

Study on grasping model using velocity potential

Abstract

This paper deals with path planning of human's fingertips when the square pillar object was grasped with thumb and index finger. In cases where the grasped plane of the object was limited, the trajectories of two digits were changed according to the rotational direction of the target object. The wrist part was bent for adjusting the hand direction to the object one. Considering the obtained characteristics, the grasping model was constructed by the flow of velocity potential in the complex plane. In the suggested model, circulation effect could make the curve or straight lines for fingertips trajectories, just like a human's motions.

1. 緒言

ヒトは優れた把持能力を持ち、対象となる物体の大きさや形に応じて適切な手の形を準備するプリシェイピングを無意識に行っている¹⁾。指先の軌道については、円柱物体のように把持面が限定されていない場合、上肢の姿勢に把持部分が依存することが明らかになっている²⁾。一方、角柱物体のように把持する面が限定される場合には、その置かれた方向に応じて手先の向きを変える必要があるが、その特性は明らかにされていない。

そこで本研究では、直方体の把持動作を取り上げ、直方体の方向を変化させたときの手先軌道特性について調べる。また、速度ポテンシャル場を利用し、手首の掌背屈動作を含んだ把持動作モデルを提案する。

2. 把持動作における人間の指先軌道特性

2.1. 実験方法

実験の様子を図1に示す。被験者は、椅子に座った状態で、机上の定められた位置に手先を置き、合図とともに目標位置に配置された対象物体を親指と人差し指で挟み把持する。机上の対象物体は直方体(50×50×100mm)であり、軸まわりに方向を変えることが可能である。被験者には、直方体の側面を把持するよう指示を出した。実験では、直方体の向きξを0[deg.]から90[deg.]まで反時計回りに5[deg.]ずつ19段階に変え、測定を行った。被験者の親指と人差し指の指先、手首にはマーカータリつけ、デジタルビデオカメラで上方から撮影し、動作中の軌道を測定した。なお、被験者は20代の学生6名であり、全員右利きである。

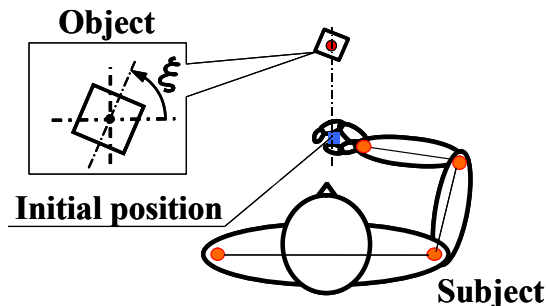


Fig.1 Scene of experiment

2.2. 実験結果および考察

正面方向(Center)に配置された直方体を把持する際の典型的な手先軌道を図2に示す。図中では、19段階のうち、代表的な測定波形を示したものである。ξ=0[deg.]からξ=80[deg.]においては直方体の向きに応じて手先の軌道も変化し、把持する面は図(a)のように初期把持面となる。ξ=80[deg.]からξ=85[deg.]に直方体の向きが変化した際、図(b)のように、把持する面は側面A-A'に切り替わる。これは、初期把持面に比べ側面A-A'の方が把持しやすいと判断したためである。親指に注目すると、ξ=80[deg.]においては回り込むような手先軌道になっているのに対して、ξ=85[deg.]では手首の背屈運動によって手先の方向を変え、正面方向からの接近軌道となっている。いずれの場合も、親指は把持面に沿うように接近しており、この動きをモデル化する。

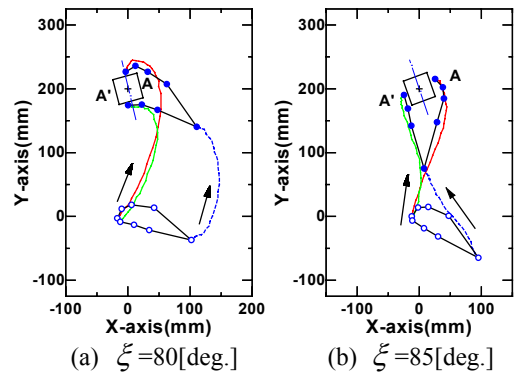


Fig.2 Typical hand trajectories

3. 指先の軌道生成モデル

3.1. 親指の軌道生成

手先の座標を複素平面上に移した場合、速度ポテンシャルF(z)は、次式のように表される。

$$F(z) = \phi(x, y) + j\varphi(x, y) \tag{1}$$

ただしz=x+jyであり、φ(x,y)は速度ポテンシャル、φ(x,y)はφ(x,y)の共役調和関数で流れを表す関数である。速度ベクトルV(x,y)は、

$$V(x, y) = \overline{F'(z)} = \frac{\partial\phi(x, y)}{\partial x} + j \frac{\partial\phi(x, y)}{\partial y} \tag{2}$$

となる. 実部 $\partial\phi(x,y)/\partial x$ は x 方向における速度ベクトルを表し, また虚部 $\partial\phi(x,y)/\partial y$ は y 方向における速度ベクトルを表している. ここでは, 以下に示される円柱まわりの速度ポテンシャル関数を用いる.

$$F(z) = j\alpha \ln(z) + \left(ze^{-j\eta} + \frac{\beta^2}{z} e^{j\eta} \right) \quad (3)$$

ここで, α は循環, β は仮想円の半径を表すパラメータであり, 上式は, xy 軸に対して正方向に角度 η 回転させた流れを表している. 速度ポテンシャル場の流れの例を図3に示す. 循環 α によって, 仮想円まわりの流れを非対称にすることができる. また角度 η により流れの方向が変更でき, 物体の方向に応じた軌道を生成することが可能である. 図4にパラメータ η と仮想円半径近傍における流れの方向の関係を示す. ここでは, 目標となる手先の方向 ζ' と最終姿勢から, 最適なパラメータ η を求めて利用した.

