解 説

乱雑に積層された洗濯物ハンドリングシステムの開発

Development of Handling System for Randomly Piled Washing Clothes

秦 清 治^{*1} 北 條 博 崇^{*2} ^{*1}香川大学工学部 ^{*2}(株) プレックス
 Seiji Hata^{*1} and Hiroataka Hojo^{*2} ^{*1}Faculty of Engineering, Kagawa University ^{*2}PUREX Co. Ltd.

1. は じ め に

ロボットの導入が望まれながら実現していない作業に、植物や布製品などの柔軟物のハンドリング作業がある。これらの対象は、工業製品とは違って、事前に形や姿勢が規定できず、把持も困難であるために、ロボット化が進まなかった。このため、ホテルや病院にタオルやシーツを貸し出すリネンサプライ事業の洗濯工場では、洗濯工程やアイロン掛け、折り畳みを行う仕上げ工程のほとんどの作業が自動化されていないが、トラックで運ばれた洗濯物の洗濯ラインへの投入と、洗濯・半乾燥が終わった洗濯物を一枚一枚取り上げて、仕上げラインへ投入する投入作業については、自動化できなかった。このため図1に示すように、一番人手を要する工程となっている。しかし、洗濯物の投入作業環境は熱や塵埃のため良いとは言えず、労働力不足となることが懸念されている。そこで、ロボットによる洗濯物ハンドリングシステムを開発し、洗濯・仕上げラインの一貫自動化を目指すことになった。その第1段階として、定型洗濯物の仕上げライン投入作業のロボット化を行ったものが、本報告である。

2. 洗濯物投入作業の分析とハンドリング手順の構築

これまで布ハンドリングに対しては、ハンドリングの原則が与えられておらず、それが自動化を妨げていた。ここでは、作業者の布ハンドリング作業を分析、図2に示すように、本作業が(a) 積層された布の山から1枚を分離・取り出すこと、(b) 布の一つのコーナを認識、把持すること、(c) 布の一边を認識し、辺として把持すること、の3ステップからなることを見い出した。しかし、これを実用的なシステムとして、迅速・確実で、実現可能なコストで構築するためには、置き方や形状の定まらない柔軟な布を1枚分

図1 リネンサプライ業の洗濯工場

図2 定型洗濯物ライン投入作業

離して取り出し、自由度を拘束、把持する技術の整理が必要である。

まず、布の位置決めについて検討する。布ハンドリングにおいては、自動機は、コンベア上に広げられた布に、アイロン掛け、検査、折り畳みなどの各工程の作業を実施する。したがって、コンベアの上に、方向にそって整列することが位置決めとなる。これは、図2のステップ(c)のように、二つのコーナを把持して布の一边を抽出、装置に装着することで実現できる。これが布を自由にハンドリングするための位置決めである。

ところで、一般に積層された布から一つのコーナを抽出することは困難である。従来の自動機の経験からは、布の分離やコーナの取り出しには、自由に落下させる、布の一部を把持して、自由に垂れ下がらせ、図3のように布の下端をコーナとして抽出する、などの方法が有効であることが分かっている。このように布のコーナの抽出には、布を自由な状態や、多少の拘束を与えた状態で行う、布の性質を考えながら、強制的に抽出する、などの方法がある。こ

原稿受付 2009年7月6日

キーワード: Robot Application, Handling System, Vision System, Cloth, Laundry Plant

^{*1}〒761-0396 高松市林町 2217-20^{*2}〒761-8555 高松市鶴市町 949-1^{*1}Takamatsu-shi, Kagawa^{*2}Takamatsu-shi, Kagawa

図3 垂れ下がった布の最下端

図4 ハンドリング手順と機構

れらを組み合わせた検討を行い、(a)～(c)の各ステップを確実に実行できる方式を立案した。

立案したハンドリング手順を、図4に示す。

工程1：積層された山から1枚の布を分離、取り出す。全体視覚センサで、最上位の布位置を検出し、ロボットが把持して取り上げる。

工程2：布のコーナの一つを把持する準備として、布の端付近を掴んで、斜めスライダのチャックに渡す。端付近を取り出すために、工程1で把持したロボットが、コンベア上で布の裾を垂らして引っ張り、そこで出てきた一端をロボットが掴んで、スライダチャックに移す。

