

布地の押しつけ移動操作における移動距離の推定

Estimation of Displacement Distance for Wiping motion of Fabric Products

研究代表者 工学部ロボティクス学科*1 講師 柴田 瑞穂
Mizuho Shibata

In this manuscript, an estimation method of displacement distance for wiping motion of fabric products is implemented. This wiping motion is defined as a task in which there is contact, but no relative movement, between the manipulator and the deformable object, while there is both contact and relative movement between the object and a floor during the displacement of the object in this wiping motion. We propose a visual tracking algorithm utilizing combination of a particle filter and a rebelling processing for measuring the displacement distance. We invest the validity of the algorithm utilizing a planar robotic arm.

Keywords: Fabric manipulation, Marker tracking, Wiping motion

1. はじめに

布地の搬送や位置決めなどの作業の多くは人の手作業によって行われており、まだロボットによる自動化が実現できていない⁽¹⁾。特に、医療・福祉分野においては衛生面から布地自体に人が触れずに作業を遂行することが強く望まれている。また、アパレル業界においても近年の多品種少量生産を背景に、複雑で小さな部材を扱うことができるロボットの開発が求められている。布地の変形や素材の違いなど多くの問題点があるため、まだ布地をロボットによって扱うことは実現していない。布地のハンドリングシステムが未発達である背景として、布地が持つ「大きく変化する」という特徴や「同じ製品によっても特性（弾性や摩擦係数など）にばらつきがある」という克服されていない問題点が挙げられる。本研究ではこれを解決するために、「布地と床を接触させることにより、布地が変形できる方向を限定する」、「視覚センサを用いて位置決めを行うことで布地の特性にばらつきがあっても制御できる」布地ハンドリングシステムを構築する。具体的には、布地上のマーカを基に、布地の位置決めを行うシステムを開発する。布地は柔軟物体であるため、位置決めを行う際に、操作点と位置点が異なる場合がある。これを布地の間接位置決め問題という⁽²⁾。図1に布地の間接位置決め概要図を示す。この図では1つの操作点を1本のロボットアームで操作し、布地上の目標点を床上の位置決め点に一致させる。本研究では布地

の間接位置決めを少ないロボットアームで実現することを目指す。ここでは、布地の押しつけ移動操作を利用する。本報告では、このシステムを実現するための基礎となる、布地の移動距離を、画像情報を用いて推定するシステムについて議論する。

2. 布地の押しつけ移動操作

本節では、布地の間接位置決め問題設定について考える。図1に示すように、1つのロボット指が平らな床に置いてある布地上の1つの位置決め点を移動させる。この操作でロボットの指先と布地の間には滑りがないと仮定する。筆者らは、このようにロボット指と布地の相対位置が変化せずにロボット指の位置を移動させる動作を **Wiping** 動作として定義している⁽³⁾。布地は柔軟物であり、移動後に変形する可能性がある。したがって、この動作は剛体マニピュレーションにおけるグラスプレス・マニピュレーション⁽⁴⁾の自然な拡張として定義される。

本報告では、位置決め点として布地に黒のマーカを置く。マーカの位置は環境に固定されたカメラによって得られた画像を使用して計算される。適切なアルゴリズムを選択するために、本問題における外乱を分類する。

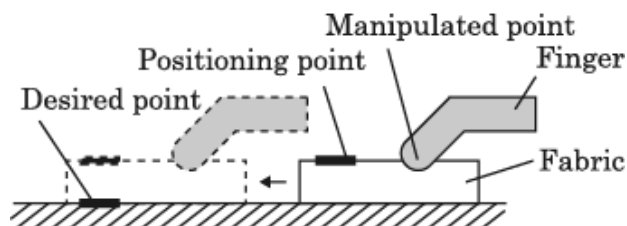


図1. 布地の押しつけ移動による布地の間接位置決め

*原稿受付 2014年5月12日

*1 〒739-2116 東広島市高屋うめの辺1番

E-Mail shibata@hiroshima.kindai.ac.jp

間接位置決め操作における大きな外乱の一つにロボット指（マニピュレータ）そのものが挙げられる。ロボット指は、操作する布地の動特性の影響を低減するために、できるだけマーカに近く置くべきである。したがって、カメラによって得られる画像にロボット指が映り込む可能性がある。画像内のロボット指による外乱の面積は、マーカが占める面積に対して大きくなる可能性がある。このような大きな外乱に対してロバスト性を持つアルゴリズムを選択する必要がある。また、布地製品に特有の外乱として布表面の模様がある。アパレルなどの産業分野では様々な模様の布地を必要とする。例えば、格子模様は一つ一つの格子は面積が小さいものの、画像内において多くの外乱になりうる。また、布地操作のための特徴的な外乱の一つとして、布地が変形することによって生じるシワが挙げられる。布地上のシワは、大きさによっては画像処理において大きな外乱になりうる。このシワは、ロボット指、布地、床の相対的な移動と布地の特性の関係性によって生成される。したがって、ロボット指を適切に移動させた場合、これらのシワは生成されないことがわかっている⁽⁹⁾。よって本報告では布地上のシワによる外乱は考慮しない。

