

可変形状モデルを用いた衣類特定部位把持手法

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

A method for handling a specific part of clothes using a deformable model

*Yasuyo KITA Toshio Ueshiba Ee Sian Neo Nobuyuki Kita (AIST)

Abstract— Aiming at handling clothes by dual arms, in this paper, we propose a strategy to pick up a specific part of the clothes which is held in the air by one hand. First, from visual observation of the clothes, the clothes state are recognized in a deformable-model-driven way[1]. Then, one of the best position and orientation of the other hand for holding a specific part of the clothes is calculated from the 3D information of the model segment corresponding to the part. Finally, the position and orientation of the hand is modified considering the executable motion range of the dual arms. Preliminary experimental results using actual observations have shown good prospect of the proposed strategy.

Key Words: robot vision, clothes handling, deformable model, non-rigid object recognition

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った [2][3][4][5][6] が、まだ、複雑な状態変化に応じて自由に衣類を取り扱う自動化技術は実現されていない。我々は、衣類の状態に柔軟に応じられる自動ハンドリングの実現を目標に、衣類の可変形状モデルを用いモデル駆動型に状態を把握する戦略で研究を進めている。前報 [7] で、観測 3 次元情報を元に予測形状を変形することにより、形状予測時の精度の粗さを補い、より実際に近い形状を推定した上でどの位置で把持された状態であるのかを認識する手法を提案した。今回、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たので、その手法と実画像を用いた実験結果を報告する。

2. 実験システム

図 1(a)(b) は、HRP2 ヒューマノイド [8] と 3 次元ステレオシステム [9] から構成される実験システムである。HRP2 は内部にカメラを搭載しているが、現状では衣類全体の 3 次元情報を精度よく得ることは難しく、図 2 のような高精度な 3 次元情報を 30 フレーム/秒で取得可能なシステムを利用する。ただし、今回の実験では、静止した 1 枚の 3 次元情報のみを用いている。HRP2 とステレオシステムの校正は、HRP2 がキャリブレーションボードを約 10 個所に動かした際の画像を撮影して行い、3 次元精度は 3 ~ 10 mm である。縦長の視野を確保するため、カメラは光軸周りに 90 度回転させて使用する。HRP2 と視覚部は LAN で接続し、通信には、CORBA(Common Object Request Broker Architecture) を用いる。

3. モデル駆動型衣類状態推定

双腕で衣類を扱う基本動作の一つとして、図 3 の左上に示すような、片手で把持した衣類の特定の縁上の

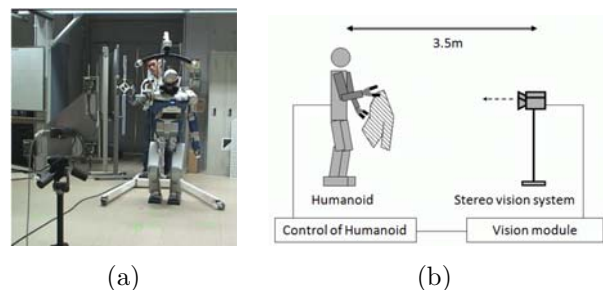


Fig.1 Our system: (a) our system during calibration procedure; (b) relation between Humanoid and trinocular stereo camera system

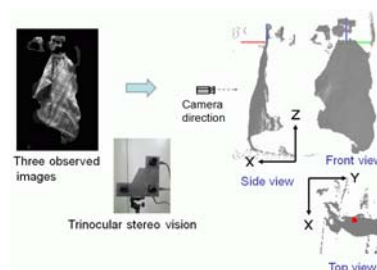


Fig.2 Three dimensional data obtained from the stereo vision system (The view direction of the camera system is $-X$)

部位をもう片方の手で把持する動作があげられる。この動作を遂行するためには、その部位の位置と姿勢を認識できることが必須である。我々は、これを図 3 に示す衣類の可変形状モデルを利用したモデル駆動型認識手法で実現しており [1]、この結果を利用する。実験回数はまだ十分でないものの、約 80% の認識正解率が得られている。

4. 把持を実現するハンドの位置・姿勢の算出

使用する HRP2 のハンド座標系を図 4(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。ハンドは、付け