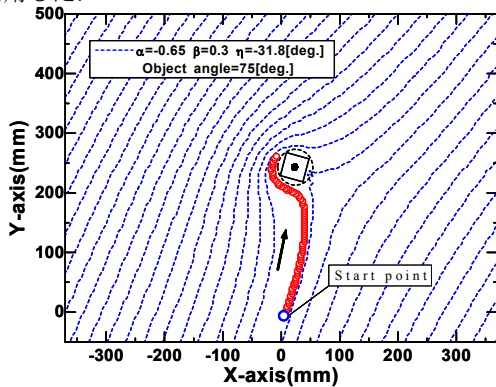


Fig.3 Velocity potential

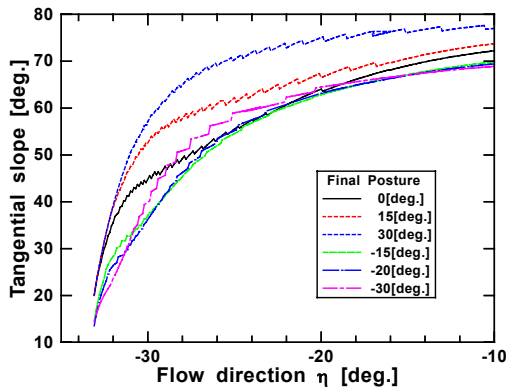


Fig.4 Flow direction and slope

3.2. フレームモデル

手首の掌背屈動作を考慮に入れ, 図5に示される3リンクモデルを考える. 手先の方向を γ とすれば, 物体の方向 ξ に対して角度 ζ' に収束すると仮定し, 以下のように与える.

$$\gamma = \gamma_0 + \{\zeta' - \gamma_0\} \cdot \sum_{i=0}^k \frac{4}{\sqrt{\pi}} \kappa^3 (i\Delta t)^2 \exp\{-\kappa^2 (i\Delta t)^2\} \cdot \Delta t \quad (4)$$

ただし, γ_0 は初期角度, Δt はサンプリング時間, κ は収束する速さを決定するパラメータである. 手先の方向および親指の位置 (x_3, y_3) が定まれば, 手首 (x_2, y_2) は,

$$x_2 = x_3 - l_3 \cos\gamma, \quad y_2 = y_3 + l_3 \sin\gamma \quad (5)$$

となる. 肘の位置 (x_1, y_1) は,

$$x_1 = l_1 \cos\zeta_1, \quad y_1 = l_1 \sin\zeta_1 \quad (6)$$

となる. ただし,

$$\zeta_1 = \sin^{-1} \left(\frac{y_2}{\sqrt{x_2^2 + y_2^2}} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{l_2 \sin\omega}{l_1 + l_2 \cos\omega} \right) \quad (7)$$

$$\omega = \cos^{-1} \left(\frac{x_2^2 + y_2^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1 l_2} \right) \quad (8)$$

で表される.

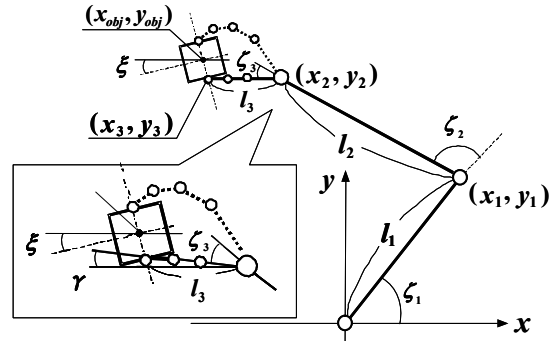


Fig.5 Frame model considering upper limb posture

3.3. シミュレーション結果

シミュレーションの結果を図6に示す. 図中では, 掌屈動作を伴った場合のシミュレーションを示したものである. 図に示されるように, 速度ポテンシャル場を利用することで, 手先は回り込みながら接近している. この時, 親指は, 目標となる把持面に対して, 沿うような軌道となっていることが確認できる.

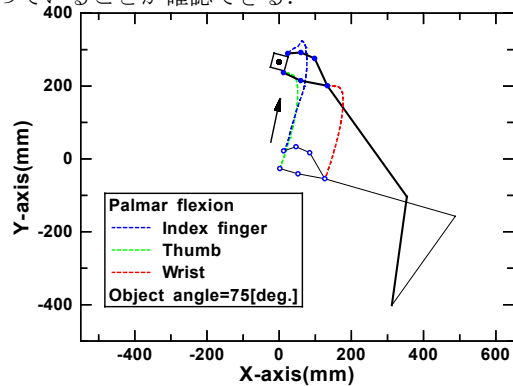


Fig.6 Result of simulation

4. 結言

本研究では, 対象物体を把持する際の人間の指先軌道特性について調べ, 得られた特性に基づいて把持動作生成モデルの提案を行った. 把持する面が限定されている対象物体に対しては, その角度に応じて回り込むような接近のときと, 直線的な接近のときとに分けられる. これらの特性を踏まえ, 速度ポテンシャル場を利用した指先軌道生成モデルの構築を行った. その結果, 人間と同様な特徴を持つ指先軌道が生成可能であることを示した.

文献

- 1) 中村, 宮里, 岸野: 把持動作における Preshaping の解析とターゲット予測, 電子情報通信学会論文誌, J80-A-6, pp.1003-1013, (1997)
- 2) 中井, 横山, 中沢: 円柱物体の把持動作における指先軌道の近似モデル, 日本機械学会 ROBOMECH'08 講演論文集 CD-ROM, 1A1-I24(2008)