

触覚情報を用いたロボットの動的マニピュレーション

大西 正輝 浅野 文彦 向井 利春 小田島 正
田原 健二 高木 賢太郎 羅 志偉 (理研 BMC)

On a Robot's Dynamic Manipulation using Tactile Information

*Masaki ONISHI, Fumihiko ASANO, Toshiharu MUKAI, Tadashi ODASHIMA,
Kenji TAHARA, Kentaro TAKAGI, Zhiwei LUO (RIKEN BMC)

Abstract— This presentation proposes an approach to use tactile information in a robot's whole arm dynamic manipulation of a rigid object. Unlike those researches that only use tactile sensors to recognize objects or contact conditions, this approach considers the relation between a robot's motion trajectory and the tactile information for the succeeded tasks cases, and adjust the robot's motion spatially and temporally so as to realize the required dynamic manipulations. Experimental results show the effectiveness of our approach.

Key Words: dynamic manipulation, tactile sensor, environmental adaptive robot

1. はじめに

近年、ロボットの知能化を目指した研究が盛んに行われており、ロボットの活躍の場は、これまでの工場などの規格化された生産現場から、街や家庭などの一般環境へと広がりつつある。中でも、家庭で力仕事が行えるようなロボットの登場が期待されているが、現状では物体に接触するような動きをロボットに行わせるのは難しい。

この理由として、触覚センサ自身が研究段階であることがあげられる。このため、これまで触覚を持つロボットが開発されたとしても、触られた場所を特定したり [1, 2], 「なでる」や「たたく」などを認識することによってコミュニケーションに利用される [3] ことはあったが、動的なタスクに利用されることはなかった。

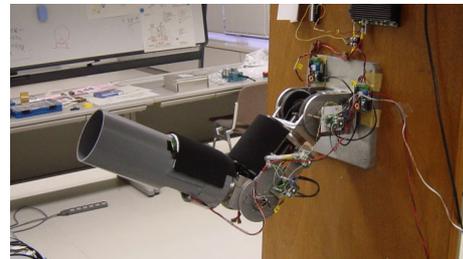
現在、筆者らの研究センターでは介護福祉の現場で活躍するロボットの実現を視野にいたった研究を行っている。具体的なタスクとしてロボットの全身を用いて人間を抱きかかえる全身マニピュレーションの実現を目指しており、理論的な研究 [4] から解析的な研究、シミュレータの構築 [5], さらには柔軟な面状触覚センサ [6] の研究などを行っている。

本稿では、触覚を持つロボットを用いて動的マニピュレーションを実現させる方法を提案する。提案手法の基礎となるアルゴリズムは、これまでに提案してきた文献 [7] の手法を用いており、実機に応用して動的マニピュレーションを行わせる。

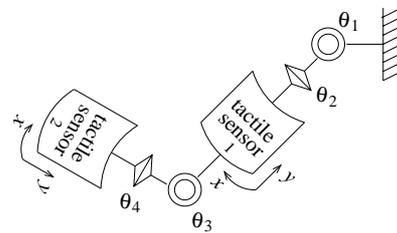
2. ロボットの構造と目標タスクの設定

本研究で用いるロボットの外観を Fig.1 に示す。これは、抱え上げ動作を検証するために試作したロボットアーム [8] で 4 自由度 ($\theta_i \mid i = 1 \sim 4$) を持つ。また、上腕と前腕に相当する部分に 8×8 のアレイ状の面状触覚センサ [6] を持ち、上腕と前腕にかかる力の大きさ ($M_0^i \mid i = 1, 2$) と二次元平面上の力の重心位置 ($P_x^i, P_y^i \mid i = 1, 2$) を検出することができる。

ロボットに行わせる動的マニピュレーションとして、



(a) Overview of our robot.



(b) Layout of joints and sensors.

Fig.1 Our robot system.

水平に伸ばしたアームの上腕に筒状の物体を乗せ、それを転がしながら前腕に移動させる動作を想定した。

3. 教示動作の生成

今回想定したような動的なタスクをロボットに行わせる場合、事前に設計された目標軌道をロボットに与えるだけではタスクの成功率は低い。このような場合には、ロボットの運動をモデル化し理論的に最適な軌道を生成する方法を採ることが多いが、現実には摩擦や粘性などモデル化するのが難しい要素が多く含まれているため、シミュレーションでは実現できたとしても実機で成功させるのは難しい。

そこで、筆者らはタスクに成功した時に得られた入出力を時系列で記録しておき、時々刻々と得られる入力

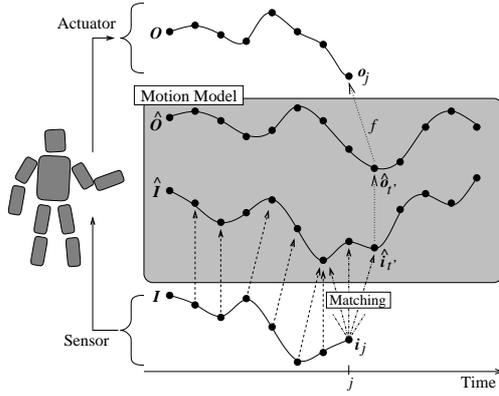


Fig.2 Algorithm of our approach.

