

ロボットによる洗濯物の後片付け作業に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/16710

氏 名	大澤 文明
学 位 の 種 類	博士 (工学)
学 位 記 番 号	博甲第 688 号
学位授与の日付	平成 16 年 9 月 30 日
学位授与の要件	課程博士 (学位規則第 4 条第 1 項)
学位授与の題目	ロボットによる洗濯物の後片付け作業に関する研究
論文審査委員 (主査)	関 啓明 (自然科学研究科・助教授)
論文審査委員 (副査)	神谷 好承 (自然科学研究科・教授), 新宅 救徳 (自然科学研究科・教授) 喜成 年泰 (自然科学研究科・助教授), 浅川 直紀 (自然科学研究科・助教授)

学 位 論 文 要 旨

The works of a home robot has the laundering task. The purpose of this study is automating the putting away of laundry (after clothes are taken out from the drier). In this paper, we develop a mechanical hand which can grasp the surface and the rim of washed clothes placed on the table. We examine to picking up a piece of clothes from a pile and tucking up its rim. Next, this paper introduced a method for spreading out and sorting crumpled clothes. In this method, clothes can be categorized to a small number of shapes by grasping the lowest points of clothes and changing the grasping points several times using two manipulators. So it is easy for robot to be recognized. Using the manipulators and image processing eight kinds of clothes could be spread out and sorted successfully. Thirdly, we present a realistic folding system for the clothes by a robot and tools. The function of a tool is folding the clothes in half by inserting the clothes using two plates. This system can fold the clothes in a target position by a robot positions the clothes on the tool's table. It is possible that reliable fold various kinds of clothes. The effectiveness of the folding system is shown through experimental results.

1. 緒言

現在、我が国における高齢者・身障者数は、年々増加の傾向にある。さらに、近年の少子化による若年労働力の不足によって、深刻な看護・介護者不足が懸念されている。今後、独居高齢者や障害者が、家庭内で自立的生活を可能とし、健常者とともに社会環境の中で共生していくためには、生活支援が必要である。また、介護側にとっても介護と家事などの両立は肉体的・精神的負担が大きい。さらに介護者自身が高齢者である場合も多い。そのため、これらへの支援が強く求められている。このような背景の中、人的体制の整備が国家的課題であるとともに、日常生活において人の暮らしを支援するホームロボットの実現が有効である。

本研究の目的は、ホームロボットにより洗濯物後片付け作業の自動化を実現することである。これにより、独居高齢者・障害者および介護者の家事作業の肉体的負担を軽減することができる。また、介護者不足の介護福祉施設において定型作業の自動化への応用も期待できる。

本研究では、ホームロボットによる洗濯物後片付け作業の自動化を目標とし、技術的課題の解決を試みた。

2. 洗濯物の後片付け作業概要

洗濯物の後片付け作業は、家電製品により既に自動化されている洗濯・乾燥後の乾いた衣類を対象としたものであり、(a):洗濯物の一枚把持、(b):展開、(c):折り畳み、(d):収納、という部分作業で構成されるものとした。このうち、本論文では、洗濯物を把持するハンドを開発した。さらに、ロボットによる衣類の展開・分類、折り畳みの作業方策を提案し、実機による作業の自動化を実現した。

3. 布地把持用ハンドの開発

ロボットが布地を扱い作業を行うには、布地を確実に把持できるロボットハンドの開発が必要である。洗

濯・乾燥後の各種洗濯物の後片付け作業を対象とし、そこで必要とされる布地把握用ハンドを提案する。

3.1 ロボットによる布地操作の把持位置

布地の把持位置は、一枚分離把持では、布地表面をつまみ把持する操作が必要になる。一方、整形、折り畳みなどの平面操作においては、布地を拡げる操作が基本になるため、布地の縁の把持が必要になる。このように、布地の表面部と縁の安定把握は、各小作業において重要である。

3.2 指先に回転自由度と爪を有するハンド

3.2.1 ハンドの機構と機能

布地把持に必要なハンドの基本動作は、布地をつまみ把持するための布地表面の手繰り寄せ操作と布地の縁を把持するための爪のめくり動作の2つである。これらの機能を同時に満たすために Fig.1 に示す布地用ハンドを開発した。このハンドは、2 指平行ハンドの指先に回転機構と人の爪に相当する機能を付加したものである。本ハンドは人の指先の腹部および爪先部をそれぞれ回転体の表面部と回転体表面から伸び縮みする爪において置換したものである。人の手繰り寄せ操作は、布地表面に回転体を押し付け巻き込み方向へ回転させることにより実現できる。また、回転体表面から爪を伸ばし布地の縁にひっかけた状態で回転機駆動することで布地の縁をめくり上げて把持することが可能である。