3. 移動距離推定手法

本節では、前節の問題設定に基づいて、布地の間接位置決めのための画像処理のアルゴリズムを提案する。布地上のマーカトラッキングを実現するためにアルゴリズムにパーティクルフィルターに基づく画像処理を適用する。パーティクルフィルタートラッキングは、カルマンフィルターのような時系列フィルターの一つである⁽⁶⁾。パーティクルフィルターで扱う確率分布は非線形非ガウス分布のため、パーティクルフィルターは様々なマーカトラッキングの問題に適用することができる。パーティクルフィルターのアルゴリズムでは、目標に対していくつかの粒子が生成される。粒子が確率的に目標の周囲に生成され、その後、いくつかの粒子が一定の基準に基づいて排除される。目標の位置は粒子の平均位置として計算される。パーティクルフィルターによって得られた位置は、粒子の位置が確率的に生成するためにランダムに移動する。つまり、マーカが静止していても、粒子の平均位置はランダムに移動する。したがって、この粒子の平均位置を位置決め制御における制御信号として使用するのは困難である。この問題を克服するために、アルゴリズムにパーティクルフィルターとラベリング処理の組み合わせを適用する⁽⁶⁾。以下に手順を示す（図2）。

(a)画像キャプチャ；カメラでRAW画像を取り込む。

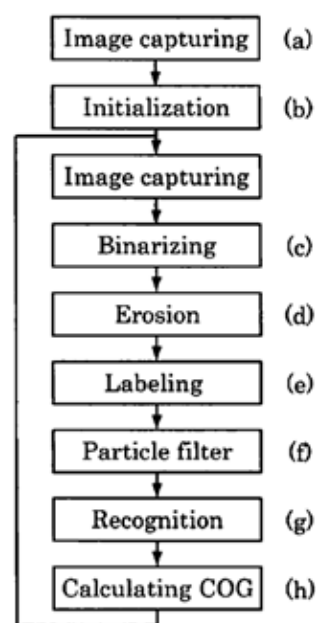


図2. 画像処理手順

- (b) 初期化；粒子の初期位置は、前処理として、マーカ上に手で設定する。
- (c) 二値化；RAW画像を、バイナリ画像に変換する。
- (d) 収縮処理；ノイズを低減するために、目標の画素値は隣接する画素の条件に応じて反転される。
- (e) ラベリング処理；隣接する画素の集まりに番号付けをする。
- (f) パーティクルフィルター；一定の基準に基づいて粒子は生成/除去される。この過程を経て、対象を追跡することが可能となる。粒子の平均位置を計算する。
- (g) 認識；ステップ (f) で得られた平均位置とステップ (e) で得られたラベリングデータを比較する。粒子の平均位置がどのラベルに属するかを得る。
- (h) 重心計算；ターゲット領域の重心（Center of Gravity; COG）のみを計算する。他のラベル領域の重心は計算しない。

このアルゴリズムでは、ステップ (h) 後、カメラは再びこの画像をキャプチャする。このアルゴリズムは、ステップ (h) にて対象のラベル領域のみ重心を計算するため、粒子の生成法によらずマーカの重心位置を計算できる。また、マーカの領域が外乱の領域と分離できていれば、外乱はマーカと異なるラベル領域と判定されるため、領域の面積によらずマーカの重心位置のみを計算することができる。筆者は既報⁽⁶⁾にてこの画像処理アルゴリズムの有効性を検討した。

4. 実験および考察

本節では、提案した画像アルゴリズムのロボットシステムへの実装を試みる。布地の押しつけ移動操作を実現するために、図3に示す試作機を作製した。ロボットアームにはサーボモータ(ROBOTIS製AX-12A)を3個使用した。図のPC1はマイコンへ動作開始の信号を与えるために、PC2はカメラと接続され、マーカーの移動距離を推定するために使用している。本システムでは、平面2自由度を有するロボットアームの手先に押しつけ用のモータを付加している。この手先は布地を押し付けている間、アームに対して一定の角度を維持している。ここで、ロボットの手先位置を (x, y) とし、第1関節および第2関節の角度を θ_1, θ_2 とする。また、各リンクの長さを L_1, L_2 および L_3 とする。第3リンクは一定の角度で曲げた状態で床を接触させるため、運動中にリンクの角度が一定であると考えられる。したがって、今回使用するロボットアームの順運動学の式は、

$$x = L_1 \cos\theta_1 + (L_2 + L_3)\cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (1)$$

$$y = L_1 \sin\theta_1 + (L_2 + L_3)\sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (2)$$

