

208 人間の指先軌道特徴を模倣したマニピュレータの把持動作計画

○中沢 信明, 松井 利一, 伊藤 勲(群馬大)

Path Planning for Manipulators Based on Human's Grasping Schemes

○Nobuaki NAKAZAWA, Toshikazu MATSUI, Isao ITOH(Gunma Univ.)

Key Words: Grasping motion, Manipulator, Human fingertip, Artificial potential

1. はじめに

近年, 人間との共存を目的とした「ヒューマノイド」に関する研究が盛んに行われている. このように将来われわれの身近な存在となり得るロボットは, 人間に対して脅威, 違和感を取り除く必要があり, そのためには人間の滑らかな動きをロボットの動作生成に取り入れることがひとつの有効な手段であると思われる.

そこで本研究では, マニピュレータによる対象物体の把持動作に関して, 人間の指先軌道特性を取り入れた動作生成モデルの構築とシミュレーションを行った. ここでは指先軌道の振る舞いが対象物体の障害物回避運動と類似していることに着目し, 人工ポテンシャル場を与え, 指先軌道の方向を決定する手法を提案する.

2. 把持動作のための指先軌道生成

2.1 把持動作のモデル

著者らは, Fig. 1に示される測定システムを用いて, 上肢運動を伴った人間の物体把持動作を計測し, 指先軌道特性について調べてきた¹⁾. Fig. 2が, その典型的な指先軌道である. 図に示されるように, 手先が対象物体近傍に入るとともに指先を広げており, 対象物体を取り囲む円(以下, 仮想円)を避けるように近づいていることが確認できる. これらの測定波形より, まず対象物体の把持面と指先の接近方向とが平行となる把持動作(初期位置 A)について, 軌道生成モデルを構築する. このときの指先軌道特性は, 以下のようまとめることができる.

1. 手先の速度パターンは, ベル型である.
2. 指先の開き動作は, 人差し指が積極的に行う.
3. 指先の軌道は, 対象物体に対する障害物回避運動と振る舞いが類似している.

以上の特性を模倣するため, ここでは速度ポテンシャル場を利用した把持動作のための軌道生成法を提案する.

速度ポテンシャル場

グリッパの座標を複素平面上に移動し, 次式の人工ポテンシャル場を与える.

$$F(z) = \Phi(x, y) + j\Psi(x, y) \quad (1)$$

ここで, $z = x + jy$ であり, $\Phi(x, y)$ は速度ポテンシャル, $\Psi(x, y)$ は流れを表す関数である. $\Psi(x, y)$ は $\Phi(x, y)$ の共役調和関数とすると, 速度ベクトル $V(x, y)$ は $F'(z)$ の共役複素数 $\overline{F'(z)}$ で表される.

y方向における速度パターン

人間の上肢2点間運動においては, その速度パター

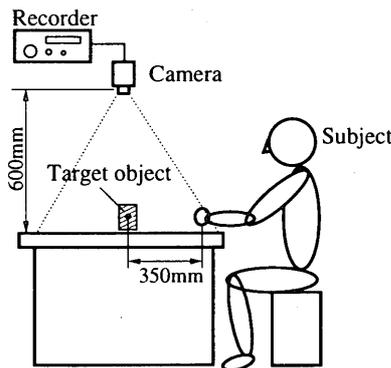


Fig.1 Experiment apparatus

ンがベル型となることが知られている. 本研究では, 以下の関数で速度ベクトルの時間波形を近似する.

$$V_y(t) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \kappa^3 t^2 \exp(-\kappa^2 t^2) \quad (2)$$

ただし, κ は動作の完了時刻を決定するパラメータであり, κ に関係なく次式を満たす.

$$\int_0^{\infty} V_y(t) \Delta t = 1 \quad (3)$$

すなわち, 式(2)の速度ベクトルの総和は1であり, y 方向において任意の2点間運動の軌跡を描くこととなる. ここで, y 方向の初期位置を y_0 , 移動が完了する目標位置を y_g とすれば, 変位量 $y_d(k\Delta t)$ ($k = 0, 1, \dots, n$)は次式で表すことができる.

$$y_d(k\Delta t) = y_0 + \sum_{i=0}^k (y_g - y_0) V_y(i\Delta t) \Delta t \quad (4)$$

x方向の軌道計画

Fig. 3に示されるように, 指先の位置 (x, y) における人工ポテンシャル場および y 方向の速度ベクトルより, x 方向の速度ベクトル $V_x(t)$ は次式で与えられる.

$$V_x(t) = V_y(t) \cdot \left(\frac{\partial \Phi(x, y)}{\partial x} \right) / \left(\frac{\partial \Phi(x, y)}{\partial y} \right) \quad (5)$$

x 方向の初期位置を x_0 とした場合, その変位量 $x_d(k\Delta t)$ ($k = 0, 1, \dots, n$)は, 次式で表される.