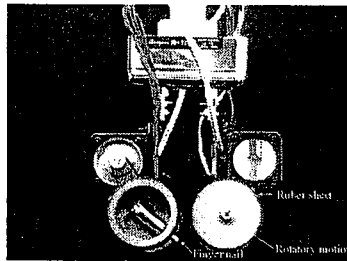


Fig.1 Robotic hand with a rotation mechanism and a finger nail

3.2.2 把握方法

布地表面部の把持方法は、ハンドを閉塞した状態で回転機構を回転させ布地を巻き込み把握する。布地縁の把持方法は、回転体の表面より爪を伸ばした状態で爪を布の縁に接触させ、回転体を巻き込み方向へ駆動することにより縁を捲り上げる。その後、ハンドを閉塞することにより布の縁を把持する。

4. 衣類の展開・分類作業

実際のロボットによる作業の自動化を想定し、洗濯・乾燥後の各種洗濯物を展開・分類する手法を提案する。本手法は、2 本のロボットアームを用いて洗濯物を拡げながら、かつ種類を分類するものである。

4.1 持ち替えによる展開・分類手法の提案

4.1.1 システム構成

衣類の展開・分類システムは、衣類を操作するための 2 台の 5 自由度マニピュレータと、アームで吊り下げられた衣類の濃淡画像 (512×480 画素) を取得するための 1 台の CCD カメラで構成される。カメラから入力された画像は、画像処理ボードを用いて処理される。

4.1.2 展開・分類手法の概要

衣類の形状は、折れや皺などにより多種多様に変化する。そのため、ロボットアームによる衣類の展開および形状認識は容易ではない。例えば、衣類が塊状の場合は、その状態のまま形状認識するのは困難である。

提案手法の概要を Fig.2 に示す。本手法は、吊り下げた衣類の最下点がコーナとなる可能性が極めて高いことを利用し、この最下点を 2 本のアームで持ち替えて拡げることで形状を収束・展開する。分類は、2 点のコーナを徐々に拡げながらそのときの吊り下げ形状を形状認識することによって行う。

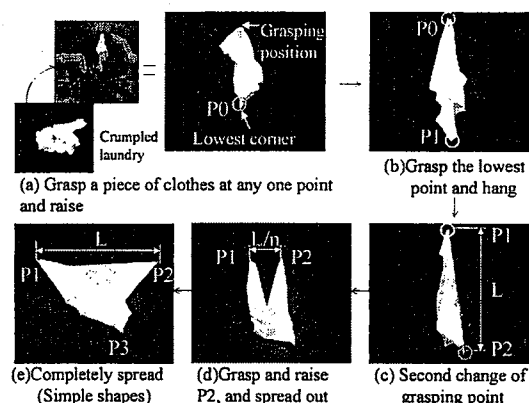


Fig. 2 Outline of proposed method

4.2 最下点の持ち替えによる展開作業

4.2.1 持ち替えによる形状の遷移

半袖シャツを例とし、最下点を持ち替えた後に、2点を把持し上げたときの収束形状の遷移を Fig.3 に示す。はじめに、任意点を把持し吊り下げると、最下点 P0 は a 点から h 点の何れかのコーナになる。これらの点を持ち替え上げると最終的に A, B, C の形状に収束する。展開が未完了の A, B の形状は、このときの最下点と把持している2点の何れかをさらに持ち替え上げると C, D, E の形状に展開できる。他の衣類についても収束形状を整理した結果、少数のパターンに簡素化できることが分かった。

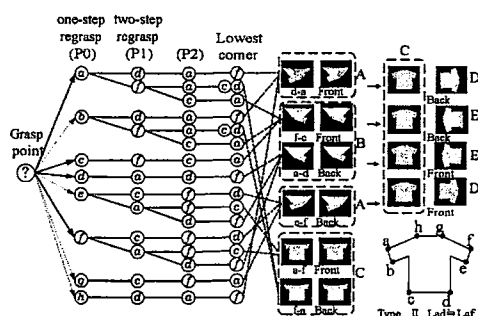


Fig.3 Transition diagram of the shapes by proposed method

n=S		No	L/S	2L/5	3L/5	4L/5	L
Short-sleeve shirt	Type I	1					
	Type I	2					
	Type II	3					
	Type II	4					
	Type II	5					
Long sleeve shirt		6					
Trousers		7					
...		...	...	...	...	...	...
Handkerchief		13					

