

アクションを活用する衣類ハンドリングのための視覚認識

喜多泰代 植芝俊夫 喜多伸之 (産業技術総合研究所) Neo Ee SIAN (Intellectual Ventures)

Visual recognition of clothing states in cooperation with actions

*Yasuyo KITA Toshio UESHIBA Nobuyuki KITA (AIST), Ee Sian NEO (Intellectual Ventures)

Abstract—In this paper, we propose a method of visual recognition in cooperation with actions for automatic handling of clothing by a robot. First, after clothing is observed by a trinocular stereo vision system, it is checked whether the observation gives enough information to recognize the clothing shape robustly or not. If not, we positively change the clothes into the shape which is easy to recognize. Proper action plans for this purpose, are automatically planned based on the visual analysis of the current shape. After executing the planned action, the clothing is observed again to recognize. By picking up a “spreading-clothes” action as one of such “recognition-aid” actions, the effect of this strategy was examined through the experimental results using an actual humanoid.

Key Words: robot vision, active observation, clothes handling, deformable model, non-rigid objects

1. はじめに

近年、ロボットがより一般的な環境で活躍することが期待されており、このためには、柔らかい対象物も的確に扱えることが望まれる。こうした背景のもと、衣類の自動ハンドリングを目標とする研究も活発に行われるようになり [1][2][3][4][5][6]、我々のグループも衣類の可変形状モデルを用いてモデル駆動型に対象衣類の状態を認識する戦略で研究を進めてきている [7][8]。この過程で、認識の安定性が観察時の対象衣類の形状状態に大きく依存することが確認されている。そこで、認識が難しい状態が観測されたなら、対象衣類を操作し、より認識しやすい状態に能動的に変える戦略が有効と考えられる。本論文では、この戦略に基づき、衣類の折れがきついために認識が難しい場合を判定し、その折れを緩和するために適切なアクションを自動的に算出する手法を提案する。ヒューマノイドを用いた実システム上にこの手法を実装し、実験を通じてその効果を確認することができた。

2. 衣類ハンドリングシステム基本構成

衣類の可変形状モデルを核とするモデル駆動型認識戦略を図1に示す。はじめに、対象衣類の種別(トレーナ、ズボンなど)、大まかなサイズなどは既知である前提条件のもと、一点で把持された場合に起こりえる対象衣類の形状候補を物理的な変形シミュレーションを用いて大まかに予測する。この各予測形状を観測データとより整合するように変形しながら、変形後の整合性が最大となるものを選択することにより、どの位置で把持されどのような形状であるのかを認識する [7]。ここで、衣類の状態はその把持位置ごとに分類し、“State 1,” “State 2,” ... のように呼ぶこととする。さらに、この結果に基づき、衣類の特定部位(例えば肩など)の把持を実現するハンドの位置、姿勢を自動算出する手法を開発し、HRP2 ヒューマノイドと3眼ステレオシステム [9] を用いた実験システム上に実装し、衣類ハンドリングの基本動作の一つである特定部位の把持を実現