となる。次に、ロボットアームの逆運動学の式は

$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{x}{y}\right) - \arctan\left(\frac{d_1}{\sqrt{x^2 + y^2 - d_1^2}}\right) \quad (3)$$

$$\theta_2 = \arctan\left(\frac{d_1}{\sqrt{x^2 + y^2 - d_1^2}}\right) + \arctan\left(\frac{d_2}{\sqrt{x^2 + y^2 - d_2^2}}\right) \quad (4)$$

となる。ここで、

$$d_1 = \frac{x^2 + y^2 + L_1^2 - (L_2 + L_3)^2}{2L_1} \quad (5)$$

$$d_2 = \frac{x^2 + y^2 - L_1^2 + (L_2 + L_3)^2}{2(L_2 + L_3)} \quad (6)$$

と表される。この逆運動学を用いて、ロボットアームの手先位置を制御する。本試作機では $L_1=68\text{mm}$ 、 $L_2=68\text{mm}$ 、 $L_3=49\text{mm}$ である。

視覚センサにはBUFFALO製BSW20K04を、制御用マイコンとしてArduino UNO (R3)を使用した。操作する対象として無地の布地で実験を行う。黒い四角形のマーカーを利用する。その大きさは、マーカーの大きさは、

20mm×10mmである。図4に実験風景を示す。図に示すように、(a)初期状態では布地と手先は接していない、(b)手先をマーカー付近まで移動させる、(c)手先で布地を押しつける、(d)布地を移動させる、という手順で布地を操作する。ロボットアームは床に接触後、30mm並進移動する。布地と床との間の高さは約165mmである。画像の大きさは縦240pixel、横320pixelであり、1画素の解像度は0.428mm/pixelである。1回の画像処理にはキャプチャを含めて約70msの時間を要している。図5に処理画像を示す。図に示すように、画面上にはロボット指によるノイズが存在する。しかしながら、提案アルゴリズムを利用することで、マーカーの重心位置が得られている。このマーカーの重心位置は、パーティクルフィルターの粒子の平均位置とは異なることが図より確認できる。