Fig.4 Templates images at each hanging width

4.3 拡げる過程の変化形状による分類

4.3.1 拡げる過程の変化形状による形状認識

収束形状には、異なる種類の衣類であっても形状が類似するものがある。そこで分類は、この収束形状のみではなく拡げる途中の形状も認識する。Fig.4 に衣類を一定の間隔で拡げたときの吊り下げ形状を示す。分類は、Fig.4 のモデル形状をテンプレート画像とし、ロボットアームで衣類を徐々に拡げながら、そのときの吊り下げ形状とテンプレート画像との正規化相関値 r を求める。各吊り下げ幅ごとの正規化相関値を r 、重み係数を ω とすると、分類のための評価関数 J は次式となる。 m は拡げる段階数を示し、 $m=5$ とする。

$$J^{(No)} = \sum_{k=1}^m \omega_k \cdot r_k^{(No)} \quad (1)$$

4.3.2 分類実験

半袖シャツを対象とし、吊り下げ幅が最大 L になるまで L/5 づつ拡げたときの各吊り下げ幅ごとのモデル形状との相関を Fig.5 に示す。このときの分類評価関数 J の値を Fig.6 に示す。これより、衣類を拡げる途中の形状を認識することが分類に有効であることが分かる。各種衣類に対して同様に分類実験をした結果、90%以上の認識率が得られた。

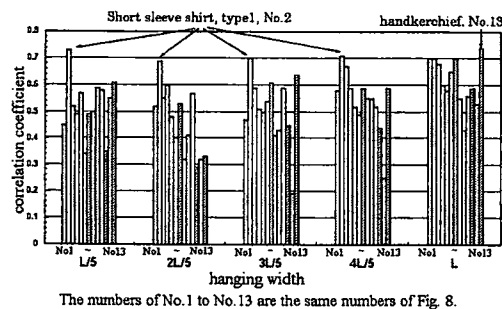


Fig.5 Correlation value for each item at each hanging width

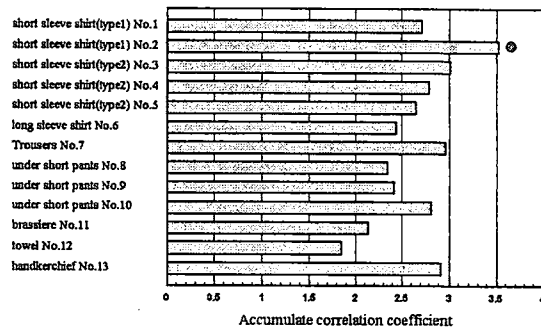


Fig.6 The accumulated correlation value

4. 衣類の折り畳み作業

4.1 システムの基本概念と構成

衣類の折り畳みシステムのご概念とシステム構成を Fig.7,8 に示す。ロボットと道具が協調動作することにより衣類を折り畳む。道具の機能は、2枚の板の片側が水平な位置から回転することによりその場で衣類を折り曲げて二つ折りにするものである。ロボットが行う作業は、道具の板の上にある衣類を並進・回転移動させて折り畳みたい位置に折り目を位置決めするだけである。この移動の途中で、衣類にしわや変形が生じるのを抑えなければならない。そこで、位置決め操作を補助する平らな板（以下、位置決め板と称す）を衣類の上ののせて移動させる方法をとる。

折り畳みシステムは、2台の5自由度ロボットマニピュレータと道具および位置決め板で構成される。道具の上にある板は、固定され動かない板（以下、固定台と称す）と回転する板（以下、回転板と称す）からなる。回転板は、ステッピングモータ（0.1°/STEP、最大トルク 3.0N・m）により水平な位置から 180° まで回転させることができる。なお、回転板が水平な位置にあるときは、固定台と回転板の境界には、段差や隙間はない。

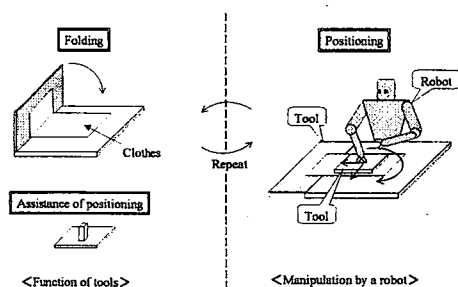


Fig.7 The concept of folding system

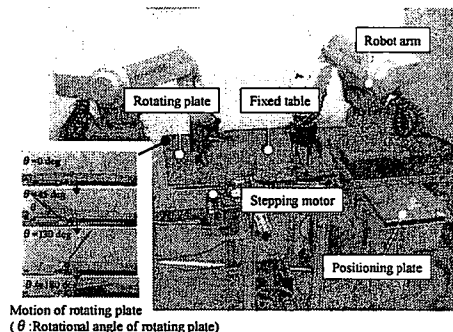


Fig.8 Folding system

4.2 本システムの利点

ロボット側で衣類を位置決めすることにより折り目の位置や折り畳みの手順を自由に設定できるため汎用性が高い。そのため、特定の衣類にのみ対応した従来の折り畳み専用機と異なり、家庭内のさまざまな衣類を折り畳むことができる。また、本システムの2台のマニピュレータは、ヒューマノイドロボットの両腕と考えることができるため、システムの省スペース化が期待できる。

