人間とロボットの手渡し動作軌道計画

○沖野 友洋 (東北大学 情報科学研究科), 大場 光太郎 (東北大学 工学部)

猪岡 光 (東北大学 情報科学研究科)

Trajectory Planning for a Robot Handing over an Object to Human

Tomohiro OKINO, Hikaru INOOKA (Dept. of Information Science, Tohoku Univ.),

Kohtaro OHBA (Dept. of Mechanical Eng., Tohoku Univ.)

1. 緒言

近年、介護ロボットやホームロボットのよう、日常生活の中で人間と共存し、人間の能力の助助や、共同で作業を行うロボットが求められつつある。このようなロボットにおいては、主導側である人間の行動に柔軟に適應し、人間に負担を感じさせることなく作業を行う協調性が求められる。この協調性は、ロボットが人間のおかれている状況を把握し、人間の行動を阻害しないことにより實現されると考えられる。

本研究では、協調動作の一つとして、手渡し動作を取り上げ、人間からロボットへの円滑な手渡しを實現させるためのロボットの軌道計画法について検討する。この軌道生成法は人間の手渡しの動作解析から得られた特徴をロボットに再現させることにより、人間らしい動きの生成を目指したものである。

2. 手渡しにおける動作特徴

まず、円滑な受け渡しを實現するために必要となる条件を導き出すために、人間どうしによる手渡し動作の計測を行った。計測は水平面鉛直上に設置した CCD カメラを用いて行い、その対象は Fig.1 に示すような手先位置、および手の方向 (x, y, θ) とした。この計測データの解析結果から受け側が満たすべき条件として以下の3点が重要と考えられる。

[条件 1] 手渡し地点近傍において受け側と渡し側の十分小さい相対速度。

[条件 2] 受け側の回し込み運動。

[条件 3] 手渡し地点近傍において受け側と渡し側の手先方向の十分小さい相対角度。

次章ではこれら3条件を満足する軌道生成法を示す。

3. 軌道生成

従来、ロボットの動作計画に関して、ポテンシャル法 [1] が提案されている。ここでは、この手法を参考にして、ロボットの手先が発生すべき加速度指令を生成する。また、受け渡し時における手先方向の調整も考慮する。

Fig.1: 手の位置及び方向

Fig.2: 相対距離及び相対角度

3.1 ロボットの手先に作用する仮想力

渡し側である人間の手先位置、及び手先方向は画像情報とカルマンフィルタ [2] により逐次予測する。また、時刻 i で人間の手先予測位置からロボットハンドの位置への相対ベクトルを $\mathbf{R}^i = (R_x^i, R_y^i)$ とする。また、Fig.2 に示すように、このベクトル $\mathbf{R}^i$ と人間の手先方向のなす角を φ^i とする。

これらの状態量を用いて、前章で示した円滑な手渡しを實現させるための条件である [条件 1], [条件 2] を満たすための手先に働く仮想力を次のように定義する。

接近力 ロボットハンドが [条件 1] を満たしかつ人間の手先位置に迅速に接近するために (1) 式のように力 $\mathbf{F}_p$ を定義する。ここで k_p はゲインであり、 n_p は、ロボットの接近パターンを決定するパラメータである。

$$\mathbf{F}_p = k_p \|\mathbf{R}^i\|^{n_p} \cdot \mathbf{R}^i \quad (1)$$

回し込み力 受け渡し時において渡し側の手先正面に受け側が回り込むために、渡し側の手首の回りを回転する力 $\mathbf{F}_c$ を定義する。ここで k_c はゲインを表す。また、 φ^i はこの回し込み運動が渡し側の正面付近で収束するように導入したものである。

$$\mathbf{F}_c = \left(k_c \frac{R_y^i}{\|\mathbf{R}^i\|^2} \frac{(\varphi^i)^3}{|\varphi^i|}, k_c \frac{R_x^i}{\|\mathbf{R}^i\|^2} \frac{(\varphi^i)^3}{|\varphi^i|} \right) \quad (2)$$

以上からロボットに作用する力 F は、渡し側（人間）の引力 F_p と渡し側（人間）回りの回転力 F_c の和すなわち次式で与える。

$$F = F_p + F_c \quad (3)$$

ここでは、 F を加速度等価指令として用いる。

3.2 手先方向の調整

受け渡し時において、受け側と渡し側の手先方向の相対角を減少させるため以下のような更新式を与える。ここで、 θ_r^i は時刻 i でのロボットハンドの方向を、 $\hat{\theta}_h^{(i+1)/i}$ は、時刻 i で予測した人間の手の方向である。この式は、円滑な手渡し [条件 3] を考慮した式である。

$$\tan \theta_r^{i+1} = \tan \theta_r^i + k_r \left(\tan \hat{\theta}_h^{(i+1)/i} - \tan \theta_r^i \right) \quad (4)$$

k_r : 定数

4. シミュレーション

渡し側である人間の手先の位置および方向を、前章で示したアルゴリズムに入力し、受け側であるロボットの軌道を生成するシミュレーションを行う。シミュレーションに対し設定したパラメータは table.1 の通りである。なお、これらの設定パラメータは試行錯誤的に決定した。

シミュレーション結果の概略図を Fig.3 に、軌道の結果を Fig.4 に、相対距離および相対速度の結果を Fig.5 に示す。Fig.3 より手渡し地点近傍において、受け側であるロボットは、渡し側である人間の手の方向に、ハンドの方向を合わせていることが分かる。また、Fig.4 において、ロボットの動き始めの軌道は人間に比べて回り込みがやや大きくなっているが、最終的な手渡し時においては、人間とほぼ等しい軌道を描いていることが分かる。また、Fig.5 において、相対速度の変化は人間どうしの手渡しにおける結果とほぼ等しくなっていることが分かる。

以上のシミュレーション結果から、本アルゴリズムによりロボットの動作は、円滑な受け渡しの 3 条件を満たすことが分かった。

5. 結言

本研究では、渡し側が人間、受け側がロボットの場合の手渡し動作を取り上げ、円滑な手渡しを実現させるためのロボットの軌道計画法を提案した。まず、人間どうしの手渡し動作の解析結果より、十分小さい相対速度、回し込み動作、および手先方向の十分小さい相対角度により、円滑な手渡しが可能となることが分かった。次に、これらの条件を解決するアルゴリズムを提案し、シミュレーションにより、本手法の有効性を実証した。

table.1 設定パラメータ

k_p	n_p	k_c	k_r
0.33	-0.15	40	-0.3

Fig.3: 概略図

Fig.4: 軌道

Fig.5: 相対距離、相対速度

参考文献

- [1] 池上, 大園: 距離値ポテンシャルに基づく経路探索, 第 8 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.195-198(1991).
- [2] 有本卓: カルマンフィルタ, 産業図書.