

令和 3 年 6 月 30 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02885

研究課題名（和文）多視点3次元観測画像を用いた衣類の仮想展開に関する研究

研究課題名（英文）Research on virtual flattening of clothing item using 3D data taken from different directions

研究代表者

喜多 泰代 (Kita, Yasuyo)

東京理科大学・理工学部電気電子情報工学科・准教授

研究者番号：00356875

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,200,000円

研究成果の概要（和文）：ロボットが日常の場面でも役立つため、柔軟な衣類も取り扱える技術が望まれる。しかし、作業のため把持された衣類の形状は机上に広げた時の典型的な形状から大きく変形しており、その種別の認識や、次に把持すべき位置の特定は非常に難しい課題である。本研究では、変形した衣類をその観測RGB-Dデータ（カラーと深度情報のデータ）を元に、計算機上で仮想的に平面上に広げて展開することにより、対象衣類の認識を容易にし、把持すべき部位が現在の変形した形状上でどこにあるのかを特定できる手法の開発を行った。人工データ、実際のRGB-Dデータを用いた実験で、衣類表面の測地距離拘束による平面上への展開が実現できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

平面形状であることが分かっている物体の展開としては、これまでに、折り紙など、平面パーツの展開手法の研究は行われていたが、3次元空間上で凹凸形状に変形している、全体形状があらかじめ未知な対象物を、多視点からの観測データ（深度と濃淡情報）を用いて仮想展開する研究は、学術的に他に類を見ない。本技術が開発されれば、ヒューマノイドのような汎用型のロボットを用いて少ない動作で衣類を自動的に扱うことが可能となる。家庭用介助・補助ロボットが未知の衣類や布製の日常品を自在に扱うための基礎として重要な技術であり、社会福祉的観点・ロボット産業競争力強化の観点から見ても意義がある。

研究成果の概要（英文）：It is becoming increasingly important for robots to autonomously handle daily necessities, including clothing items. The clothing item during handling is difficult to visually recognize since it is largely deformed from its canonical shape, that is, the shape when it is flattened on a plane table. In this project, we have studied methods of virtually flattening the surface of a clothing item to a two-dimensional plane using the RGB-D data (color and depth data) of it in deformed shape. By calculating geodesic distances between pairs of points on the surface of the clothing item using its depth data, the 2D distances between the pairs when the surface is flattened are estimated and used as constraints to obtain the flattened shape. The experimental results using both synthetic and real data showed a good prospective of the proposed method.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：ロボットビジョン 3次元画像処理 柔軟物認識 知能ロボティクス 自動ハンドリング 測地線

1. 研究開始当初の背景

近年、社会の少子高齢化が進むとともに、家庭や福祉の場面におけるロボットの活躍も期待され、衣類のような多品種多様な柔軟物も自律的に判断して取り扱えることが望まれている。このためには、対象衣類の種別や形状を正しく把握し、それに適した取扱いを行う必要がある。衣類は、その柔軟性ゆえ、取り扱う時に観測される形状は大きく変形しており、加えて折れによる自己遮蔽が形状の認識をさらに難しくする。いったん、平らな台の上に広げれば、問題は簡単なものになるが、任意の状態にある衣類をその形状を把握することなく机の上にきれいに広げること自体が難しい。また、広げることが必要としない多くの作業にとっては余分な動作であり、広げるための広い平らなスペースを必要とすることも、現実的には問題となる。

2. 研究の目的

本研究では、上述した問題を打破するため、未知の衣類を持ち上げ扱う過程でそれがどのカテゴリの衣類でどのような形状であるかを見定め、その情報を元に、畳むなどの作業を適切に実現する視覚認識技術の実現を目指す。具体的に双腕ロボットが自律して作業を行うことを目標に、ロボットが片手で空中に把持した衣類を少し離れた場所に設置したRGB-Dカメラで観測する状況を想定する。衣類を把持点を通る鉛直軸周りで回転させることにより多視点から観測して得られた複数RGB-Dデータを用いることにより、実際には広げることなく、仮想的にその展開形状を獲得する技術を実現する。

