

ロボットによる洗濯物の後片付け作業*

—衣類の展開と分類—

大澤 文明** 関 啓 明*** 神 谷 好 承***

Laundering Tasks Performed by a Robot
—Spreading Out and Sorting of the Clothes—

Fumiaki OSAWA, Hiroaki SEKI and Yoshitsugu KAMIYA

The purpose of our study is to find a means of putting away clean laundry using a robot. This paper presents a method of spreading out and sorting crumpled laundry by dual manipulators and image processing. Because the shape of cloth tends to change in various ways depending on the situation, it is difficult for robot hands to spread out and sort laundry. For this reason, we propose a method of grasping the lowest points of laundry and changing the grasping points several times for spreading and sorting laundry. Laundry can be categorized to a small number of shapes, and this makes it easy for robot to be recognized. Furthermore, recognition of the shapes of laundry during the spreading process allows more accurate sorting. Using the manipulators and image processing eight kinds of laundry could be spread out and sorted successfully. The effectiveness of the proposed method is shown through experimental results.

Key words: Laundry, Shapes of clothes, Spreading out, Sorting, Dual manipulators, Image processing

1. 緒 言

近年、少子高齢化・核家族化にともない、家庭用ロボットや福祉ロボットが求められている。我々も理想的には、家電製品を使用しながらさまざまな家事を支援するロボットを目指している。一方、家庭内には、紙、食品、衣類、紐、ゴムなどの柔らかく変形しやすい物体で溢れている。そのため、これらのロボットにとって柔軟物を対象とする作業は欠かせない。そこで、我々は、柔軟物操作に焦点を当てて、ロボットによる洗濯物の後片付け作業の自動化を取り上げる。布地物体は、剛体と異なりその材質や取り扱い方により形状が多種多様に变化するため、ロボットによる操作は困難である。

これまでに、布地物体の操作に関して、いくつかの研究が報告されている^{1)~5)}。しかしながら、それらは単一の布地を扱ったものであり、洗濯物のような各種布地の混在したものを対象とした研究は少ない。

我々が自動化したい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る。図1に示すように(a)洗濯・乾燥後の衣類を一枚把持して持ち上げる、(b)展開する、(c)広げたまま作業台に置く、(d)折り畳む、(e)タンスに収納する、という小作業で構成される。これらの作業に共通する技術的課題は、(A)洗濯物を把持するためのハンドの開発、(B)各小作業における器用な操り手法、(C)洗濯物の形状認識、などが挙げられる。(A)については、作業台に置かれた衣類を把持するためのデバイスが報告されている⁶⁾。濱島らは、上記ハンド⁶⁾を用いて、(a)の山積み洗濯物から一枚分離作業を実現した⁷⁾。さらに(C)について、洗濯物の2点を把持し吊り下げた形状から幾何学的特徴量を求め、3種類の洗

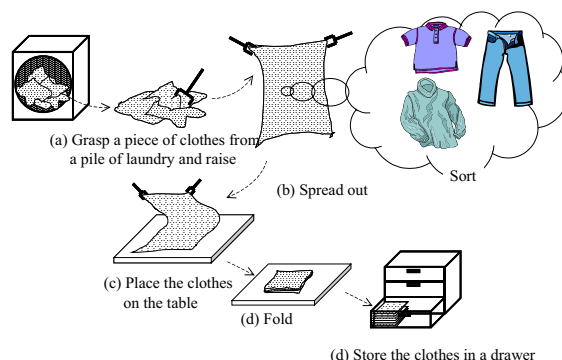


Fig.1 Laundering tasks performed by a robot

濯物（長袖シャツ、長ズボン、浴用タオル）を判別した⁸⁾。ここでは、洗濯物の縁部の把持や広げて判別するときのハンドの間隔は、人手により理想的に行われており、認識手法と制御手法の統合が検討されていない。また、把持する2点の組合せや把持間隔により吊り下げ形状が多種多様であるため、判別のための特徴量やしきい値の自動設定が難しく有効な方法がない。そのため、他の種類の洗濯物への拡張も容易ではない。

そこで、本論文では、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広げながら、かつ種類を分類するものである。展開と分類を同時に行うのは、折り畳むときに洗濯物が広げている必要があり、かつ種類が分らないと折り畳み方を決めることができないからである。なお、本論文では、洗濯物を着用する人別の分類は扱わない。この作業の自動化も重要であるが、衣類の色・柄などの多種多様な教示情報が必要となり、識別も容易でない。そのため、このような場合には、人が指示を与えて人別に分けることにする。

