

Table 3 Link ratio and k-values for calculated and human

	Link Ratio			k	MRI k
	\$L_1\$	\$L_2\$	\$L_3\$		
position1	0.60	0.00	0.40	2.90	0.03
position2	0.66	0.00	0.34	2.35	0.29
position3	0.64	0.00	0.36	1.79	0.33
position4	0.63	0.00	0.37	0.37	0.44
position5	0.71	0.00	0.29	2.19	0.54
position6	0.58	0.17	0.25	1.74	0.78

全ての結果において、position1~5 が、2 リンクになるという結果が得られた。また IP 協調関係を考慮に入れた評価関数においては position4 において、最も MRI データにおける IP 協調関係 \$k\$ と近い結果が得られており、ヒトの指は position4 の角度において、IP 協調関係を満たす構造になっていると考えられる。

4 結 言

可操作性楕円の長軸と短軸の比、可操作度を最大にするように最適化を行うと 2 リンクになることがわかった。また、ヒトの指は position4 の角度において、IP 協調関係を満たす構造になっていることがわかった。