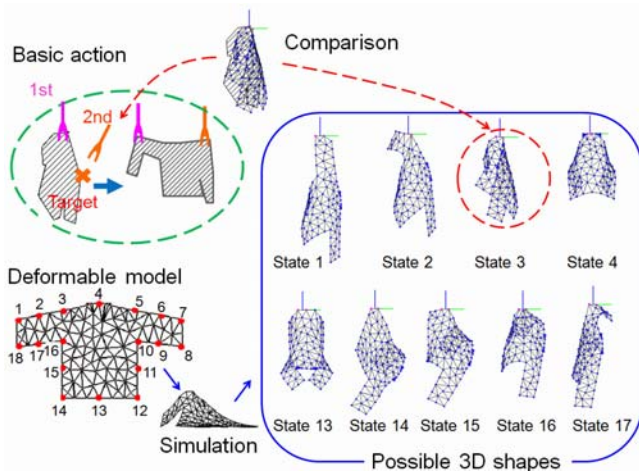


Fig.3 Basic action and our model-driven strategy

根で回転して $-Y_h$ 方向に開く親指とカーブした固定指からなる。このハンドで、ある特定部位を把持する場合、その部位の法線方向に親指を開いた状態で、対象物外側からその部位に近付き、把持したい位置で親指を閉じるという動作になる。

4.1 衣類に対して最適なハンドの位置・姿勢

衣類モデルを観測 3 次元データに一致させるように変形し状態を認識した後では、特定部位の位置や姿勢は、その部位に対応するモデルの三角パッチセグメントの位置と姿勢から推定することが可能である。具体的には、図 4(b) に示すように、対応するパッチの 3 頂点、 N_1 、 N_2 、 N_3 の位置を用いて次のように算出される。

最適指開閉方向:

$$\vec{j} = \frac{N_1 \vec{N}_3 \times N_1 \vec{N}_2}{|N_1 \vec{N}_3 \times N_1 \vec{N}_2|}$$

最適アプローチ方向:

$$-\vec{k} = \vec{i} \times \vec{j}$$

ただし、

$$\vec{i} = \frac{N_3 \vec{N}_1}{|N_3 \vec{N}_1|}$$

は、縁の方向である。これらの値を用いて、その特定部位を把持する際のハンド最適位置、姿勢を。図 5(a) のように、自動決定する。まず、把持位置を縁 $N_1 N_3$ の中点から内部に L_{in} の位置とし、その際の姿勢を、 X_h 、 Y_h 、 Z_h を各々 $\vec{i}$ 、 $\vec{j}$ 、 $\vec{k}$ と一致させて決定する。また、把持位置に向かう前に指を開いた状態で通過する事前配置位置を、縁から $-\vec{k}$ 方向に適度な距離 L_{out} 離れた位置に設置することにより、最適方向からのアプローチを実現する。

4.2 実現可能な位置・姿勢への修正

上記のように算出されたハンドの位置と姿勢は衣類の状態に応じてさまざまな値となり、双腕の動作可能状態から外れることがしばしば起きる。例えば、図 5(b) の緑のハンドの胴体に対する位置と姿勢は実行不可能である。一方、衣類は柔軟なため、最適な指開閉方向や、アプローチ方向から多少外れても衣類がハンドに

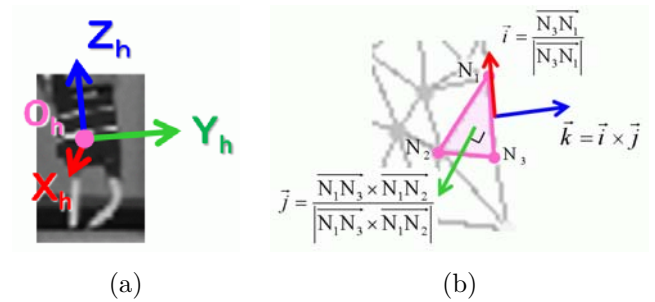


Fig.4 Hand coordinates for grasping clothes 1: (a) hand coordinates of our HRP2; (b) orientation of the model segment.