* 原稿受付 平成16年1月13日

** 学生会員 金沢大学大学院（金沢市小立野 2-40-20）

*** 正会員 金沢大学工学部（金沢市小立野 2-40-20）

2. 対象とする洗濯物とシステム構成

2.1 取り扱う洗濯物と初期条件

本論文で取り扱う洗濯物は、図2に示す一般家庭の代表的なものとし、これに該当しない特殊な形状や種類の場合は、洗濯前にあらかじめ人手により選別することにする。

洗濯・乾燥後の洗濯物は、購入直後とは異なりいろいろな状態が考えられる。そこで、洗濯乾燥後の衣類の状態を調べるために、一例として、大人用半袖シャツ4枚、大人用長ズボン2枚、幼児用長ズボン2枚、大人用長袖シャツ2枚、幼児用長袖シャツ2枚、浴用タオル2枚、トランクス2枚をまとめて洗濯乾燥させた。洗濯物を一枚ずつ表にして洗濯乾燥機（乾燥機能付き洗濯機）に投入した結果、表裏の混在、布地の絡まり、布と布の付着等は見受けられなかった。半袖シャツの裾部で部分的な裏返しが生じることがあったが、1点を持ち上げて上下に揺することで容易に除去できた。布のねじれは、1点を持ち上げるにより除去できる。さらに、洗濯乾燥機の技術進歩は著しく、静電気や布の絡まりを抑えるものもある。このように、あらかじめ人手により洗濯物を表にして洗濯乾燥機に投入すると、乾燥後の衣類が特殊な形状状態になることは少ない。

本論文で対象とする洗濯乾燥後の衣類は、表裏の混在、半分裏返し、布と布の付着、からまりなどの特殊な形状状態でないことを前提条件とする。

なお、洗濯乾燥前に特殊な洗濯物を選別したり洗濯物をあらかじめ表にするなど、人手の作業を完全になくすことはできないが、家庭内の主な洗濯物を対象とするため、これらの後片付け作業が省力化できれば家事作業の負担の軽減が期待できる。

2.2 システム構成

洗濯物を展開・分類するためのシステムを図3に示す。洗濯物を操るための2台の5自由度マニピュレータ（三菱電機、MOVEMASTER RV-M1）がアーム間距離950mmで対向して配置されている。作業台の上にあるCCDカメラAは、洗濯物をアームで掴み上げるときの画像取得用である。2台のアームから1200mm離れた中央の位置にあるCCDカメラBは、アームで吊り下げられた洗濯物の濃淡画像（512×480画素）を取得するためのものである。この2台のカメラから入力された画像は、画像処理ボード（日立製作所、IP5000）を用いて処理される。なお、ハンドの開閉グリッパの指には、回転機構が付加されており、布地を把持し姿勢を変えたときの把持部周辺の布のねじれを最小限に抑える。

3. 持ち替えによる展開・分類手法の提案

3.1 作業計画

洗濯物は、多種多様に折れ重なるため展開や形状認識が難しい。そこで、吊り下げられた洗濯物の最下点がコーナとなる可能性が高いことを利用し、2本のアームで、この最下点を交互に持ち替えることで一定の形状に広げて分類する手法を提案する。洗濯物を展開・分類するための作業計画を図4に示す。

- (i) 作業台の上にある洗濯物の任意の1点を把持して持ち上げる。そして、洗濯物の絡みを解すために1sec間に300mmの往復運動を行い揺する。
- (ii) 吊り下げた洗濯物の最下点を検出する。洗濯物を鉛直軸まわりに回転させて、最下点がコーナであるか否かを調べる。
- (iii) 最下点の3次元位置を算出する。ここでは、洗濯物を鉛直方向に一定距離持ち上げて移動前後の最下点の位置を画像

- で検出し、その視差によりカメラからの奥行きを計測する。
- (iv) 他方のハンドで最下点を把持して持ち替える。(ii)から(iv)の操作を1, 2回繰り返すことで、衣類の種類ごとに一定のコーナを把持することができる。