工程3：スライダに沿って斜めに引き上げながら、姿勢補正バーを通過させ、布のコーナを三角状に出現させる。そして、精細視覚センサでコーナ部の空間位置、姿勢を検出する。

工程4：図5の辺保持ハンド装着ロボットで、コーナ下端の一边を、その方向に沿って把持する。そして、たぐり補正サブシステムに移動、布角度を補正しながら排出コンベアに乗せる。

以上の工程からなる定型洗濯物仕上げライン投入システムを開発した。システム構成を図6に示す。構成要素として、全体視覚センサ、詳細視覚センサと、つまみピンつき平行リンクフィンガーハンド、簡易たぐり辺保持ハンドを開発、2台のロボットと周辺機器を組み合わせた。

図5 簡易たぐり辺保持ハンド

図6 定型洗濯物仕上ライン投入システムの構成

3. 三次元ステレオ視覚センサの開発

布のような、高度に柔軟で不定形で、位置・姿勢も定まらない物体を取り扱うためには、ロボットの把持位置や布の置かれている形状を測定する三次元的な視覚センサが不可欠である。リネンサプライ業で扱う布の多くは、模様がなく一様な色であるため、ステレオ方式での視覚センサでは計測困難だが、個々の布表面の連続性は保たれている。そこで投影パターン対応付けによるステレオ視覚センサとして、積層洗濯物の全体形状を計測する全体視覚センサと、コーナ付近の把持位置、姿勢を正確に計測する詳細視覚センサを開発した。センサの外観を図7に示す。

本視覚センサの特徴は、2台のステレオカメラの撮像面、対物レンズの平行度を保ちながら、レンズ中心を中央にシフト、視差を得ながら同一エリアを撮像するように工夫した、あおり光学系の採用である。これにより、左右画像での遠近ひずみを防止し、近傍物体計測の際のステレオマッチングの精度・安定度を向上した。

また、ステレオ対応を取るための投影パターンとしては、図8のように調密な格子パターンに素位置決め用のドットパターンを配置した。

図7 プロジェクタ付ステレオ視覚センサ

図8 積層された布へのパターン投影

4. 視覚センサアルゴリズム

洗濯物の置かれた形状やぶら下がった状態を計測する認識アルゴリズムには、全体視覚アルゴリズムと精細視覚アルゴリズムがある。全体視覚アルゴリズムは、 1.5×1.5 [m] の視野を 2 [mm] の精度で計測する。精細視覚は、 200×200 [mm] の視野を 0.5 [mm] の精度で計測する。認識アルゴリズムを以下に説明する。

4.1 全体視覚アルゴリズム

積層された布に図8のようにパターン光を当て、ステレオ画像を撮像、ドットパターンで概略三次元測定し、そのあと格子パターンで精密測定する。投影パターンを抽出、左右のカメラ間でステレオマッチングを行い、一番高い位置を抽出して、ロボットの把持位置とする。

4.2 精細視覚アルゴリズム

図9に示すように、スライダ機構などにより垂れ下がったコーナ部に、横からパターンを投影して格子部を抽出、その三次元形状を得る。そこからコーナ部近傍を抽出、ラフに三次元形状を計測する。そして、二次元画像による精密コーナ抽出と組み合わせて、コーナ部の正確な三次元位置・方向を計測、ロボットの把持位置、姿勢を決定する。図中、丸の部分が抽出したコーナである。

5. 布把持のための柔軟物ハンドと布たぐり補正システム

布の高度な柔軟さは、把持の点でも課題が大きい。視覚センサが把持位置決定を行い、ロボットが把持位置に正確に制御されても、通常のロボットハンドでは、10%程度の

(a) パターン光投影画像

(b) パターン光なし画像

(c) 格子抽出画像

(d) 二次元画像でのコーナ抽出

図9 布のコーナの三次元位置・姿勢の決定

図10 ピン付き平行リンクフィンガーハンド

把持ミス、2~3%の布の不離れなどが起こる。また、コーナ抽出後の布ハンドリングのためには、基本的に辺把持でなければならない。このため、ピン付き平行リンクフィンガーハンド、辺把持ハンドを開発した。また、布の平行度を補正する装置として、布たぐり補正システムを開発した。