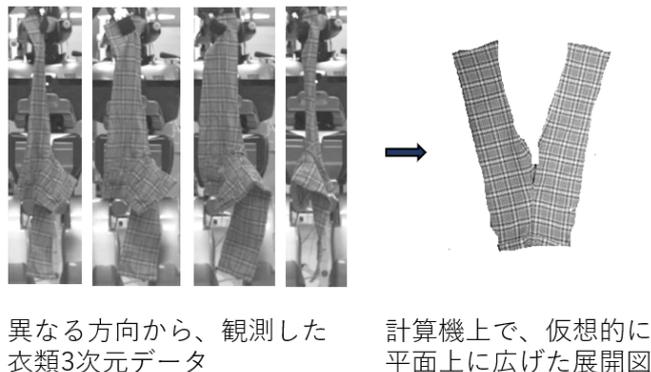


図1 仮想展開図

3. 研究の方法

(1) 上記の実現のため、変形した衣類表面上の2点間の測地距離が、平面上に衣類を広げた時のその2点間の距離と等しいことに着目する。具体的には、図1に示すように、衣類を持ち上げて観測した3次元データから、表面上の点間の測地線距離を算出し、それを拘束条件として、すべての点を平面上に配置する。

(2) 本研究で提案する認識手法を遂行する上で必要な関連技術として、至近距離にある対象の3次元情報を広視野で獲得する技術や、観測3次元点群の境界が衣類の縁か遮蔽輪郭であるかの判定手法など関連技術の開発も並行して行う。

4. 研究成果

(1) 仮想展開の基盤となる、RGB-Dカメラにより得られる3次元点群から、メッシュやボクセルなどの中間記述を構築することなく、直接的にその表面上の測地線 (geodesic line) を算出できる手法を開発した。これにより、観測点密度のばらつきや計測ノイズの存在により中間記述の生成自体が難しい衣類観測データに対しても、安定して測地線を算出することが可能となった。図2(b)に示す赤線が、図2(a)の観測データにこの手法を適用して得られた、衣類表面の測地線を表す。

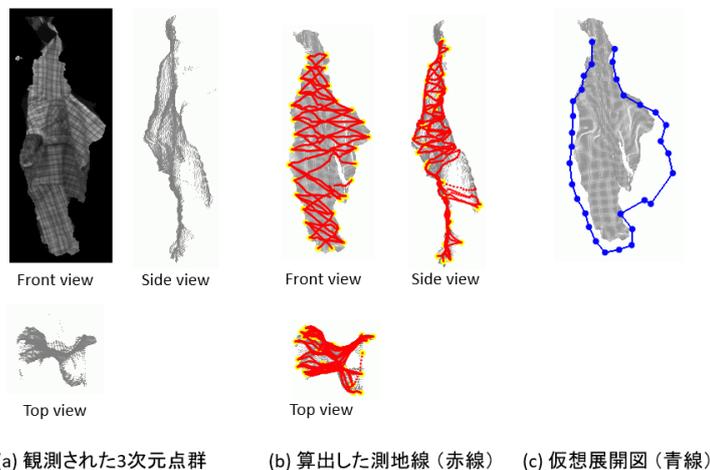


図2 3次元点群からの測地線算出とそれを用いた衣類仮想展開展開

(2) 単一視点からの観測で衣類一面のほぼ全体が観測されていることを仮定し(図2(a)のような状態)、観測領域の境界線上の点を用いて2点間の測地線距離を算出し、この値を平面上に展開したときの各点間の距離の拘束条件として仮想展開する手法を開

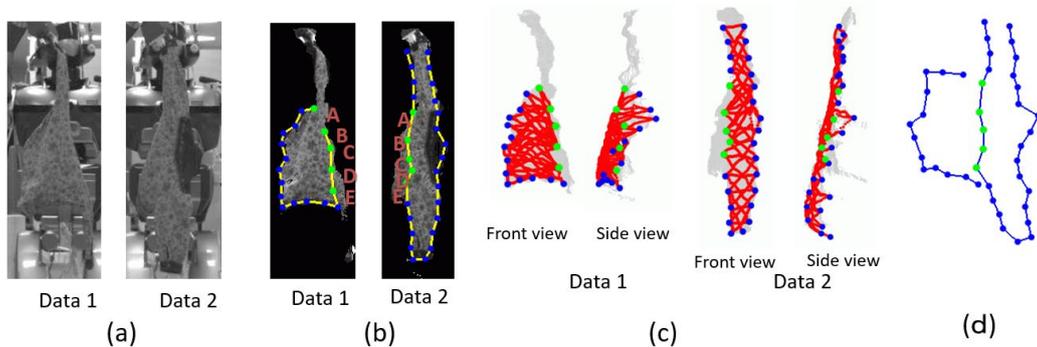


図3 異なる2視点の観測3D点群から得られる測地線を統合した仮想展開

発した。実データを用いた実験を行い、方針の有望性を確認した(図2(c))。また、こうして得られる展開図上の点に、元の3次元形状との対応を記憶させておくことで、仮想展開図を用いて衣類の認識を行った後、実際の3次元形状のどの位置にロボットハンドを動かせばいいのかが情報が得られることを示した。