- (v) 吊り下げられた洗濯物の把持点から最下点までの距離Lを求める。
- (vi) 最下点をもう一方のハンドで把持し持ち上げ、両ハンドで2点を吊り下げる。
- (vii) 2点の吊り下げ幅が(v)のLに等しくなるまで徐々に広げる。そして、最終的な形状(b)になれば展開が終了する。洗濯物の分類は、広げる操作中に行う。広げる途中の形状もパターン認識することでより正確に分類する。

衣類の対角を持って折れ曲がっている状態(vii) (a)のものは、把持している2点P1, P2のいずれかと吊り下げられた洗濯物の最下点P3をさらに持ち替えて広げる。そのため、(viii)のように作業台上に洗濯物を一旦置いて操作する。

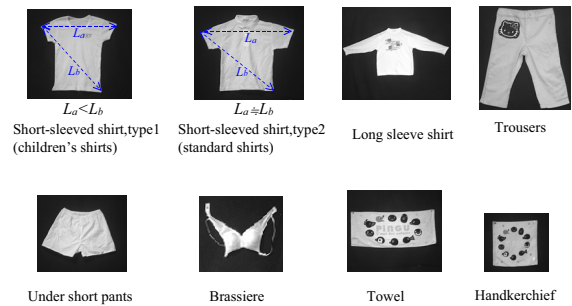


Fig.2 Target clothes

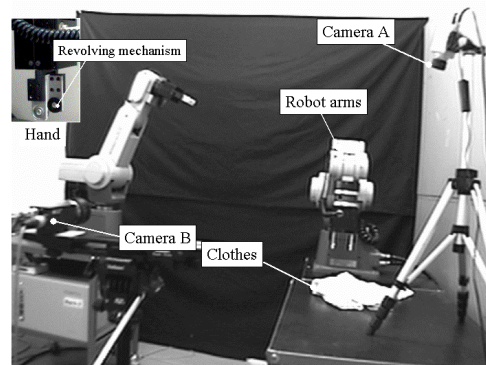


Fig.3 Robot system for spreading and sorting

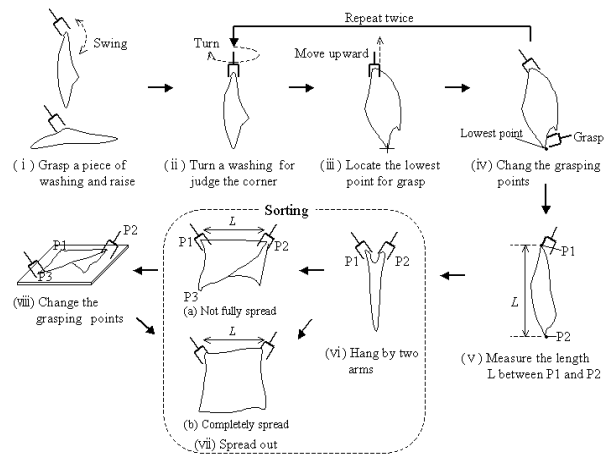


Fig.4 Planning for spreading and sorting performed by two manipulators

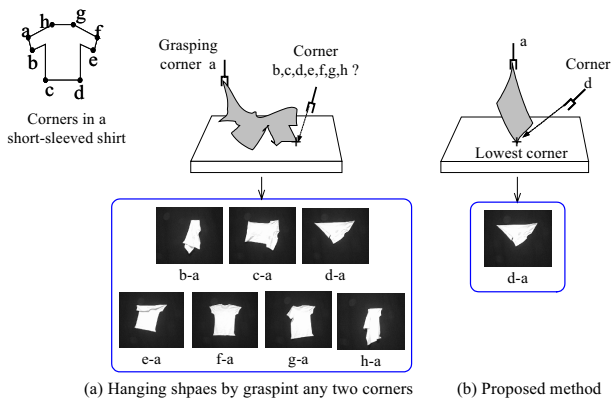


Fig.5 The number of shapes of laundry by grasping at two corners (short-sleeved shirt, type I)

