

柔軟物と環境の力学的相互作用を利用した布地ハンドリングシステム

柴田 瑞穂, 太田 剛士, 位田 崇彰, 平井 慎一 (立命館大学)

Fabric Handling System Using Physical Interaction Between Environment and Deformable Objects

Mizuho SHIBATA, Tsuyoshi OTA, Takaaki INDEN, and Shinichi HIRAI
Ritsumeikan Univ.

Abstract: This paper presents a mechanical system that handles fabrics using physical interaction between environment and deformable objects. Fabric setting process by human consists of wiping, pinching, unfolding, and placing motion of fabrics. We realize the setting process using combination of these basic motions. We describe wiping motion and distinguish wiping slide from wiping deformation by displacement of the internal points of an object. In addition, we show that a wiping motion is an extended system of pushing and sliding of rigid objects.

1 緒言

本報告では、柔軟物と環境の力学的相互作用を利用する布地ハンドリングシステムを構築する。近年、多品種少量生産を背景に様々な分野でセル生産方式が採用されている。しかしながら、柔軟物を主に扱うクリーニング、アパレル、リネンサプライなどの産業では、機械による自動化は効率面だけでなく衛生面からも急務であるにもかかわらず、布地を操作する作業の多くを人手で行っている。本研究では、人間の動作に倣い、布地ハンドリングの基本動作を拭き動作、摘み動作、展開動作、定置動作という4つの動作に分類する。これらの動作を適宜組み合わせることで、所定の動作を実現する機械システムを構築する。

2 基本動作の分類

Fig.1 に示すように、人間が乱雑に置かれた布地を整理する際の動作を大きく4つに分類する。柔軟物を移動させる際に、布地を床に押し付けながら滑らせることがある。このとき、指と布地の相対位置は変化しないが、布地と床の相対位置は変化する。このように環境を利用して柔軟物を移動する方法を拭き動作 (wiping) と定義する (Fig.1-(a))。次に、人間は乱雑に置かれた布地を視覚で認識し、布縁付近を摘み上げる (Fig.1-(b))。その後、布縁を摘んだまま指先を滑らせながら布地を展開する (Fig.1-(c))。このように指先と物体の接触を伴う相対運動を利用することによって、空中で安定に展開動作を行うことができる。展開後、布地を定置する (Fig.1-(d))。定置動作は腕の軌道生成問題に帰着できる。このとき、柔軟物と床との接触を考慮する必要がある。本研究では、これら4つの動作を組み合わせ、適宜作業を実現する。摘み動作、展開動作、定置動作に関しては既報で示した。また、これらを組み合わせ、一連の動作として布地の展開/定置動作を実現した [1]。Fig.2 に、一連の動作を示す。柔軟物と環境の力学的相互作用を利用することで、単腕2手ハンドで作業を遂行している。本報告では、拭き動作に着目し、その定義および実用性を論じる。

3 拭き動作

3.1 定義

布地を多指ハンドで操作すると仮定する。それぞれの指と布地との接触は点接触であるとする。ここで、 P_{fi}^b は i 番

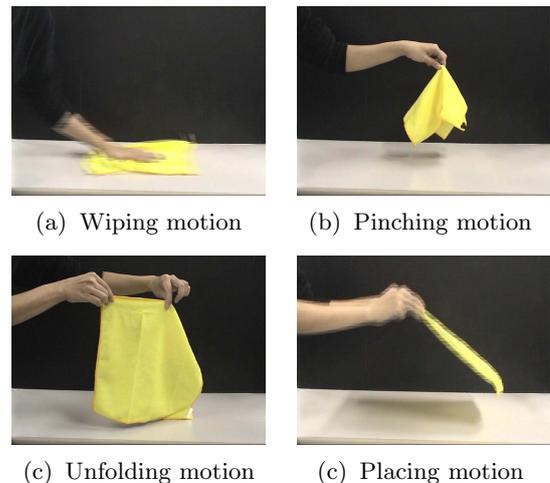


Fig.1: Human operation in setting motion for a fabric

目の指先の位置、 P_{di}^b は初期状態における指先と布地の接点である。 P_i は床の基準位置であり、物体の移動中この位置は変化しない。点 P_{di}^b 、 P_i の数は指先の数と一致しているものとする。また、物体はせん断変形しないと仮定する。初期状態では以下の条件を満たしている。

$$\forall i (\overrightarrow{P_{fi}^b} = \overrightarrow{P_{di}^b} = \overrightarrow{P_i}). \quad (1)$$

式 (1) の状態から指先を動かして物体を移動させる。ここで、点 P_{fi}^b 、 P_{di}^b はそれぞれ、点 P_{fi}^a および P_{di}^a に移動すると仮定する。以下の条件を満たすとき、その運動が拭き動作であると定義する。

$$\forall i (\overrightarrow{P_{fi}^a} = \overrightarrow{P_{di}^a}) \wedge \exists i (\overrightarrow{P_{di}^a} \neq \overrightarrow{P_i}). \quad (2)$$

押し付け倣い作業 [4] は以下の条件で表現される。

$$\exists i (\overrightarrow{P_{fi}^a} \neq \overrightarrow{P_{di}^a}) \wedge \forall i (\overrightarrow{P_{di}^a} = \overrightarrow{P_i}). \quad (3)$$

したがって、この作業は従来の押し付け倣い作業とは明確に異なる。また、柔軟物が質点の集合であると考え、拭き動作は移動後の柔軟物の内部の点の相対的な移動により、2つに分類される。柔軟物内部の任意の2点を点 P_A^b 、 P_B^b