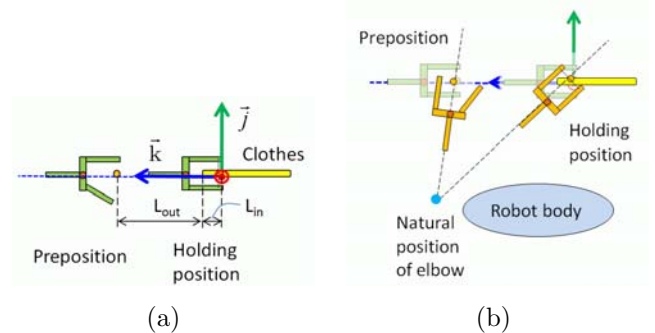


Fig.5 Hand coordinates for grasping clothes 2: (a) best hand coordinates for the clothes; (b) modification to be executable.

沿って変形することにより所望の結果が得られる場合も多い。このことを考慮し、ハンド動作を実行可能なものに修正する処理を行う。

この修正方法としては、様々な方法が考えられる。例えば、把持を行うハンドだけでなく、衣類を現在把持しているハンドを動かす選択肢も加えれば、より幅のある修正方法が考えられる。比較的単純な修正方法としては、算出された最適位置に基き、その位置で実行しやすいハンド姿勢に修正することが行える。具体的には、図 5(b) のように、ハンドの目標姿勢を腕を自然におとしたときの肘の位置と目標位置を結んだ方向に Z_h 軸を一致させるように修正するとほぼ実行可能なことが判っており、本報告内の実験では、この方法を用いる。把持位置、事前配置位置、各々でこの姿勢修正を加えることにより、アプローチ方向は、先に算出した最適方向のまま、実行可能化が行える。

5. 実験結果

幼児用トレーナーを把持位置を変えながら観測した 6 例に提案手法を適用し、実験を行った。図 6 において、推定結果は衣類のメッシュモデル形状で表されており、観測 3 次元データに重ねて表示されている。図 6(f) を除く 5 例で、状態推定を成功し、肩を把持するためのハンドの最適位置、姿勢を算出した。結果の X_h 、 Y_h 及び Z_h 軸は、それぞれ、赤、緑、青で表示されている。ただし、衣類の姿勢と比較しやすいように、ハンドの手首上原点の位置ではなく、把持点（縁から 2 cm 内側）に表示してある。