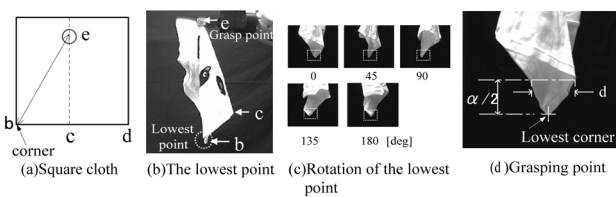


Fig.6 Detecting the lowest corner for grasp by a robot hand

3.2 本手法の利点

(1) 洗濯物を吊り下げるときの 2 点の把持位置には、任意点、縁点、コーナの選び方がある。このとき、吊り下げられた形状のパターン数は、任意点、縁点、コーナの順に少なくなる。作業台上の洗濯物から 2 点のコーナを検出して持ち上げ、そのまま形状認識する場合は、洗濯物の折れ重なりによって検出したコーナがいずれかを特定できない。そのため、洗濯物のコーナ数を n とすると、2 点の選び方は nP_2 通りとなり、吊り下げ形状の数 $x(n)$ は、次式に求まる。

$$x(n) = nP_2 - \frac{n}{2} \tag{1}$$

一方、本手法は、作業台上にある洗濯物の 2 つのコーナを最初から正確に検出し把持する必要がない。最初に洗濯物の任意点を把持し吊り下げる。このとき、最下点はいずれかのコーナになる。持ち替えによる洗濯物の形状変化を整理すると、最終的に把持する 2 点は特定のコーナとなる。そのため、上記のように任意のコーナを持ち上げた場合と比べて吊り下げ形状の数はさらに少ない。

半袖シャツ(type I)を例とし、2 点のコーナを検出し吊り下げた場合を図 5(a)に示す。半袖シャツのコーナ数が 8 であるとなると、式(1)より吊り下げ形状の数は 52 通りになる。また、コーナでない箇所を誤って検出することも考えられるため、吊り下げ形状の数はさらに多くなると推測される。一方、図 5(b)に示す本手法では、最終的に把持する 2 点は、特定のコーナになるため吊り下げ形状の数を 2 通りに限定できる。

(2) 本手法は、拡げてしまった最後の形状のみを認識するのではなく、途中の形状も認識することにより、最終的に拡げたときの形状が似た衣類であっても分類することができる。

4. 最下点の持ち替えによる展開作業

4.1 最下点とコーナの関係

任意の 1 点を把持し吊り下げたときの最下点は、把持点から最も遠い点になる。つまり最下点は、コーナである可能性が極めて高い。図 6(a)に正方形のタオルの例を示す。ここで、a 点から c 点を結ぶ中心線上の e 点を把持し吊り下げるとする。このときの吊り下げ形状は、図 6(b)のようになり、最下点は e 点から最も遠い b 点と d 点のコーナになる。もし布地が変形しなければ、最下点は b 点から d 点を結ぶ縁になる。このような場合はそもそも少ないが、中心線からずれた点を把持し吊り下げれば、最下点はコーナになる。

4.2 最下点のコーナ判定と把持方法

吊り下げられた洗濯物の最下点がコーナであるか否かを調べれば、本手法の信頼性は向上する。最下点のコーナ判定は、図 6(c)に示すように吊り下げた洗濯物を 45° の間隔で 180° まで回転させて、真横から CCD カメラで撮影する。そして、最下点付近の輪郭の曲率を計算し、曲率があまり変化しない場合には、コーナでない判断する。そのときは、最下点に近い曲率の大きな輪郭点をコーナとみなして把持する。

最下点の把持は、グリッパの指の中心点を最下点まで移動して把握する。把持側のロボットアームから見た最下点を図 6(d)に示す。グリッパの指の縦幅を α とすると、最下点から $\alpha/2$ だけ上の位置において布地の横幅 d がグリッパの最大開閉幅以内に収まれば把持できる。そのため、コーナ判定と同様に吊り下げた洗濯物を回転させながら、横幅 d が狭いところで回転を止めて把握する。なお、二つ以上の最下点が接近して存在する場合は極めて稀であるが、この場合には、複数点の把握を避けるため、一旦、作業台へ置き異なる点を把持して再び吊り下げる。

4.3 持ち替えによる形状の遷移

最下点の持ち替えによる洗濯物の形状遷移について、半袖シャツ(type II)を例に述べる。図 7 は、各コーナを把持し吊り下げたときの最下点を示す。図 8 は、最下点を持ち替えた後に、2 点を把持して拡げたときの収束形状の遷移を示す。なお、半袖シャツの各コーナは、図 7, 8 に付記するとおりである。