(3) 複数観測距離画像を用いた衣類の仮想展開を実現する手法の開発を行った。先に開発した衣類展開手法を、衣類表面上の任意の2点間の測地線を算出できるように改良し、複数画像間で対応付けが可能な点を共通端点(図3(b)内のABCDE)とすることで、複数観測距離画像間の測地線情報(図3(c)内赤線)を同時拘束条件として平面にこれらの点を展開する手法を開発した。これにより、一方向からの観測では表面上の一部しか観測できない、大きな折れを有する衣類の表面展開も可能とした(図3(d))。

(4) 衣類観測領域の輪郭上の点のみを仮想展開していたこれまでの手法を発展させ、観測された衣類表面上のすべての点を平面上に展開できる手法を開発した。具体的には、衣類表面の3次元情報(図4(a))から面上に密なサンプル点を取り(図4(b))、近傍同士の2点間の3次元ユークリッド距離で測地線距離を近似することで、面上の点の展開図を獲得する(図4(c)~(e))。これらを頂点とするドロネー三角分割(図4(f))を用いてすべての観測点の展開平面上での位置を算出する(図4(g))。

(5) 観測方向を能動的に変えながら、複数視点3D観測データを用いて、衣類一面の全面を展開する手法を開発した。(4)で開発した観測衣類領域内のすべての点の仮想展開図を用いることによって、異なる観測方向間で明確に対応付け可能

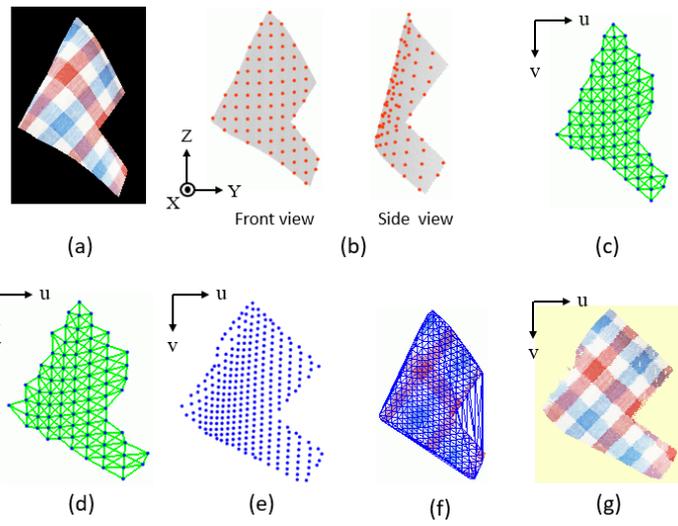


図4 近傍点のEuclid距離を用いた仮想展開

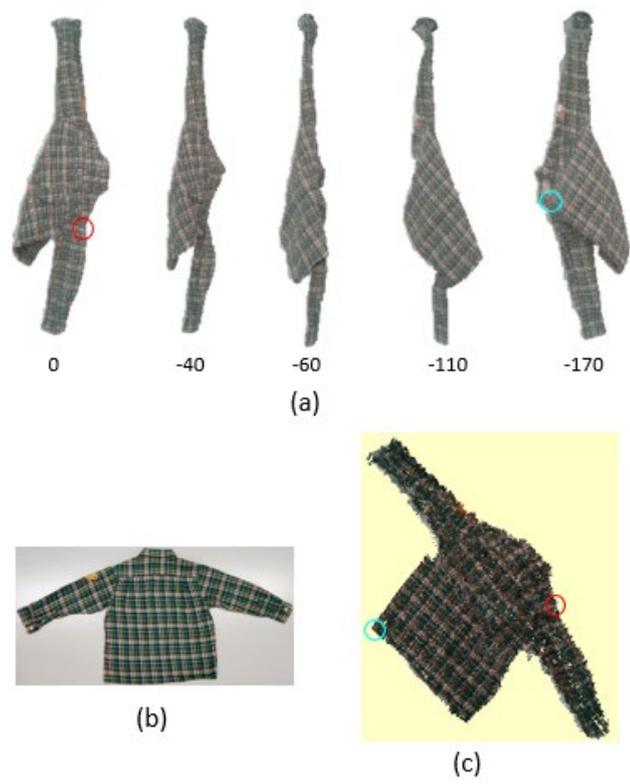


図5 観測方向を能動的に選択する多視点観測3次元点群を用いた仮想展開

な特徴点が存在しない場合にも統合ができるようになった。具体的には異なる観測方向でそれぞれ算出された仮想展開図をそれらの共通観測部が最も一致するように、仮想展開平面上で統合することにより、複数観測方向の観測データを統合していく。この際、能動的に次に観測すべき方向を現在の仮想展開図を元に自動算出し、その方向からの観測データの展開図を統合する、という処理を繰り返し、衣類の一面全体の展開図を得る。図 5(a)は、この手法により選択された観測方向の RGB-D データで、図 5(c)はこれらの観測データから算出された仮想展開図である。赤と青の丸が 3 次元形状と仮想展開図内の特定部位の対応を表す。比較のため、図 5(b)に対象衣類を物理的にひろげて撮影した画像も示す。