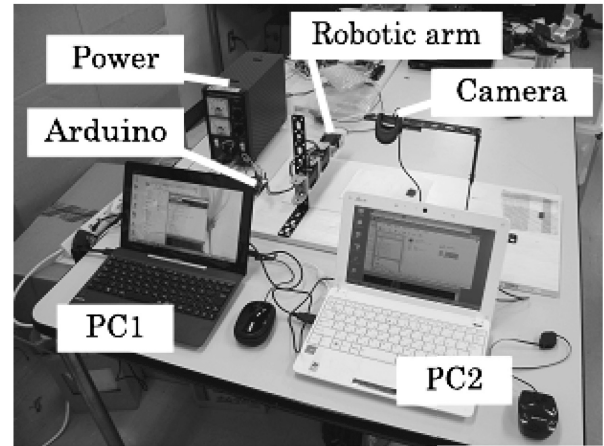


図3. 実験装置

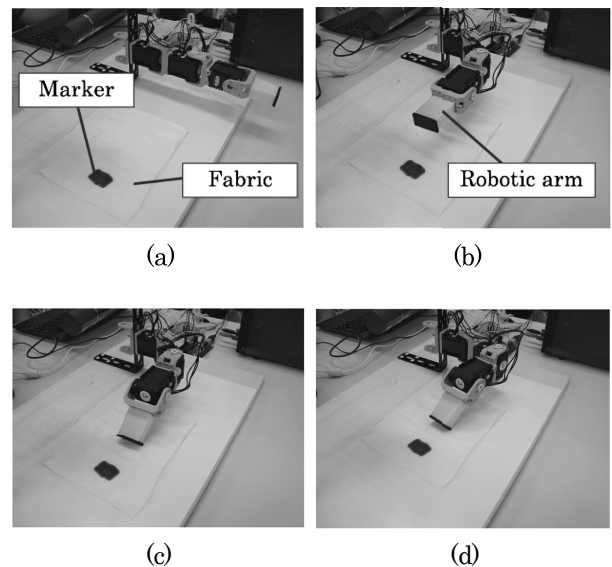


図4. 実験風景

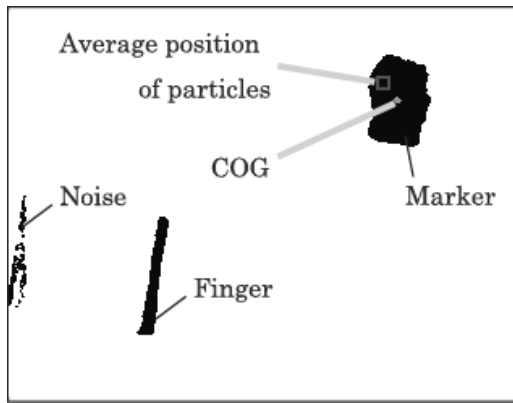


図 5. 処理画像

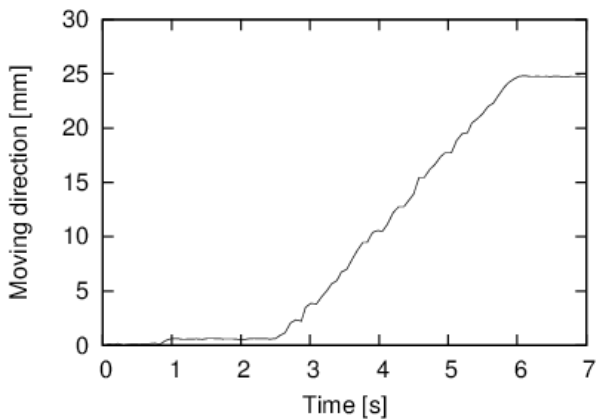


図 6. 水平移動距離の時間推移

本実験では、図 5 の水平方向にロボット指を動かす。したがって、この実験ではロボット指の移動方向ベクトルとロボット指を基準とするマーカーの位置ベクトルの向きは一致していない。図 6 にマーカーの水平移動距離の時間推移を示す。図に示すように、水平移動距離は約 25mm であることが分かる。ロボット指の水平移動距離とマーカーの水平移動距離に差がみられるのは、布地の動かし方による。本実験では、ロボット指は手先の移動方向が水平になるように補間を行っている。しかしながら、本ロボット指は平面運動に対して 2 自由度しか有していないため、運動中にロボットアームの手先の角度は変化している。つまり、ロボット指の接触位置を支点として布地は回転しており、推定されるマーカーと手先の水平移動距離が異なるという結果が得られる。また、図 6 の 1s 付近で、布地が移動していることが確認できる。これは、ロボット指と布地が接触し、布地が移動したことを表している。このように、マーカーの移動距離の時間推移のデータからロボット指と布地の接触状態を把握できる可能性が示唆される。

5. まとめ

本稿では、布地の押しつけ移動操作を用いて布地の間接位置決め動作を実現するロボットシステムについて議論した。本報告では、平面 2 自由度を有するロボットアームに対して、マーカー追跡アルゴリズムを実装した。ロボット指による外乱など間接同時位置決め操作で問題となる典型的な外乱がある場合にも、正確にマーカーが検出できるように、パーティクルフィルタとラベリング処理を組み合わせることを試みた。実験を通して、(1) 操作するロボット指など、マーカーに対して比較的大きな外乱が画像中にある場合でもマーカーを追跡することができる、(2) マーカーの移動距離の時間推移から、ロボット指と布地の接触状態を把握できる可能性があることが示された。

謝辞

本研究の一部は、古川技術振興財団研究助成金（平成 24 年度）により成されたものである。ここに謝意を表す。

参考文献

- (1) 柴田瑞穂, 太田剛土, 平井慎一, “摘み滑り動作を利用した布地の展開動作”, 日本ロボット学会誌, Vol.27, No.9,(2009), pp.67-74
- (2) S. Hirai, and T. Wada: “Indirect Simultaneous Positioning of Deformable Objects with Multi Pinching Fingers Based on Uncertain Model”, Robotica, Vol.18, Issue 1, (2000), pp.3-11
- (3) M. Shibata, T. Ota, and S. Hirai, “Wiping Motion for Deformable Object Handling”, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, (2009), pp.134-139
- (4) 相山康道, 稲葉雅幸, 井上博允, “グラスプレス・マニピュレーションの研究: 操作形態の分類とピボット操作の実現”, 日本ロボット学会誌, Vol. 14, No. 1, (1996),pp.114-121
- (5) M. Isard, A. Blake, “CONDENSATION-Conditional Density Propagation for Visual Tracking”, Int. Journal of Computer Vision, Vol.29, No.1, (1998),pp.5-29
- (6) M. Shibata, “Marker Tracking for Indirect Positioning During Fabric Manipulation”, The 3rd Int. Conf. on Intelligent Robotics, Automations, Telecommunication facilities, and applications, (2013),pp.889-896