5.1 ピン付き平行リンクフィンガーハンド

布の把持ミスをなくすため、フィンガー先端にピンの伸縮機構を付加、つまみ操作による確実な布把持を可能にした。図10にハンドの外観を示す。本方式では、ピンを出して布を寄せてつまみ、そのあとピンを格納することで、布の離れを良くする。平行リンクフィンガ機構の採用は、布との干渉領域の少ない動作を可能にした。

5.2 簡易たぐり辺把持ハンド

たぐりによる辺の抽出と、状態保持を行う平行グリップを持つ辺把持ハンドを開発した。外観を、図5に示す。2本の指の一方で布のコーナを把持し、もう一方を、布の辺の折り目に合わせて、機械的に滑らせていくことで、布の辺を把持する。

5.3 たぐり補正システム

仕上げラインに布を供給するために、平行度を保って布

図 11 定型洗濯物仕上ライン投入システム

を搬出コンベアに置く必要が有る。ロボットで布を引きながら、布の辺の位置を光センサで検出、補正機構を動かして布端を移動させ、仕上げラインに対して布の平行度を調整する。平行に置かれた布は、搬出コンベアにより仕上げラインに送り込まれる。

6. 定型洗濯物仕上げライン投入システム

これまで述べてきた布ハンドリングのための布の自由度の扱い方や、それに基づく要素技術開発を組み合わせ、図 11 の定型洗濯物仕上げライン投入システムを開発した。

本システムについて、投入実験を繰り返して改良、調整を行い、性能を確認した。投入成功率を構成する要素としては、図 4 の工程 1 の 1 枚の布の取り出し、工程 2 の端点付近の把持、工程 3 のコーナ提示、および工程 4 のコーナ把持、がある。

投入実験では、前半、後半の工程を分けて行い、目標とする成功率、90%に対し、各工程とも千枚あたり、前半部

で 97%、後半部総合で 78%を達成するまでになっている。図 4 の多くの工程で高い成功率を得ることができた。工程 3: 姿勢補正工程での成功率がやや低いものとなったが、横行スライダでコーナ部が三角状に垂れ下がらないケースが時々発生するためであり、改良を進めている。

7. お わ り に

これまでロボットが苦手としていた柔軟物である布を対象としたハンドリングシステムを開発した。洗濯・乾燥を行って床上に乱雑に積み上げられた洗濯物の山から、一枚ずつ洗濯物を取り出し、布の一边の両端を持って位置決めして、アイロン掛けや折り畳みを行う仕上げラインに投入する。

ラインの構築に当たって、人間の投入作業を分析し、布の取り出し、コーナの抽出と把持、たぐり動作による辺の両端の把持、の三つのステップに分かれることを見出した。各ステップの作業をステレオ視覚センサや、布ハンドリング用ロボットハンド等を組み合わせることで実現、定型洗濯物仕上げライン投入システムを試作し、約 80%の投入成功率を得た。

以上により、実用化の見通しを得たので、今後は、製品プロトタイプの開発を行う。

謝 辞 本開発は、NEDO 技術開発機構「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」の開発の一環として行われたものである。機構、およびプロジェクトでご指導をいただいた方々に感謝する。

参 考 文 献

- [1] S. Hata, T. Hiroyasu, J. Hayashi, H. Hojoh and T. Hamada: "Robot System for Cloth Handling", IECON'08, pp.3449-3454, 2008.

秦 清治 (Seiji Hata)

1971 年 6 月東京大学工学部卒業、1971 年 7 月日立製作所入社、生産技術研究所勤務、FA コントローラ、ロボット視覚の研究に携わる。1991 年 1 月香川大学教育学部赴任、1997 年 10 月香川大学工学部教授、パターン認識の応用を中心とした研究を実施。IEEE、電気学会等会員、精密工学会フェロー。(日本ロボット学会正会員)

北條博崇 (Hirotaka Hojo)

1982 年高松工業高等専門学校機械工学科卒業。株式会社滝沢鉄工所にて工作機械の機械設計および生産技術に携わる。1994 年 (株) ブレックスに移籍、布類のハンドリング研究開発等に従事。2008 年香川大学大学院工学研究科知能機械システム工学専攻博士前期課程修了。