以下、関連技術の成果である。

(6) 将来的には、ロボットの頭に設置した広視野カメラで至近距離にある手元の衣類の 3 次元点群を得ることを目指し、広視野カメラ特有のカメラパラメータを簡便にキャリブレーションできるための原理を発見した。処理の高速化のために、3 次元至近空間上に平面を設定し、その近傍にある対象の形状を高速に復元する手法を開発した

(7) 一方向からの観測 3 次元点群の境界が衣類の縁にあたるのか、もしくは連続的な面が背後に回った遮蔽輪郭であるかを判定する手法を、深層学習を用いて作成した。これにより、異なる視点の観測データとの統合の可否を判定する情報が自動的に得られる。局所的な特徴情報と大局的な全体形状情報の両者を使って判定するアプローチをとることで安定した判定結果を得ている。

(8) ロボット座標系と 3 次元観測カメラ座標系のキャリブレーションを、キャリブレーションボードを必要とせず、ロボットハンドモデルを活用する簡易手法の開発を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Yasuyo Kita, Ichiro Matsuda and Nobuyuki Kita	4. 巻 5
2. 論文標題 Integration of multiple RGB-D data of a deformed clothing item into its canonical shape	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 16th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications	6. 最初と最後の頁 910-918
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5220/0010228209100918	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Gabas, A., Kita, Y. & Yoshida, E.	4. 巻 8
2. 論文標題 Dual edge classifier for robust cloth unfolding	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Robomech Journal	6. 最初と最後の頁 15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40648-021-00202-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Kita Yasuyo, Kita Nobuyuki	4. 巻 5
2. 論文標題 Virtual Flattening of a Clothing Surface by Integrating Geodesic Distances from Different Three-dimensional Views	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 14th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications (VISIGRAPP 2019, VISAPP)	6. 最初と最後の頁 541-547
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5220/0007410305410547	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yasuyo Kita, Yousuke Goi and Yoshihiro Kawai	4. 巻 1
2. 論文標題 Robot and 3D-sensor calibration using a planar part of a robot hand	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of 2017 IEEE-RAS 17th International Conference on Humanoid Robotics (Humanoids)	6. 最初と最後の頁 824-829
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/HUMANOIDS.2017.8246967	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Antonio Gabas and Yasuyo Kita	4. 巻 1
2. 論文標題 Physical edge detection in clothing items for robotic manipulation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceeding of IEEE-RAS 18th International Conference on Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 524-529
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICAR.2017.8023660	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yasuyo Kita, Nobuyuki Kita	4. 巻 Vol. 1
2. 論文標題 Virtual Flattening of Clothing Item Held in the Air	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceedings of 23rd International Conference on Pattern Recognition (ICPR)	6. 最初と最後の頁 2771-2776
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICPR.2016.7900055	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nobuyuki Kita	4. 巻 vol. 1
2. 論文標題 Evaluation of the Viewpoint Shift for a Fisheye Lens Based on Stereo Geometry	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceedings of International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA), 2016	6. 最初と最後の頁 573-577
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/DICTA.2016.7797038	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nobuyuki Kita, Yasuyo Kita	4. 巻 vol. 6
2. 論文標題 Reference Plane Based Fisheye Stereo Epipolar Rectification	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of 12th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications	6. 最初と最後の頁 308-320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5220/0006261003080320	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中島 雅己, 喜多泰代, 松田 一朗
2. 発表標題 RGB-Dカメラを用いた衣類の仮想展開の性能分析及び改良の考察
3. 学会等名 第20回情報科学技術フォーラム(FIT2021) 講演論文集
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

産総研知能システム研究部門マニピュレーション研究グループ / 研究内容 https://unit.aist.go.jp/is/mrg/ci/projects.html
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	植芝 俊夫 (Ueshiba Toshio) (20356546)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員 (82626)	H28からR1までの期間
研究分担者	喜多 伸之 (Kita Nobuyuki) (90356874)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・主任研究員 (82626)	H28の期間

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	喜多 伸之 (Ki ta Nobuyuki)		H29からR2の期間

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関