

広視野ステレオによる衣類形状計測

3D Measurement of Clothes by Fisheye Stereo

喜多 伸之

Nobuyuki KITA

産業技術総合研究所知能システム研究部門, nkita@aist.go.jp

概要: ヒューマノイドが片手か両手で把持してぶら下げている状態の衣類を, ヒューマノイドの頭部に搭載した広視野ステレオにより観測し, 3次元形状を計測する手法を提案する. 特に, 観測距離が近いことにより生じる, 左右画像における対象の見え方の違いに対して新しい対処法を提案する. 手法の妥当性と有用性を評価するために行った実験についても述べる.

1. はじめに

ヒューマノイドにより衣類をハンドリングさせるための技術開発を行っている. これまでに, ヒューマノイドから 3.5m 離れた位置に固定設置した 3 眼ステレオカメラにより, 机に置かれた衣類や, ヒューマノイドが持ち上げた状態の衣類の形状を計測し, その情報をもとに, 机から衣類を持ち上げたり, 持ち上げた衣類を持ちかえつつ最終的に両手で両肩を持って広げる作業を実現している[1]. ただし, 3 眼ステレオによる情報は一方向からの情報のみであるため, 例えば, 片手で持ち上げた衣類の肩の部位がヒューマノイド側に折れ曲がったときは, その部位の情報が得られない. 現状では片手を操作し, 衣類を鉛直軸周りに回転させることで対応している. もし他方向, 特にヒューマノイド自身の方向からの情報が得られれば, 作業の効率や信頼度を向上できる.

図 1 に我々が実験に使用しているヒューマノイド HRP-2[2]が成人用のブレザーを両手で広げ持った状態を上から見たイメージを示した. 頭部に観測用センサを内蔵する場合, 観測すべき領域がセンサを取り囲む半球に近い領域となり, かつ, センサから対象までの距離が 200mm から 500mm 程度となることからわかる. 筆者は先に広視野ステレオ(左右それぞれのカメラが魚眼レンズを搭載した広視野カメラで構成したステレオカメラ)により, これと同様の観測条件での 3 次元形状計測を実現している[3].

図 1 のセンサを広視野ステレオで置き換えた図 2 からわかるように, このような観測条件では, カメラからの観測対象の方向および距離が左右で大きく異なるため, 左右カメラでの対象の見え方の違いが対応

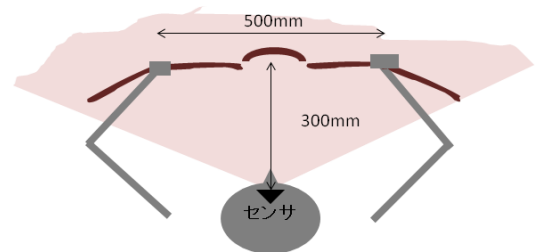


図 1 衣類とセンサの関係

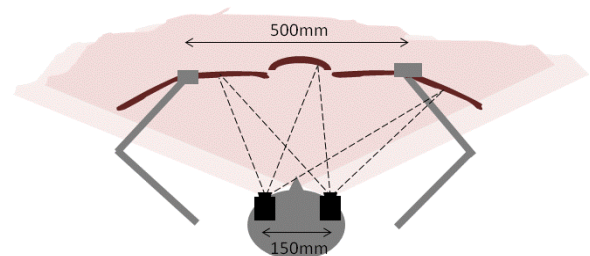


図 2 衣類と広視野ステレオの関係

付けを困難にするという問題が生じる.

本稿ではヒューマノイドが片手か両手で把持してぶら下げている状態の衣類をヒューマノイドの頭部に搭載した広視野ステレオにより観測した画像から, 衣類の 3 次元形状を計測する手法を提案する. 左右カメラで対象の見え方が異なる問題に対して, 文献[3]では観測対象が半球の内面であるという事前知識を使ったが, 本稿ではぶら下げた衣類の特性を活用した新たな手法を提案する.

以下 2 章でまず, ぶら下げた衣類の特性を考察し, 3 章でその性質を活用したステレオ計測アルゴリズムを提案し, 4 章に評価のために行った実験と結果を

紹介する. 5 章にまとめを述べる.