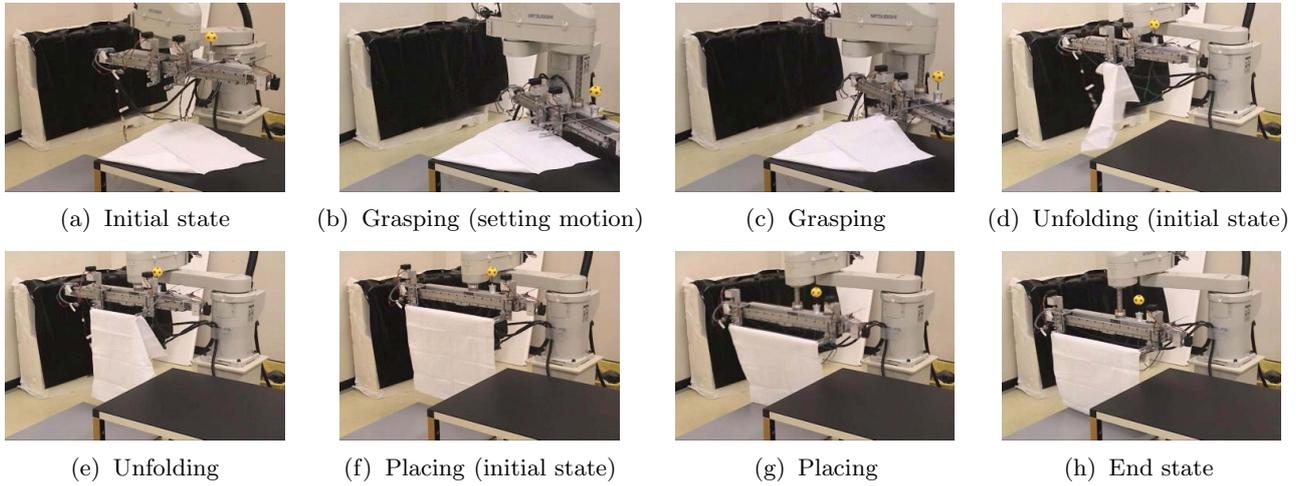


Fig.2: Operation in setting motion for fabrics

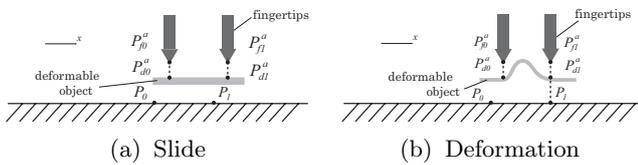
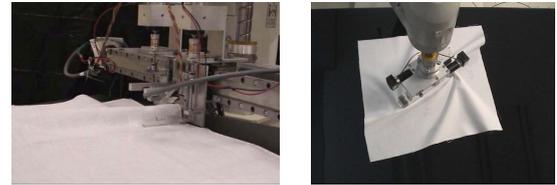


Fig.3: Wiping motion



(a) Translation (b) Rotation

Fig.4: Experimental wiping deformation

とし、点 P_A^b および P_B^b は移動後にそれぞれ、点 P_A^a および P_B^a に移動すると仮定する。以下の条件を満足するとき、Slide 型拭き動作と定義する (Fig.3-(a))。

$$|\overrightarrow{P_A^a - P_B^a}| = |\overrightarrow{P_A^b - P_B^b}| = \text{const.} \quad (4)$$

式 (4) の条件は、剛体の物体操作においても成立する。グラスプレスマニピュレーションでは、これを Slide または Pushing と定義している [2, 3]。拭き動作を満足する動作の中で、式 (4) を満たさない動作を Deformation 型拭き動作と定義する (Fig.3-(b))。この動作は物体の変形を伴う動作であり、剛体の操作では存在しない。すなわち、この拭き動作は剛体操作における Sliding, Pushing の自然な拡張になっている。Fig.4 に、Deformation 型拭き動作の例を示す。並進および回転の移動を利用することで、布地を扱いやすい形に移動/変形させることができる。

3.2 解析

並進の Deformation 型拭き動作を行い、残留変形を利用して変形部の形を維持するために必要な布地の長さを概算する。変形部の長さを L 、布地の曲げ剛性を K 、最大静止摩擦係数を μ 、単位面積あたりの自重を W とするとき、残留変形を利用して変形部の形を維持するために必要な接触部の長さ S は、

$$S \geq \frac{4\pi K}{\mu W L^2} \quad (5)$$

の関係式を満たす必要がある。あらかじめ布地の物理特性を計測しておくことで、必要な布地の長さが計算できる。

4 結言

本報告では、柔軟物と環境の力学的相互作用をした布地操作システムを構築した。人間の動作に倣い、布地ハンドリングの基本動作を拭き動作、摘み動作、展開動作、定置動作という4つの動作に分類した。本報告では特に、柔軟物操作としての拭き動作に着目し、定義を行った。

謝辞

本研究の一部は、2007年度科学技術振興機構 (JST) シーズ発掘試験の支援を受けて行われた。

参考文献

- [1] 柴田, 太田, 遠藤, 平井, "布地の把持・展開・定置を実現する機械システム", ロボティクス・メカトロニクス講演会'08 講演論文集, 2008.
- [2] K. Lynch, and M. Mason: "Stable Pusing: Mechanics, Controllability, and Planning", Int. J. of Robotics Research, Vol.17, No.5, pp.485-503, 1998.
- [3] O. Terasaki, and T. Hasegawa: "Intelligent manipulation of sliding operations with parallel two-fingered grippers", Proc. IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.1590-1597, 1993.
- [4] T. Yoshikawa, A. Sudou: "Dynamic hybrid position/force control of robot manipulators: online estimation of unknown constraint" Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.1231-1236, 1990.