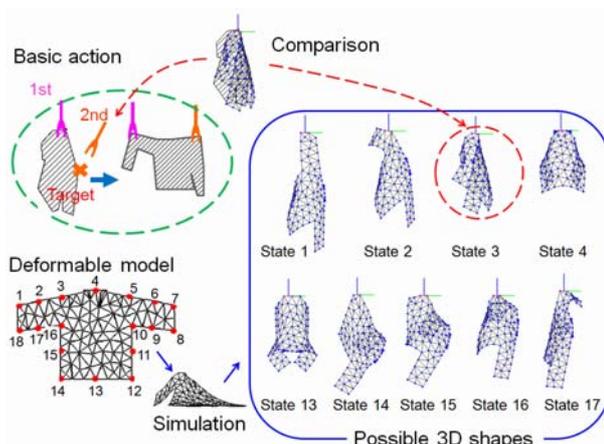


Fig.1 Basic action and our model-driven strategy

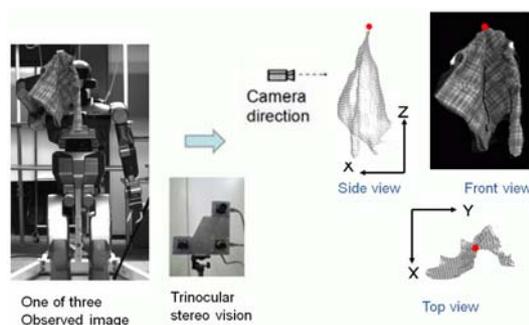


Fig.2 Three-dimensional data obtained from the stereo vision system (the view direction of the camera system is $-X$, with the red dot in the views illustrating the holding position).

している [8]。ステレオシステムからは、図2のような精度が3～10 mmである3次元情報が密に得られる。以降、本論文中、観測3次元データは、図中の右にある3枚の画像のように、正面図、上面図、側面図で表す。正面図のみテクスチャマッピングした3次元

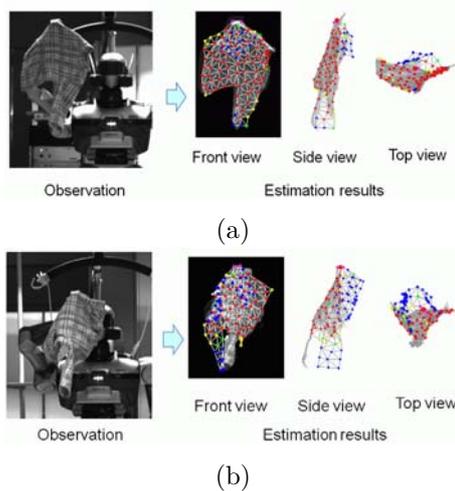


Fig.3 Example of “State” recognition results of sweater held at its side

データ、他の図では、計測された3次元点をグレイのドットで表示している。空間座標系は、ヒューマノイドからカメラに向かう水平面上の方向を X 軸、鉛直方向上向きを Z 軸とし、残り Y 軸を右手座標系となるように設定する。

3. アクションを活用した認識頑健性の向上

上述の認識手法の開発を進める過程で、認識の失敗は特定の紛らわしい状態に集中することが確認されている。具体的に、図1の例では、State 1, 4, 14は、その特徴的な鉛直方向の長さにより、ほぼ間違えることなく推定されるが、State 2, 3, 15, 16は、互いに間違いやすい状態である。図3(a),(b)に、State 16である観測形状の推定成功例と失敗例を示す。図において、重ねて表示したモデルが状態推定形状を表しており、モデル上の点の色は、赤が3次元観測データ上についていること、青が外れていることを示す。図3(b)では、正しい状態と左右対称の状態が選択されてしまっている。いくつかの失敗例の解析により、図3(b)に見られるように、衣類の折れが強く、十分な観測情報を提供できていない場合に失敗が多い傾向が見られた。したがって、このような場合を判定し、必要であればアクションを用いて認識しやすい状態を能動的に作り出す戦略が効果的と考えられる。この戦略を実現する上で重要な点として、1) 曖昧性の高い観測データであるかどうかの自動判定、2) 曖昧性を減らすための適切なアクションプランの自動算出、の2点が挙げられる。次章では、こうした「認識支援動作」の一例として、衣類を押し広げる”Spreading”アクションを取り上げ、上述した処理を組み込んだ能動的な観察手法の提案を行う。ただし、本論文では、衣類はドレープ状のひだができるほど柔らかい生地ではなく、ほぼ一折れである状況を想定する。