はじめに、任意点を把持し吊り下げると、最下点 P_0 は a 点から h 点の何れかになる。ここで、最下点が a 点であるとする。この a 点を他方のハンドで持ち替えると、最下点は d 点または f 点となる。ここで、d 点をもう一方のハンドで持ち替えたとなると、最下点は a 点となる。そして、他方のハンドで最下点の a 点を把持し持ち上げ、d 点と a 点を把持したまま最大に拡げると、図 8 に示す形状 A に収束する。同様にして、全ての組合せについてまとめると、図 8 に示す A, B, C の三つの形状に収束する。この収束形状のなかで、展開が完了していない A, B 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拡げると C, D, E の形状に展開できる。

なお、図 8 に示すように最初の最下点 P_0 が a 点、c 点、d 点、f 点の場合には一回の持ち替えのみで形状が収束する。なぜなら、持ち替えた後の最下点 P_2 が同じ点に戻るからである。しかも、b 点、e 点、g 点、h 点が把持点から最も遠くなる条件は少ない。そのため、同時に複数点を把持しない限り、最初の最下点は a 点、c 点、d 点、f 点となり、一回の持ち替えで十分である。

4.4 各種洗濯物の収束形状

図 3 の各種洗濯物の収束形状を図 9 にまとめた。これより、半袖シャツ(type I)は 2 種類、半袖シャツ(type II)は 3 種類、長袖

シャツと長ズボンおよびブラジャー、浴用タオル、ハンカチは1種類、トランクスは3種類の形状となり、極めて少数のパターンに収束することが分かる。なお、この収束形状は、吊り下げ幅を最大に広げたときのものである。

洗濯物の分類は、この収束形状を形状認識することにより容易になる。また、洗濯物を広げたときに展開途中であるか否かは、図9のいずれの形状に収束しているかで分かる。つまり、半袖シャツ (Type II) であれば No.5 のときは完全に展開されているが、No.3 と No.4 のときは展開途中であると判断できる。

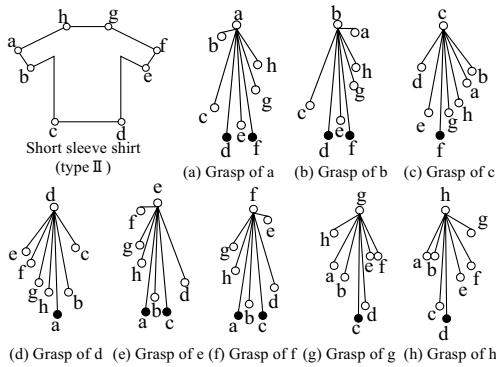


Fig.7 The lowest points when a corner is grasped (short-sleeved shirt , type II)

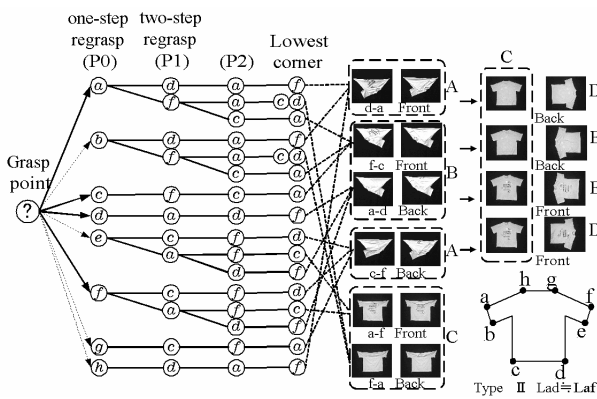


Fig.8 State transition diagram of the shapes by proposed method (short -sleeved shirt , type II)

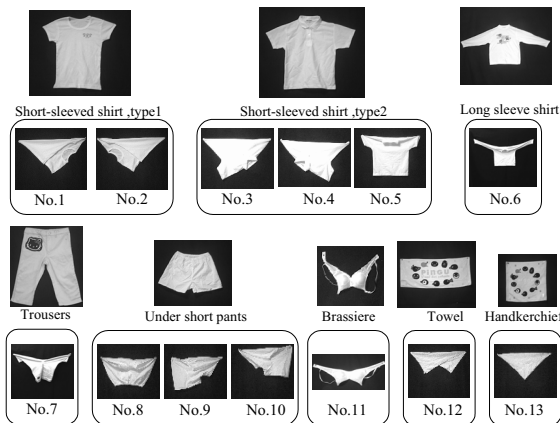


Fig.9 The final patterns of shapes when the items are spread out

n=5		No	L/5	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.10 Template images of the model patterns at each hanging width