ロボットが行う作業は、従来からロボットが得意とする位置決め作業が中心であるため、ロボットの複雑なマニピュレーションが不要である。また、道具により二つ折りされた衣類は、しわができ難く折り目も薄くて綺麗である。これらのことから、ロボットのみのシステムに比べて信頼性や実用性が高い。

4.3 折り畳み時における回転板の回転速度の決定

4.3.1 折り畳みモデルとシミュレーション

回転板の回転速度が適切な範囲にない場合には、折り目が目標の位置からずれてしまう。そこで、折り目が位置ずれしないための回転板の回転速度（回転板を駆動するステッピングモータの角速度）について調べる。

長方形の布地を二つ折りするときの力学モデルを Fig.9 のように考えた。ここで、回転板の上にある布地の質量を m_r 、固定台の上にある布地の質量を m_f 、回転板の上にある布地の長さを l_r 、回転板とその上にある布地との最大静止摩擦係数を μ_r 、固定台とその上にある布地との最大静止摩擦係数を μ_f とする。回転板の上にある布地に作用する空気抵抗 f_{ar} は、空気抵抗係数を C_d 、空気密度を ρ 、前面投影面積を A 、固定台と回転板との角度を θ とすると次式に求まる。

$$f_{air} = \int_0^{l_r} C_d A \rho \frac{(r\dot{\theta})^2}{2} dr$$

$$= K_a \dot{\theta}^2 \quad \text{ただし、} K_a = \frac{1}{6} C_d A \rho l_r^3 \text{とする} \quad (2)$$

回転板を一定の速度で回転したときに布地が上下方向に滑らない条件を次式に示す。

$$\left| m_r g \sin \theta - \frac{m_r l_r}{2} \dot{\theta}^2 \right| < \mu_r (m_r g \cos \theta + K_a \dot{\theta}^2) + \mu_t m_r g \quad (3)$$

それぞれの項は、回転板の上にある布地が重力により滑り落ちようとする力と遠心力、重力と空気抵抗により作用する摩擦力と固定台の布地に作用する摩擦力をあらわす。回転板を回転していったときに布地が最も下に滑りやすくなるのは、 $\theta=90^\circ$ のときである。また、遠心力で最も上に滑りやすくなるのは、 $\theta=0^\circ$ のときである。

そこで、折り畳み時において布地が滑らないための回転板の速度範囲は、次式に求まる。

$$\sqrt{\frac{m_r g - \mu_t m_r g}{\frac{m_r l_r}{2} + \mu_r K_a}} < \dot{\theta} < \sqrt{\frac{\mu_r m_r g + \mu_t m_r g}{\frac{m_r l_r}{2} - \mu_r K_a}} \quad (4)$$

折り目が位置ずれしないための回転板の速度について式(4)よりシミュレーションを行った。なお、空気抵抗係数 $C_d=1$ 、空気密度 $\rho=1.2\text{kg/m}^3$ とした。半袖シャツの生地とタオル生地について折り目が位置ずれしないための回転板の上限と下限の速度を Fig.9 に示す。横軸は、折り目の位置（布地の辺の長さ L に対する回転板上の布地の長さ L_f の割合 L_f/L ）である。シミュレーション結果より、回転板および固定台との摩擦係数が高い布地ほど速度の範囲が広くなり滑り難いことが分かる。また、回転板にのせる布地の割合が布地全体に比べて高いほど速度範囲が狭くなり滑りやすいことが分かる。