4. ”Spreading”アクションの活用

4.1 観測データの折れ度合の判定

はじめに、観測衣類領域の鉛直長さより、候補が多く間違いやすい状態であるかどうかを判定する。間違

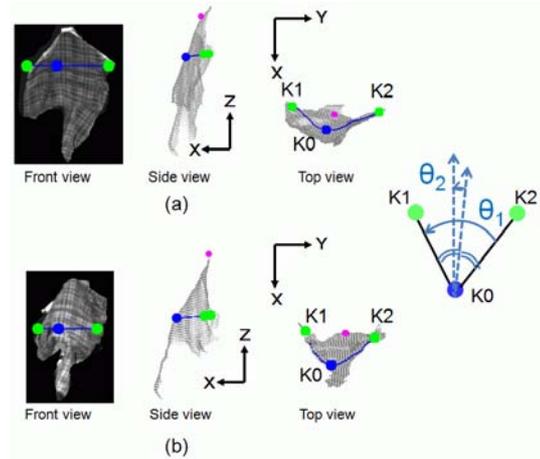


Fig.4 Check of folding degrees

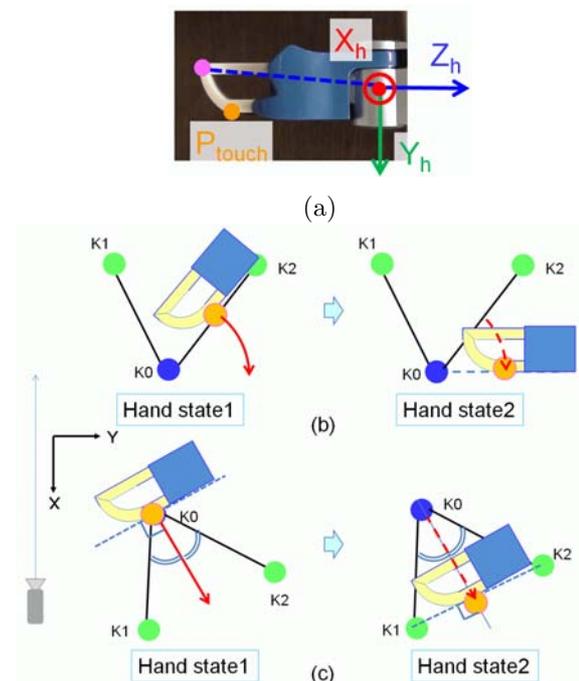


Fig.5 Actions for spreading clothes toward the view direction: (a) HRP2 hand coordinates; (b) convex case; (c) concave case.

いやしい場合には、折れ度合の算出処理を行う。具体的には、図4にあるように観測領域の水平幅が最大となる高さの断面曲線の凹凸を調べる。 $K1$ と $K2$ を断面曲線上で Y 座標値が最小、最大となる点とする。この曲線上の点で、直線 $K1K2$ から最も遠い点を $K0$ とする。折れ度合、 θ_1 、を $\overline{K0K1}$ の $\overline{K0K2}$ からの角度と定義する。したがって、 θ_1 の正負の符号がカメラシステムに対する凸凹を、その絶対値が度合の大きさを表す。図4(a),(b)に、それぞれ、図3(a),(b)の観測データに対して求められた $K0, K1, K2$ の例を示す。これらの位置に基づき、それぞれ、 $\theta_1 = 126.2$ 度、 $\theta_1 = 92.2$ 度である。

4.2 ”Spreading”アクションの自動算出

”Spreading”アクションプランを、4.1で算出した $K0, K1, K2$ に基づいて自動算出する手法を図5を用

いて説明する。ここで、衣類は右手に把持されている状況を想定し、認識支援アクションを行う左手のハンド座標系を図5(a)に示す。手首の回転軸の中心を原点 O_h とし、その回転軸を Y_h 軸、ハンド前側側面に垂直な方向を X_h 軸とし、残る Z_h 軸を右手座標系となるように決定する。"Spreading" アクションは、次のように算出するハンドの二つの位置・姿勢、"Hand state1" から "Hand state2" に左手を動かすことにより実現する。

1) Convex case ($\theta_1 \geq 0$)

Fig.5(b)のように、カメラシステムに対して凸の場合、操作する手に近い側を押し出す。

Hand State1:

$$\vec{Z}_h = \frac{\vec{K0K2}}{|\vec{K0K2}|}, \quad \vec{X}_h = (0, 0, 1), \quad \vec{Y}_h = \vec{Z}_h \times \vec{X}_h$$