5. 広げる過程の変化形状による分類

5.1 広げる過程の変化形状による形状認識

収束形状のなかには、類似した形状が存在する。例えば図9に示すNo.1とNo.2の半袖シャツ (type I) とNo.13のハンカチや、No.6の長袖シャツとNo.7の長ズボンなどである。そのため、洗濯物を分類するには、この収束形状のみを形状認識したのでは十分ではない。

そこで、図10に示す収束形状に至るまでの広げる途中の形状に着目してみる。これは、特定の洗濯物 (大きく際立った柄のない衣類) を用意し、人手により吊り下げ幅を一定間隔で広げながらそれぞれ5つ作成したものである。なお、形状のNo.1からNo.13は、図9に示す8種類13形状のNo1からNo13に対応している。ここで、図9に示す収束形状が類似する洗濯物に着目すると、吊り下げ幅がL/5から4L/5の間で形状が異なるのが分かる。これは、広げる過程の変化形状には、広げた後では抽出できない隠れた形状情報が存在することを示している。

分類は、図10のモデル形状をテンプレート画像とし、ロボットアームで洗濯物の吊り下げ幅を徐々に広げながら、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を求める。総画素数Nのテンプレート画像及び対象画像の明度列をそれぞれ f_n 、 g_n とすると、相関値は次式で表わされる。

$$r = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} (f_n - \bar{f})(g_n - \bar{g})}{\sqrt{\sum_{n=0}^{N-1} (f_n - \bar{f})^2} \sqrt{\sum_{n=0}^{N-1} (g_n - \bar{g})^2}} \quad \bar{f}, \bar{g}: \text{平均値} \quad (2)$$

このとき、テンプレートの探索領域は、切り出された対象より少し広くし、領域内で最大の相関値を採用する。これは、ロボットハンドによる把持位置のずれなどの影響を抑えるためである。なお、テンプレートは、対象の大きさに合わせて縦・横方向へ拡大・縮小する。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。

$$J^{(l)} = \sum_{k=1}^m \omega_k \cdot r_k^{(l)} \quad (l=1,2,\dots,13) \quad (3)$$

各吊り下げ幅ごとの相関値 r に重み係数 ω を乗算して累積した値が最大になるモデル形状を求める。ここで、 m は広げる段階数を示し、 $m=5$ とする。1はモデル形状Noを示す。なお、本論文では、重み係数 ω を均等にし、一枚ずつ取り出した洗濯物をいずれかの種類に分類する。

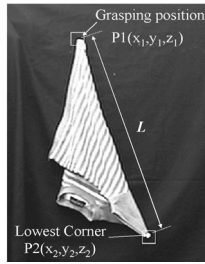


Fig.11 Standardization of hanging width for different sizes

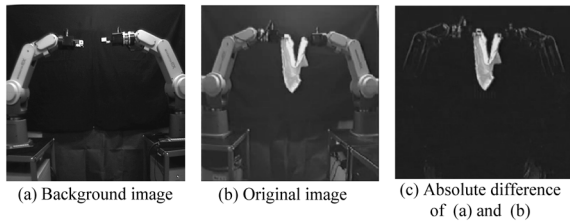


Fig.12 Extraction of a target object

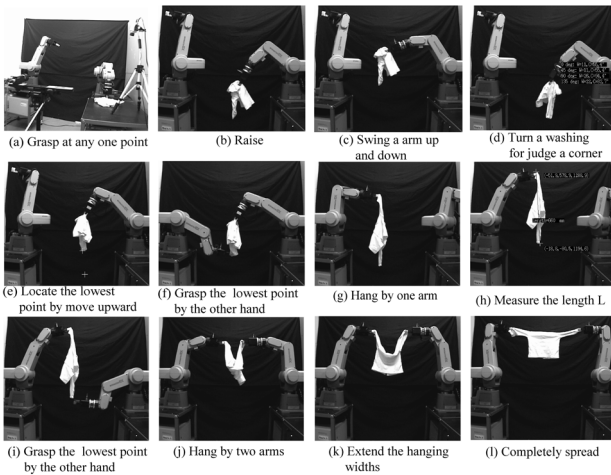


Fig.13 Experimental results of spreading out

5.2 大きさの異なる洗濯物の吊り下げ形状の正規化

本手法では、サイズの異なる洗濯物の吊り下げ形状を正規化するために、洗濯物の大きさに応じて吊り下げ幅を自動調整する。半袖シャツのコーナを把持し吊り下げた様子を図11に示す。このとき、把持点と最下点の距離を L とすると、2 点を把持して吊り下げたときの把持幅が L になるまで、順次変化させる。これにより、吊り下げ形状が洗濯物の大きさの影響を受けることはない。