2. ぶら下げた衣類の特性

ぶら下げられた衣類は, 鉛直方向に重力により引っ張られ, 水平方向には衣類自身のはりと重力が釣り合う状態となる. このとき非常に大雑把であるが次のことが期待できる.

1. 鉛直方向にはしわができない. よって垂直方向に隣接した局所領域間では, 水平位置がほぼ同じであり法線方向の変化も少ない.

2. 水平方向にはカーテンのドレープのようなしわができる. つまり, 水平方向に隣接した局所領域間では, 水平位置と面の傾きが滑らかに変化する.

さらに, 衣類の特性ではないが, 衣類をぶら下げている状態のヒューマノイドの手に相当するグリッパの空間位置と向きがヒューマノイドの間接角度などの内部情報から計算できることから, 衣類全体の基本的な向きを推定できる.

3. ぶら下げた衣類の近接ステレオ計測

3.1 衣類の近接ステレオ計測の概要

広視野ステレオの内部および外部パラメータは文献[3]と同様のキャリブレーション手法で実施済みであるとする.

ステレオ画像からの 3 次元形状計測はエピポーラ拘束を利用したブロックマッチングにより行う. エピポーラ線は直線とはならないので, 文献[3]と同様に右画像の各ブロックについて, その視線上に奥行き候補を適当な間隔で配置し, すべての奥行き候補についてそれを左画像に投影した位置 (すなわちエピポーラ拘束を満たす位置) にてブロックマッチングにより類似度を計算し対応付けを決定する方法をとる. 観測対象が近いことから, 対象の見え方が左右カメラで大きく異なる問題については, 右画像での見え方から各奥行き候補の左画像での見え方を予測しつつブロックマッチングを行う. ブロックに相当する局所的な小領域が平面で近似できるとすると, その 3 次元位置と法線方向がわかれば右画像の見え方から左画像の見え方を射影変換により予測できる. つまり, 各奥行き候補の 3 次元位置は既知なので, 法線方向がわかれば予測可能となる. 本稿ではこの法線方向を推定するために 2 章で述べた「ぶら下げた衣類の特性」を活用する. 詳しくは次節で述べるが, まずは衣類全体の向きを利用し, 次にブロックの垂直方向の隣接

関係を利用し, さらに水平方向の隣接関係を利用する手法を提案する.

3.2 衣類の近接ステレオ計測アルゴリズム

1) ブロックの配置

右画像において一辺が S 画素の矩形ブロックを D 画素の間隔で格子状に配置する. 各ブロックには垂直方向, 水平方向の隣接するブロックへのリンクを保持する.

2) 奥行き候補の生成

各ブロックに関して, それに相当する視線上で衣類が存在可能な領域に含まれる範囲に奥行き候補を N 個, 等間隔に生成する (図 3). 衣類が存在可能な領域は, 衣類の基本的な位置と向きと奥行き幅 (図 3 の G_p , G_n , C_d) により決定する. 本稿の実験ではこれらの値はマニュアルで与えたが, ヒューマノイドがぶら下げている場合は, G_p と G_n はヒューマノイドの内部情報から推定できる.

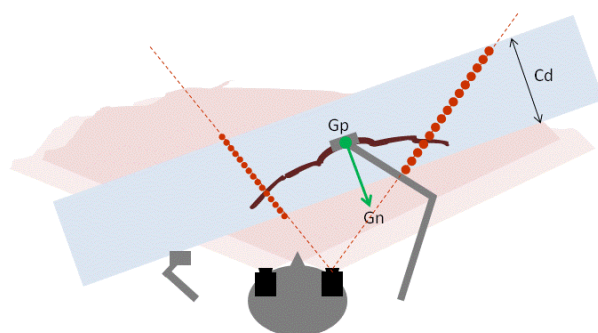


図 3 奥行き候補の生成

3) 出現位置の予測

各ブロックについて, すべての奥行き候補の 3 次元位置を左カメラに投影し, 左画像における出現位置を計算する.

4) 見え方の予測

各ブロックのすべての奥行き候補について, 衣類全体の向き (図 3 のように片手でぶら下げている場合はグリッパの方向, 両手でぶら下げている場合は両手を結ぶ方向に垂直な方向) が局所小領域の法線方向であると仮定して, 右画像に射影変換を施して, 左画像での見え方を予測する.