P_{touch} (図中オレンジ色の点) の位置:

$$\left(\frac{K0x + K2x}{2}, \frac{K0y + K2y}{2}, z_0 \right)$$

$$z_0 = H_{holding} - L_0$$

ここで、 $H_{holding}$ と L_0 は、それぞれ衣類を把持している高さ、固定値である。

Hand State2:

$$\vec{Z}_h = (0, 1, 0), \quad \vec{X}_h = (0, 0, 1), \quad \vec{Y}_h = \vec{Z}_h \times \vec{X}_h$$

P_{touch} の位置:

$$\left(K0x, K0y + \frac{|\vec{K0K2}|}{2}, z_0 \right)$$

2) Concave case ($\theta_1 < 0$)

Fig.5(c)のようにカメラシステムに対して凹の場合、カメラシステムから最も遠い点を押し出す。

Hand State1:

$$\vec{Z}_h = (\beta, -\alpha, 0), \quad \vec{X}_h = (0, 0, 1), \quad \vec{Y}_h = \vec{Z}_h \times \vec{X}_h$$

P_{touch} の位置: $(K0x, K0y, z_0)$

ここで、 (α, β, γ) は、角 $K1K0K2$ の2等分線の余弦方向である。

Hand State2:

$$\vec{Z}_h = (\beta, -\alpha, 0), \quad \vec{X}_h = (0, 0, 1), \quad \vec{Y}_h = \vec{Z}_h \times \vec{X}_h$$

P_{touch} の位置:

$$(K0x + L_1\alpha, K0y + L_1\beta, z_0)$$

ここで、 L_1 は、直線 $K1K2$ から $K0$ までの距離である。

5. 実験

5.1 θ と認識曖昧性の関係

State16で把持した状態で様々なその折れ具合を変えて観測した9例を対象に、[7]の手法で状態推定を行った結果と、各観測データに対して算出した θ_1 との関係

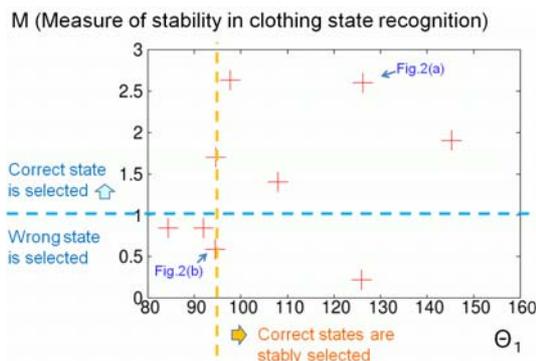


Fig.6 Relation between θ_1 and ambiguity of state recognition.

を調べる実験を行った。図6にその結果をまとめたグラフを示す。認識結果の曖昧性を表す M は、

$$M = \frac{\min_{i \neq \text{correct State}} \{S_i\}}{S_{\text{correct State}}}$$

として算出した。ここで、 S_i は、観測された衣類領域の輪郭と State i の予測形状から得られた推定形状との不一致度を表すスコアであり、小さいほど一致していることを示す。この式の定義より、 M の値が1以上は正しい状態が選出されたことを示し、より大きな値ほど、次点の不一致度との差が大きく、安定して選出されたことを示す。グラフから、小さな θ_1 の値が小さな M を生じさせる傾向が明らかに見られる。この実験結果より、"Spreading" アクションを加えるべきかどうかのしきい値 T_{θ_1} は、100度前後に設定すればよいことがわかる。