図 6(c)(d) では、ターゲットとする肩が自己隠蔽により観測されていないが、モデル駆動型処理の長所とし

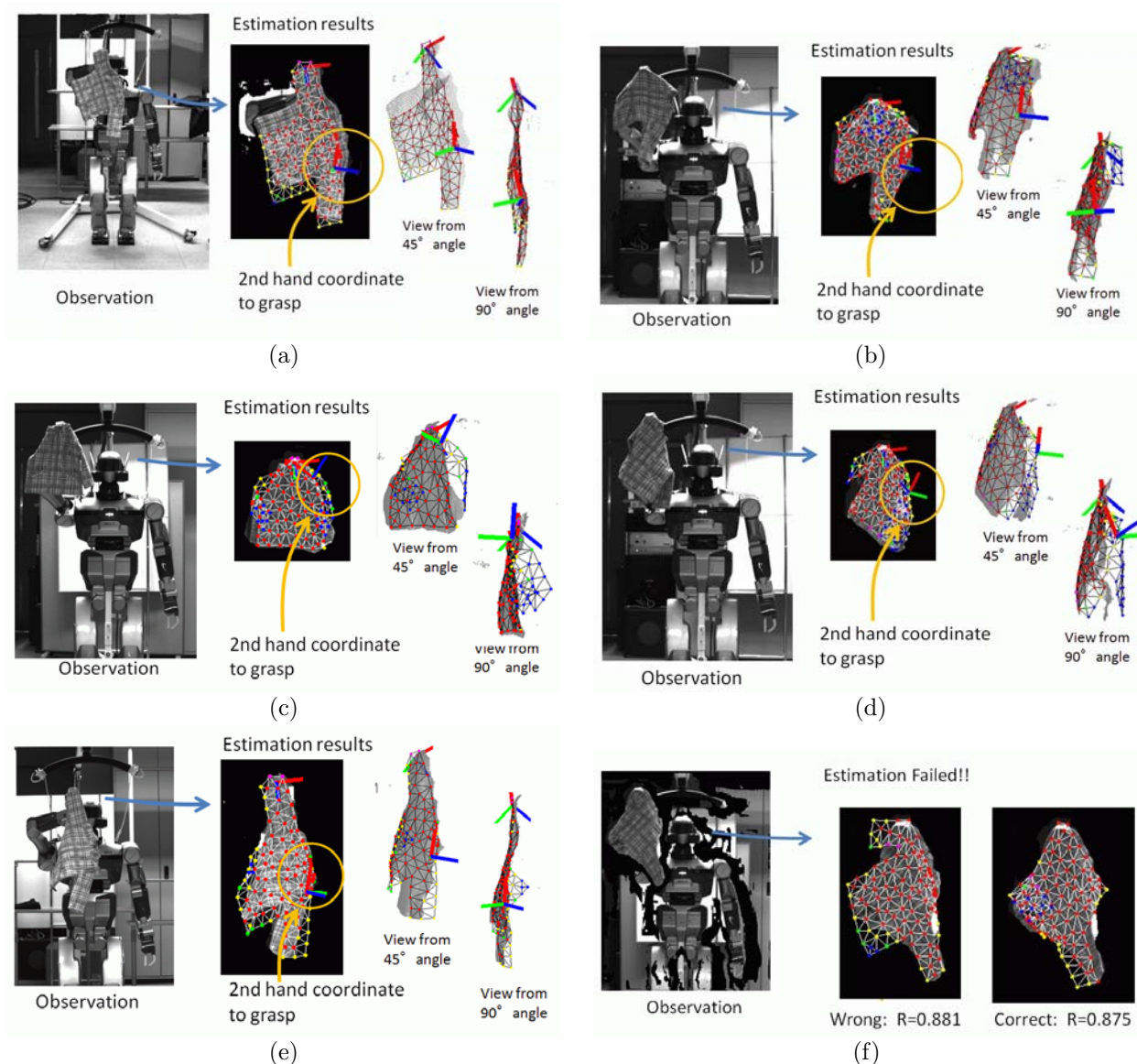


Fig.6 Results of hand coordinates calculated from visual information

て、その位置、姿勢が推定されている。こうした推定結果は、ターゲット部を観測するために対象衣類をどの方向に何度回転すれば良いかの導出を可能とする。

ターゲットである肩が観測されている図 6(a)、(b)、(e) の 3 例を用いて、距離画像上から手動で算出した正解値との位置と姿勢の差を表 1 にまとめる。姿勢の誤差は、約 10 度であり、衣類が指に挟まれる際の柔軟性を考慮すると、十分に許容範囲と考えられる。把持位置の差は 14.5 ~ 53.5 mm であった。図 7 に、ずれが最大、最小の例を表示する。図に見られるように、両例ともに、衣類面上に沿ったずれであり、把持の成否には影響しにくいずれである。図 6(a) における大きな位置ずれの原因は、この例では、対象衣類が、形状予測を行う際に用いた代表把持点のちょうど中間あたりで把持されているため、推定されたモデル形状が鉛直方向にずれているためであり、[4] で提案されたような方法を用いることにより修正が可能と考えられる。

肩把持アクションのための最適ハンド状態を算出した 5 例のうち、図 6(e) を除く 4 例で、算出した値が双

腕の動作可能状態から外れていた。この事実は、修正処理の重要性を示す。そのままでは動作が実現できなかった図 6(a) に対する図 8(a) の例で、実験後、実行可能なハンドの姿勢を 4.2 で述べた方法で算出した結果を図 8(b) に示す。ここでは、図 6 と異なり、手首を原点とするハンド座標系を用いて、準備位置、把持位置におけるハンドの位置姿勢を示し、指先の位置を紫の円で表し点線で結んで表示している。

実行可能であった 6(e) では、実際に肩を把持するアクションに成功した。図 9 にその過程を示す。図 9(a) は、正面から記録した画像で、左からそれぞれ、把持位置への移動動作、把持動作、把持後の持ち上げ動作を示す。図 9(b) は、ヒューマノイドに近いサイドから記録した画像で、把持動作前後の様子を示す。

6. まとめ

本報告では、衣類の状態推定結果に基づき、自動的に特定部位を把持する手法の提案を行った。可変形状モデル駆動型の戦略により、特定部位の位置や姿勢は、着目する部位に対応するモデルセグメントの 3 次元情報