5.3 吊り下げ形状の抽出

アームで吊り下げた洗濯物を抽出する方法を図12に示す。図12(a)に示すロボットアームを含む背景画像をハンドの移動量 10 mm ごと用意しておく。そして、図12(b)に示す実際のハンドの移動量に最も近い背景画像をその中から選び、図12(c)に示す差分絶対値を求める。さらに、この画像を二値化処理した後にラベル付けを行い、各ラベルの面積と重心位置を計測する。重心が画面の中央付近にあり、かつ一定の面積以上のラベルを対象として抽出する。

6. 展開・分類作業実験

6.1 展開作業実験

本手法の有用性を確認するため、実機により一連の展開作業を行った。長袖シャツ(幼児用 80 cm)を対象とした作業の様子を図13に示す。なお、本実験は、室内の蛍光灯下で行った。

図13(d)は、洗濯物を 180° 回転させて最下点のコーナ判定と把持方向を決めている。なお、この操作は、本実験で用いたアームの可動範囲の制約から、これ以降は省略した。図13(e)は、洗濯物を上方に 200 mm 移動させ、最下点の把持位置を算出している。最下点を検出は、洗濯物の揺れが静止した後にを行うが、本実験では、待ち時間を 7 sec に設定した。図13(j)から(l)は、拡げて展開している様子を示す。実験の結果、塊状の長袖シャツを展開することができた。さらに、図2の他の洗濯物についても同様に実験を行い、ねじれや部分的裏返しが生ずることなく形状の収束・展開ができた。

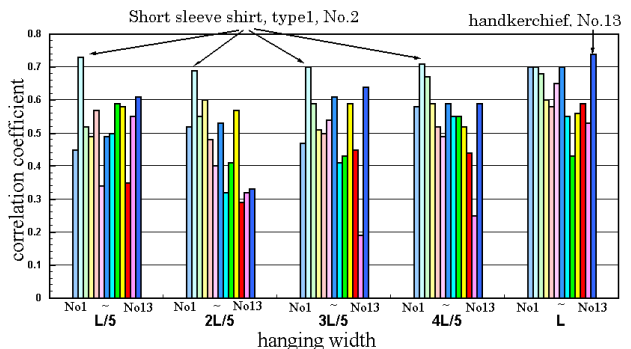
ただし、いくつかの問題点も挙げられる。たとえば、最下点の付近に陰影がある場合などは、最下点の位置を誤って検出することがある。これは、下方より赤色LED照明光を最下点の付近に照射することで陰影を除去した。また、2本のアームで洗濯物を吊り下げたときに、洗濯物が絡み合い、形状が複雑になることがごく稀にあった。視覚情報からこれらの状態を検出し、アームで取り除く方法を検討する必要がある。

なお、本実験で要した作業時間は 130 sec であった。他の衣類についてもおよそ1分から2分程度であった。たとえば、ここでは、衣類を移動させて1台のカメラで最下点の3次元位置を計測したが、移動させずに2台のカメラでステレオ計測することで作業時間を短縮できる。

6.2 分類作業実験

本手法の有用性を確認するために、図2、図9に示す8種類13形状の洗濯物の分類実験を行った。分類の評価関数 J の重み係数 ω はすべて1とし、取り出した一枚の洗濯物をいずれかの種類に分類した。

半袖シャツ(type I :No.2)を対象とし、吊り下げ幅が最大 L になるまで $L/5$ づつ広げたときの各吊り下げ幅ごとのモデル形状との相関を図14に示す。吊り下げ幅が最大 L のときは、ハンカチ(No.13)のモデル形状との相関が最大であったが、吊り下げ幅が $L/5$ から $4L/5$ の間では、いずれも半袖シャツ(type I :No.2)のモデル形状との相関が最大であった。分類評価関数 J の値を図15に示す。その結果、半袖シャツ(type I :No.2)のモデル形状が最大であった。これより、洗濯物を広げながら変化する形状をパターン認識することが分類に有効であることを確認できた。



The numbers of No.1 to No.13 are the same numbers of Fig. 8.