5.2 認識支援アクションプランの自動算出

提案手法を HRP2 の右手に子供用のトレーナーを持たせた場合に適用した。実験では、State 16, State 16' (State 16 と左右対称の状態)、State 3 の状態で、故意に衣類の凹凸の折れを強くして、"Spreading" アクションの自動算出を行った。この実験を行った際には、[10]で提案した可変形状面モデルを利用する折れ度合算出方法を用いていたが、今回提案したより高速な折れ度合算出方法でも導出される動作はほぼ変わらない。固定パラメータ L_0 は、対象衣類の大きさを考慮して、15cm に設定した。実験を行った6例のうち4例で衣類を押し広げること成功した。失敗した1例では、観測データの裏側の衣類の広がりが想定以上であったために、"Hand state1" のポジションに行く途中でハンドが衣類にぶつかってしまった。もう一例は、算出したハンドの位置・姿勢を実現する関節角の算出に失敗した。図7に、成功した4例の一つ、State 16の凹の例を示す。図7(a),(b)は最初の観測画像、及び、観測3次元データである。図7(b)には、抽出された $K0$ 、 $K1$ 、 $K2$ を青と緑の点で示しており、算出された θ_1 の値は、-81.7である。この結果に基づき、"Spreading" アクションが、図7(b)に線で示すように自動算出された。ここで、各色の実線、点線は、図5(a)のハンド写真上の線に対応しており、"Hand State1"、"Hand State2" を表している。HRP2がこの計画に従い実際に左手のアクションを行った後の観測画像、及びその3次元デー

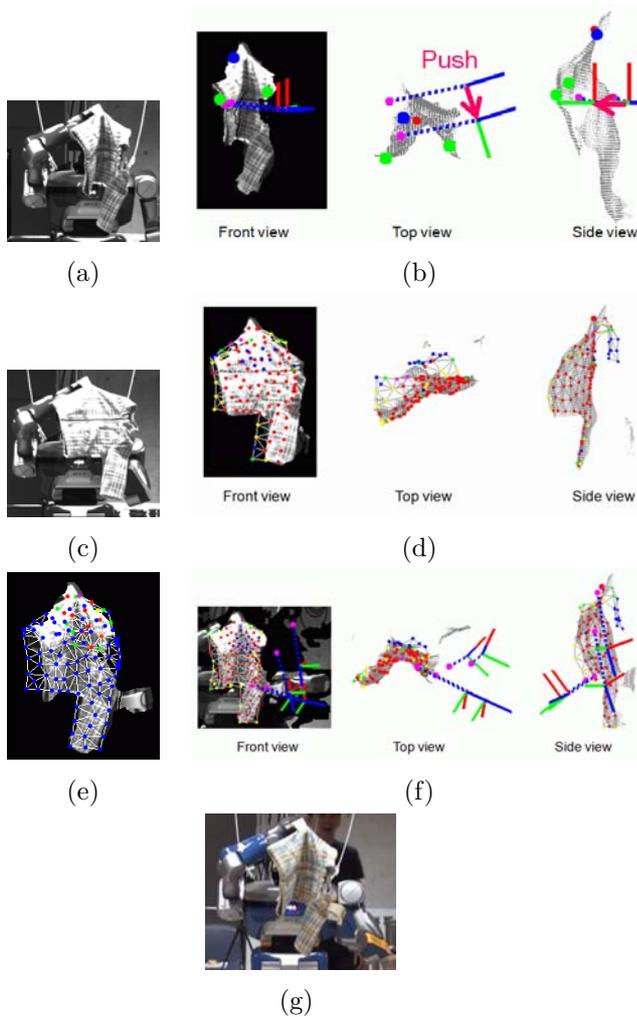


Fig.7 Experimental example of concave case: (a) original observation; (b) calculated spreading-action; (c) observation after the action; (d) recognition results from the observation; (e) observation after removing the left hand; (f) calculated action for picking up a shoulder; (g) picking up action (failed).