Table 1 Differences of resultant hand coordinates from ones by manually obtained difference

	X-axis	Y-Axis	Z-axis	origin
		(degree)		(mm)
Fig. 6(a)	10.2	8.8	12.8	53.5
Fig. 6(b)	5.8	13.8	13.6	26.3
Fig. 6(e)	12.2	13.2	12.4	14.5
average	9.4	12.0	13.0	31.4

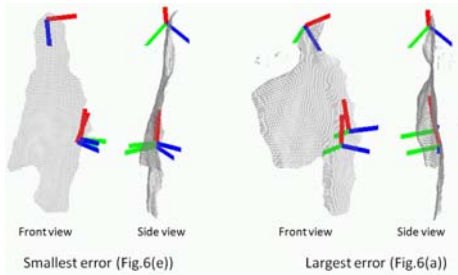


Fig.7 Comparison of resultant hand coordinates to ones obtained manually

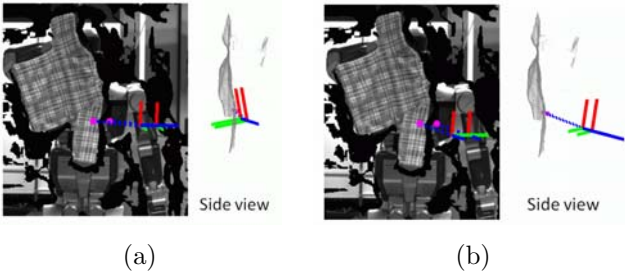


Fig.8 Example of modification of hand coordinates:
(a) best hand coordinates for the clothes; (b) co-ordinates modified to be executable.

報から推定でき、これらの値より把持動作を実現する際のハンドの最適な位置、姿勢を決定することが可能である。ヒューマノイドを用いた実験でその実証も行った。

一方、こうして算出した把持動作のための最適位置、姿勢がロボットの動作可能状態の制約から実現できないことが多いことも実験を通じ得られた。これに対して、衣類の柔軟性が、把持時の指の開閉方向などに厳密性を要求しないことを利用して、目標位置における実現可能な姿勢に修正する戦略も提案した。この効果に関する詳細な実験、また、他ハンドの移動も含めたより高度な修正方法の検討は今後の課題である。

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] Y. Kita, T. Ueshiba, E. S. Neo and N. Kita: "Clothes state recognition using 3D observed

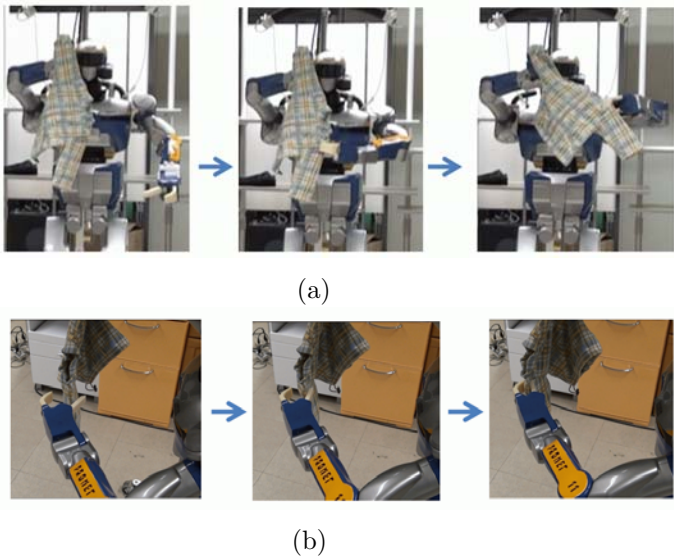


Fig.9 Example of actual handling processes

data", In *Proc. of International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1220-1225, 2009.

[2] 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.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 小堀浩子, 植田亮平, 得津寛, 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.

[6] 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.

[7] 喜多 泰代, 植芝俊夫: "可変形状モデルによる衣類予測形状修正", In 第26回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2E2-06, 2008.

[8] E. S. Neo, K. Yokoi, S. Kajita and K. Tanie: "Whole-Body Motion Generation Integrating Operator's Intention and Robot's Autonomy in Controlling Humanoid Robots", *IEEE Trans. on Robotics*, Vol. 23, No. 4, pp. 763-775, 2007.

[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.