Fig.14 Corresponding value for each spread interval

(No.2,Short-sleeved shirt: type I)

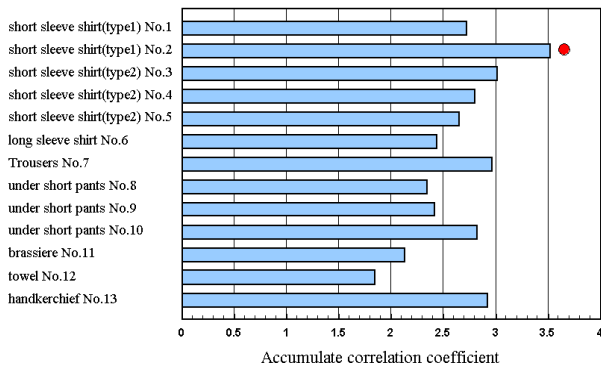


Fig.15 Accumulated corresponding value

Table 1 Recognition rate

Clothes	Recognition rate
Short sleeves shirt, type1	47/50
Short sleeves shirt, type2	50/50
Long sleeves shirt	50/50
Trousers	49/50
Under short pants	48/50
Brassiere	47/50
Towel (rectangle)	50/50
Handkerchief (square)	46/50

分類の結果を表 1 に示す。なお、ここでの対象は、モデル形状を作成したものと同じの洗濯物である。実験の結果、各種洗濯物の分類において高い認識率が得られた。さらに、大きさの異なる半袖シャツと長袖シャツおよび長ズボン、トランクスに対しても同様に実験を行い、上記同様に高い認識率が得られた。

本実験では、濃淡画像により正規化相関を行ったため、単色の洗濯物の認識やノイズ、一様な明度変化の影響を低減できる。一方、特に大きく際立つ柄ものの洗濯物は、相関が若干低くなることがあるが、これへの対応も今後検討したい。

7. 結 論

本論文では、ロボットにより洗濯物を展開・分類する手法を

提案した。以下に結論を要約する。

- (1) 吊り下げた洗濯物の最下点を 2 本のロボットアームで持ち替え、広げることで洗濯物の形状を収束・展開できる。この収束形状は少数に限定されるため、分類のためのモデル形状が簡素化され、分類が容易になる。
- (2) 広げる過程の変化形状には、広げてしまえば抽出できない隠れた形状情報が存在する。この変化形状を認識することにより類似形状の分類が可能となる。
- (3) 2 点の吊り下げ幅を調整し形状を正規化できるため、サイズの異なる洗濯物の展開・分類が可能である。
- (4) 2 本のロボットアームと視覚情報により洗濯物の展開・分類作業の自動化を実現した。

本システムでは、柄物の衣類への対応や操作中の失敗に対する確認を行っていない。今後の課題は、視覚情報を用いてこれらの作業の自動化を行うことである。

参 考 文 献

- 1) Paul.M.Taylor, Sensory Robotics for the Handling of Limp Materials, Springer-Verlag, (1990),141.
- 2) 小野栄一・喜多伸之・坂根茂幸, 視覚を用いた輪郭情報に基づく折れ重なった布地の展開, 日本ロボット学会誌, **15**, 2, (1997), 275.
- 3) 小野栄一, 布のマニピュレーション, 日本ロボット学会誌, **16**, 2, (1998), 149.
- 4) E.Torgerson and F.W. Paul: Vision Guided Robotic Fabric Manipulation for Apparel Manufacturing, Proc. 1987 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, **2**, (1987) 1196.
- 5) K. Paraschidis, et al.: A Robotic System for Handling Textile Materials, Proc. 1995 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation. **3**, (1995) 1769.
- 6) 蒲谷崇・柿倉正義, 布地物体のハンドリングに関する研究, 機論, **64**, 620, C(1998),240.
- 7) 濱島京子・柿倉正義, 布地物体展開手順のプランニング, 機論, **63**, 607, C(1997),333.
- 8) 濱島京子・柿倉正義, 布地物体展開手順のプランニング (布地物体の種類判別), 機論, **65**, 636, C(1999), 228.