タを図 7(c)(d) に示す。この観測データに衣類状態推定法 [7] を適用した結果を図 7(d) 上に衣類モデルを重ねて表示して示す。形状に多少のずれはあるが、ほぼ正しく状態推定されている。次のアクションのためには、一度衣類を押ししていた左手を外す必要があるが、既に対象衣類がどこで把持されているか推定できたため、外す前のモデル形状を初期形状として、外した後の観測データの形状を求めることが可能である。図 7(e) には、外した後の観測画像に、衣類を押し広げたときに得られた形状のモデルを重ねて表示している。モデル上の大多数の点が青く、観測 3 次元データと一致していないことがわかる。図 7(f) に左手を外した後の観測 3 次元データ上に、このモデルを観測データに、より一致するように変形させた結果を重ねて示す。この状態推定結果に基づき、左肩を把持するタスクを与えた際に算出されるアクションプラン [8] を、図 7(f) にハンドの位置・姿勢を表す線分で表示する。図 7(g) に、このプランに基づき、把持動作を実行しようとした途中過程を示す。残念ながら、この例では、肩の部分の約 1cm 外側でハンドを閉じ、肩の持ち上げ動作は失敗してし

まったが、4つの成功例のうち State16 の凸の例では、肩の持ち上げまで成功している [10].

6. まとめ

観測された状態では対象衣類の形状推定が難しい場合に、衣類にアクションを加えてより認識しやすい状態にした後に再度観測する枠組を提案し、具体例として、衣類を押し広げるアクションを活用した認識手法を示した。ヒューマノイドを用いた実験システムを用い、「認識支援アクション必要性の自動判定」、「適切な認識支援アクションの自動算出」を実装し、認識支援アクションによる認識安定性の向上を確認した。今後は、汎用性を高める方向へ研究を展開していく予定である。

謝辞

本研究は、科研費 (19300066) の助成を受けたものである。本研究をサポートしていただいている横井一仁ヒューマノイド研究グループ長、坂上勝彦知的メディア研究グループ長に感謝する。

参考文献

- [1] E. Ono, H. Okabe, H. Ichijo and N. Aisaka: "Robot Hand with Sensor for Cloth Handling", In *Proc. 1990, Japan.U.S.A. Symp. on Flexible Automation*, pp. 1363-1366, 1990.
- [2] M. Kaneko and M. Kakikura: "Planning strategy for putting away laundry - Isolating and unfolding task -", In *Proc. of the 4th IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning*, pp. 429-434, 2001.
- [3] Y. Kita, F. Saito and N. Kita: "A deformable model driven visual method for handling clothes", In *Proc. of International Conference on Robotics and Automation*, pp.3889-3895, 2004.
- [4] 小堀浩子, 植田亮平, 得津覚, 岡田慧, 稲葉雅幸: "ヒューマノイドによる洗濯物展開操作における柔軟物認識行動制御システムの実現", In 第9回 SICE システムインテグレーション部門講演会講演概要集, pp.743-744, 2008.
- [5] K.Yamazaki and M.Inaba: "A Cloth Detection Method Based on Wrinkle Features for Daily Assistive Robots", In *Proc. the IAPR Conf. on Machine Vision Applications*, pp. 366-369, 2009.
- [6] J. Maitin-Shepard, M. Cusumano-Towner, J. Lei and P. Abbeel: "Cloth Grasp Point Detection based on Multiple-View Geometric Cues with Application to Robotic Towel Folding", In *Proc. of IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation (ICRA '10)*, 2010.
- [7] Y. Kita, T. Ueshiba, E. S. Neo and N. Kita: "Clothes state recognition using 3D observed data", In *Proc. of International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1220-1225, 2009.
- [8] Y. Kita, T. Ueshiba, E. S. Neo and N. Kita: "A method for handling a specific part of clothes by dual arms", In *Proc. of International Conference on Robots and Systems*, pp. 480-485, 2009.
- [9] T. Ueshiba: "An Efficient Implementation Technique of Bidirectional Matching for Real-time Trinocular Stereo Vision", In *Proc. of 18th International Conference on Pattern Recognition*, pp.1076-1079, 2006.
- [10] Y. Kita, T. Ueshiba, E. S. Neo and N. Kita: "Clothes handling using visual recognition in cooperation with actions", In *Proc. of International Conference on Robots and Systems*, (To appear), 2010.