情報（センサ情報）を利用して出力（ロボットの目標制御軌道）を修正する手法 [7] を提案してきた (Fig.2) .

この手法を適用するためには、何らかの方法で最低一度はロボットでタスクを成功させ、成功軌道を取得する必要がある . 文献 [7] では人間がロボットに没入することで成功軌道を与えたが、ここでは一秒毎の各関節角度を与え、3次のスプライン関数を用いてデータを補完した .

そして、試行錯誤的にタスクに成功する軌道を見つけ出し、その時の入力の時系列 I と出力の時系列 O を記録した . ここでは、次式のように入力 I は触覚センサ情報を表し、出力 O は各関節角度を表す .

$$I = \{i_1, i_2, \dots, i_t, \dots, i_T\} \quad (1)$$

$$i_t = [M_0^1(t), P_x^1(t), P_y^1(t), M_0^2(t), P_x^2(t), P_y^2(t)]$$

$$O = \{o_1, o_2, \dots, o_t, \dots, o_T\} \quad (2)$$

$$o_t = [\theta_1(t), \theta_2(t), \theta_3(t), \theta_4(t)]$$

与えた教示動作を Fig.3 (a) に示す . θ_2 と θ_4 は常に 0 である . ただし、物体の初期位置や摩擦などの影響によっていつも動的マニピュレーションに成功する訳ではないため、タスクに成功した時のみ触覚センサ情報を記録した .

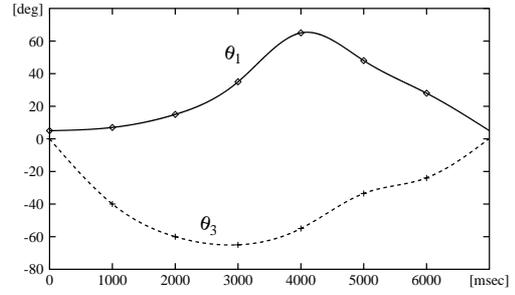
16 回の成功記録からセンサ情報の平均を求めたものを Fig.3 (b) ~ (d) に示す . (b) はそれぞれのセンサシートから得られる力の総和 $M_0^i(t)$ を示し、(c) は x 座標の値 $P_x^i(t)$ 、(d) は y 座標の値 $P_y^i(t)$ を示す .

4. 触覚情報を利用した軌道修正

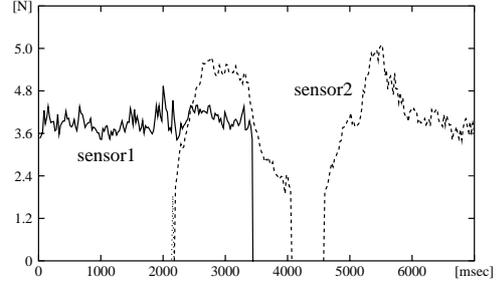
文献 [7] では、運動途中に得られた感覚情報（ここでは触覚情報）によって運動を調整する基準が明らかな場合と明らかな場合と大別し、運動を調整する基準が明らかな感覚情報については出力 o を空間的に変化させることで対応し、明らかな感覚情報については出力を時間的に伸縮させることで対応している .

4.1 空間的な軌道修正

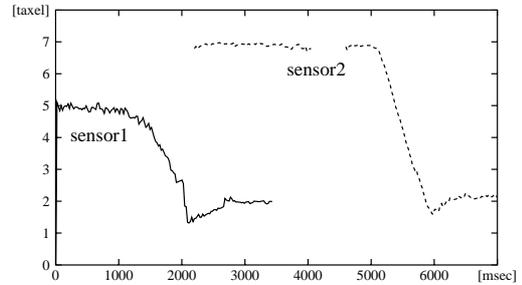
アーム上で物体を転がす場合、アームを捻る (θ_2 や θ_4 を回転させる) と物体はすべり落ちる . そこで、物



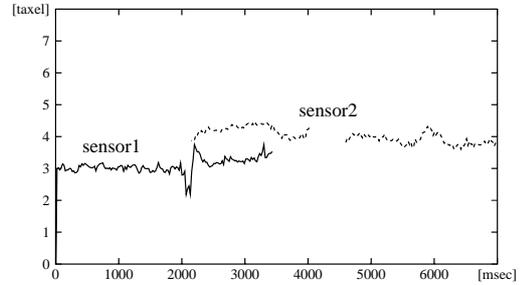
(a) Output value to joint angle ($\theta_i(t)$)



(b) Input value from tactile sensor ($M_0^i(t)$)



(c) Input value from tactile sensor ($P_x^i(t)$)



(d) Input value from tactile sensor ($P_y^i(t)$)

Fig.3 Reference joint angle and tactile information.