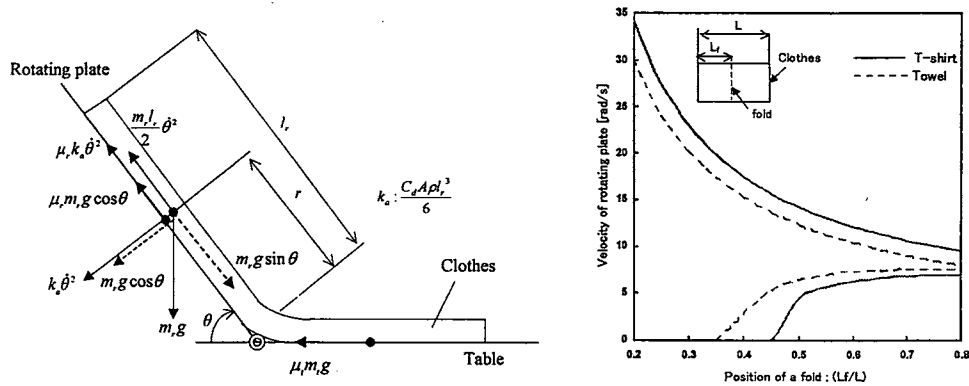


Fig.9 Simulation model and simulation results of velocity of the rotating plate using folding model
($C_d=1$, $\rho=1.2\text{kg/m}^3$, Towel: $\mu_r=0.69$, $\mu_t=0.63$, T-shirt: $\mu_r=0.88$, $\mu_t=0.81$)

4.3.2 実機による位置ずれしない回転速度の実験

実機により折り目が位置ずれしない回転速度を調べ、シミュレーションの結果と比較した。半袖シャツの生地とタオル生地の実験結果を Fig.10 に示す。その結果、シミュレーションと同じ傾向が見受けられた。そこで、他の生地に対して位置ずれしないための共通の速度範囲を検討した結果、8rad/sec から 9rad/sec 程度にすることが適切であるという結果が得られた。

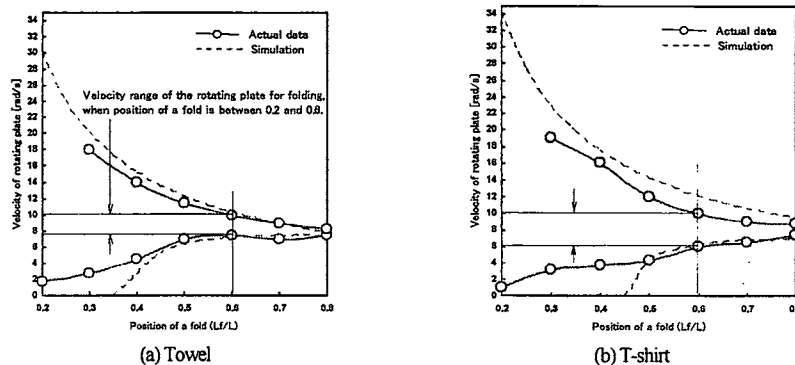


Fig.10 Experimental results of velocity of the rotating plate for folding in a target position

4.4 結 言

本研究の結論を以下に述べる。

- 1) 洗濯物後片付け作業を対象とし、各種布地の平面部と縁部の把持可能なロボットハンドを開発した。本ハンドによる布地把持のための動作手順を求め、把握実験より本ハンドの有用性を確認した。
- 2) 実際のロボットによる作業の自動化を想定し、洗濯・乾燥後の複数種類の衣類を展開・分類する手法を提案した。そして、実機による一連の作業により本手法の有用性を示した。
- 3) ロボットと道具が協調して各種衣類を自動で畳むシステムを提案した。そして、実機による一連の作業により本手法の有用性を示した。

学位論文審査結果の要旨

平成 16 年 8 月 2 日に第 1 回学位論文審査委員会を開催し、提出された学位論文の内容を詳細に検討した。さらに、平成 16 年 8 月 2 日に行われた口頭発表後に、第 2 回学位論文審査委員会を開き、協議の結果、以下のように判定した。

近年、産業用ロボットにとどまらず社会や家庭で働くホームサービスロボットの研究開発が進められている。本研究では、洗濯物の後片付け作業の自動化を目指しており、洗濯・乾燥した衣類を展開・形状分類し、折り畳むロボットシステムとそのマニピュレーション手法を提案している。衣類は形が変わりやすい柔軟物であるため、マニピュレーションや形状認識が非常に困難である。展開・分類作業は、2 台のロボットアームと CCD カメラを用いて、衣類を吊り上げては最下点を検出して吊り上げ直す動作の繰り返しにより数種類の形状パターンに収束させることで実現した。展開途中の形状の情報を活用することで認識率も上げている。折り畳み作業は、ロボットのみで行うのではなく、ロボットは板状の道具を用いて衣類の位置決めをし、その衣類を 2 つ折りにする単機能な装置と役割分担するユニークなシステムを構成することで実現している。また、台に置かれている衣類を把持しやすい、回転機構と爪を備えたグリッパの提案・開発も行っている。

以上のように、本研究は従来にない独自の、衣類を操るロボットシステムを研究・開発しており、柔軟物のマニピュレーションの見地からも多くの有用な知見を得ている。よって、本論文は博士（工学）に値するものと判定する。