$$x_d(k\Delta t) = x_0 + \sum_{i=0}^k V_x(i\Delta t) \Delta t \quad (6)$$

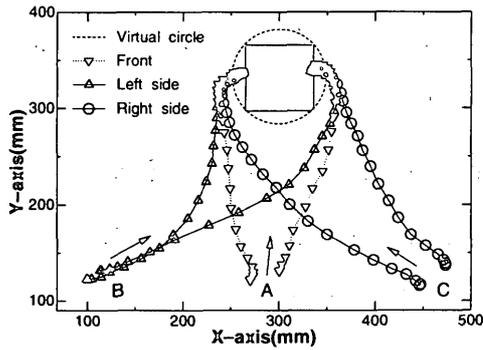


Fig.2 Trajectories of the two tips of digits

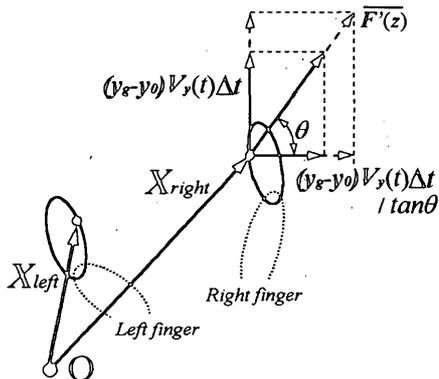


Fig.3 Vectors for the two fingertips

Table 1 Parameters of simulations

Parameters	α	γ	κ	$\Delta t[s]$	$k_t \Delta t[s]$	δ
Value	0.4	0.02	2.8	0.025	0.6	0.04

物体近傍における 2 指間の吸引ベクトル

グリップが対象物体の近傍に位置した際、物体保持のために次式で示される吸引ベクトルを与える。

$$\mathbf{X}_{left/right} = \mathbf{X}_d + \sum_{i=k_t}^k \gamma \frac{\mathbf{X}_{right} - \mathbf{X}_{left}}{\|\mathbf{X}_{right} - \mathbf{X}_{left}\|} \quad (7)$$

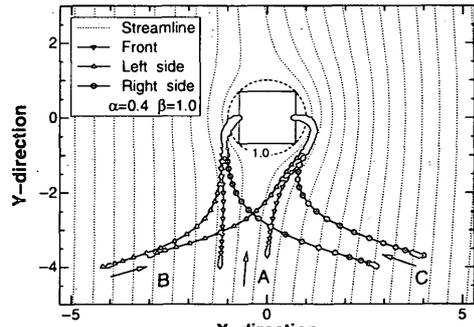
ここで、 $\mathbf{X}_d = (x_d(k\Delta t), y_d(k\Delta t))$ 、 γ は吸引の大きさを決定する正のパラメータである。時刻 $k_t \Delta t$ に到達した際、この吸引ベクトルが働く。

2.2 シミュレーション

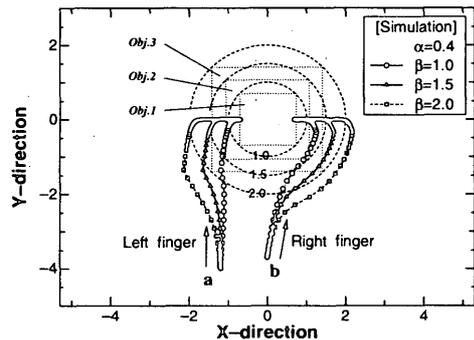
ここでは、人間の指先軌道のように左右の指でその軌道特性が異なる場合を考え、式(1)の人工ポテンシャル関数を

$$F(z) = \alpha j \ln(z) + \left(z + \frac{\beta^2}{z} \right) \quad (8)$$

とする。ただし、 α および β は定数である。式(8)の第2項は、半径 β の円筒まわりの流れを表しており、第1項はその流れに対してさらに循環(circulation)を生じさせる効果を持つ。ここで、Fig.4にシミュレーション結果を示す。初期位置Aは把持面と流線の方向が一致している例であり、各々のフィンガの軌道が仮想円を回避し、対象物体の把持部分に近づいていることが確認できる。初期位置B、Cのような場合には、x方向



(a)Trajectories and streamline.



(b)Trajectories according to the object width

Fig.4 Simulation(frontal approach)

成分について、フィンガ位置 $x_c(k\Delta t)$ を次式で与える。

$$x_c(k\Delta t) = x_{c0} + \sum_{i=0}^k [\delta V_y(i\Delta t) \cdot \{x_f(i\Delta t) - x_c(i\Delta t)\} + V_x(i\Delta t)] \quad (9)$$

ただし、 $x_f(k\Delta t)$ は正面方向からの把持動作に関するフィンガ位置であり、 δ は正面方向からの把持動作の軌道に接近する速さを決定するものである。なおy方向成分の軌道は、正面方向からの把持動作と同じく式(4)を用いた。式(9)においては、パラメータ δ にベル型の速度ベクトルを乗じることにより、y方向の動きを同期させていることに注目されたい。このことにより、いずれの初期位置からの指先軌道もベル型の速度波形を持つこととなり、人間の指先軌道と同様に動き出しおよび物体近傍においてサンプリング時間毎にプロットされた点どうしの間隔が狭くなっている。次に、対象物体 Obj.1~3 に対して、仮想円の半径 β を1.0, 1.5, 2.0に変えた場合のシミュレーションをFig.4(b)に示す。図に示されるように、パラメータ β によりフィンガの回避範囲が変化しており、対象物体の大きさに応じた最適な仮想円の設定が可能である。

3. むすび

本研究では、人間の指先軌道特性に基づいたマニピュレータによる把持動作のための軌道計画法について提案を行った。今後、本手法を利用したグリップ型ハンドの把持動作について検討を行いたい。

参考文献

1) 中沢, 梶川, 猪岡, 池浦, 把持動作における指先軌道の実験的考察, 人間工学, 36-1, pp.19-27, 2000.