体がすべり落ちそうになった場合には、 θ_2 や θ_4 を回転することでこれを阻止する .

具体的には、アームを捻ることによってアームの中心に物体の重心が来るように軌道を修正しており、次式に基づいて θ_2 と θ_4 を回転させる .

$$\theta_2(t) = k(P_x^1(t) - \hat{P}_x^1) \quad (3)$$

$$\theta_4(t) = -k(P_x^1(t) - \hat{P}_x^1) + k(P_x^2(t) - \hat{P}_x^2)$$

ここで、 \hat{P}_x^1 は教示動作中に得られた $P_x^1(t)$ の全時間の平均値を表し、 $\hat{P}_x^1 = 3.12$ 、 $\hat{P}_x^2 = 4.08$ であった .



(a) Failed without using tactile information



(b) Succeeded when using tactile information

Fig.4 Experimental results.

4.2 時間的な軌道修正

次に、現在の時刻 j に対応する教示動作の時刻 t の付近で、得られた認識結果が類似する時刻を探索することで、時間伸縮に対応する。つまり、時刻 j に対応する t' を次式によって求めることで、動作の時間伸縮を行う。

$$t' = \arg \max_k \exp \left\{ -\frac{(j-k)^2}{2\sigma_e^2} \right\} \cdot \|i_j - \hat{i}_k\|^2 \quad (4)$$

これは右辺を最大にする k を t' におくという意味であり、類似度 $\|i_j - \hat{i}_k\|^2$ を次式で定義する。

$$\|i_j - \hat{i}_k\|^2 = \exp \left\{ -\frac{\sum_{i=1}^2 (P_y^i(j) - \hat{P}_y^i(k))^2}{2\sigma_d^2} \right\} \quad (5)$$

上式によって教示中に得られた触覚情報と現在得られている触覚情報を比較して、教示動作中のどの時刻と類似した運動をすればよいかを時間軸の伸縮によって探索する。

なお、力の大きさ M_0 に関しては十分な密度で触覚センサを配置できていないため今回は利用していない。

5. 実験

本手法の有効性を確認するために、ロボットに動的マニピュレーションを行わせた。タスクは上腕に乗せた物体を転がしながら前腕に移動させる動作である。使用したロボットや触覚センサについては、文献 [8, 6] に詳しく記述している。

Fig. 4 (a) にあらかじめ与えた軌道をそのまま実現したが、マニピュレーションに失敗している例を示し、Fig. 4 (b) にはその軌道を触覚情報を用いて修正することでマニピュレーションに成功している例を示す。

あらかじめ与えた軌道ではマニピュレーションの成功率が 16.7% (2/12) であったが、触覚情報によって軌

道を修正することで成功率が 83.3% (10/12) まで上昇することを確認した。

6. おわりに

本稿では、触覚情報を用いて時空間的に軌道を修正することで、動的なマニピュレーションを成功させる手法を提案した。また、ロボットアームを用いた実験により本手法の有効性を確認した。今後の課題としては、パラメータの調整や理論的な考察、さらに複雑なタスクに応用することなどがあげられる。

参考文献

- [1] 岩田浩康, 星野勇人, 森田寿郎, 菅野重樹, “人間共存ロボットのための全身触覚インタフェース,” 日本ロボット学会論文誌, vol.20, no.5, pp.543–549, July 2002.
- [2] R. Tajima, S. Kagami, M. Inaba, H. Inoue, “Development of soft and distributed tactile sensors and the application to a humanoid robot,” Advanced Robotics, vol.16, no.4, pp.381–397, 2002.
- [3] 納谷 太, 篠沢一彦, 大和淳司, 小暮 潔, “圧力分布センサによる人の触行動の実時間識別とその個人適応手法,” 電子情報通信学会論文誌 (D-II), vol.J85-DII, no.4, pp.613–621, April 2002.
- [4] F.Asano, Z.W.Luo, M.Yamakita, S.Hosoe, “Dynamic Modeling and Control for Whole Body Manipulation,” Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.3162–3167, Oct. 2003.
- [5] 大西正輝, 小田島正, 羅 志偉, 細江繁幸, “人間と接するロボット開発のための没入型三次元動力学シミュレーション環境,” 電子情報通信学会論文誌 (D-II), vol.J88-D-II, no.2, pp.368–377, Feb. 2005.
- [6] 向井利春, “ロボットへの装着を目的とした 2 次元曲面状触覚センサ,” 第 23 回日本ロボット学会学術講演会, Sep. 2005.
- [7] 大西正輝, 小田島正, 羅 志偉, “環境と接するロボットの感覚運動統合による動作模倣,” 電気学会論文誌, vol.125-C, no.6, pp.856–862, June 2005.
- [8] 小田島正, 田原健二, 大西正輝, 高木健太郎, 浅野文彦, 向井利春, 羅 志偉, “抱え上げ動作検証用ロボットアームの開発,” 第 23 回日本ロボット学会学術講演会, Sep. 2005.