5) 類似度の評価

各ブロックのすべての奥行き候補について, 左画像上での出現位置の近傍 4 画素を中心とする 4 個のブロックについて, 4) で求めた予測形状の間で

NSSD (Normalized Sum of Squared Difference) [4]を計算し、それら 4 つの値の線形補間にて奥行き候補の類似度 S を計算する。 S の値が小さいほど類似度が高いことに注意。

6) 奥行きの決定

各ブロックについて、すべての奥行き候補のうち類似度 S が最小の奥行き候補を求める。その値 S_{min} が閾値 Sh より小さく、かつ単峰である場合は、その奥行き候補がそのブロックの奥行きであると決定し、3次元位置決定済みを示すラベルを張る。 S_{min} が Sh より小さく、単峰でない場合は、そのブロックに非単峰であることを示すラベルを張る。 S_{min} が Sh より大きい場合にはなにもしない。

単峰の判定は、 S が最小の奥行き候補の奥行きを L_{min} とし、 S が Sh より小さい奥行き候補のうち L_{min} よりもっとも奥行き方向に離れた奥行き候補の奥行きを L_{max} とし、 $|L_{min} - L_{max}|$ が閾値 Lh より小さければ単峰であるとしている。

7) 垂直方向の隣接関係の利用

非単峰とラベル付けされたブロックについて、垂直方向に隣接するブロックのいずれかが 3次元位置決定済みであった場合、その3次元位置を P として次の処理を実行する。

先に計算した類似度が Sh より小さい奥行き候補について P との水平距離を求め、その最小値を H_{min} とする。 H_{min} が閾値 Hh より小さいとき、その奥行き候補がそのブロックの奥行きであると決定し、3次元位置決定済みを示すラベルを張る。

新たに 3次元位置決定済みラベルを張られるブロックがなくなるまで、この処理を繰り返す。

8) 水平方向の隣接関係の利用

3次元位置決定済みラベルを張られていないブロックについて、水平方向に隣接するブロックのいずれかが 3次元位置決定済みであった場合、その3次元位置 P を利用してすべての奥行き候補の類似度を再計算する。具体的には、図 4 のように P と奥行き候補の水平位置関係から衣類の小領域の法線方向(図の赤矢印)を推定し、それに従って左画像での見え方を新たに予測した上で類似度を再計算する。再計算した類似度により、手順6)により奥行きを決定する。

新たに 3次元位置決定済みラベルを張られるブロックがなくなるまで、この処理を繰り返す。

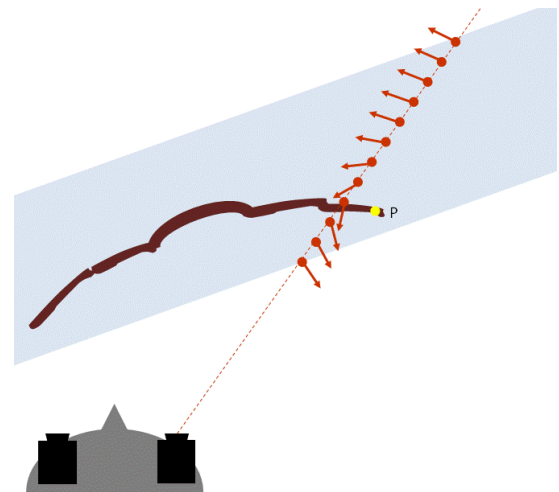


図 4 水平方向の隣接関係を利用した奥行き候補の法線方向の予測

4. 実験

提案したアルゴリズムの妥当性を評価するための評価用対象を使った実験と、実際に衣類形状を計測する実験を行った。これらは、ステレオカメラを三脚に固定して行ったが、ベースライン幅は HRP-2 に搭載するときと同じ 150mm にしている。

4.1 ステレオカメラ

レンズは Nikon との共同研究で開発したレンズ[5]を使用する。画角約 180 度で投影曲線は $y = f * \sin \theta$ をベースにさらに中心の解像度を高めた中心窩レンズである。広視野にも関わらず周辺減光がなく、画像全体で鮮明に像が得られる。カメラはレンズのイメージサークルの直径が 9.6mm なので、全体を画像化するために 1.2inch CCD を採用している Prosilica GE-560 を使用している。

4.2 評価用実験

4.2.1 評価用画像入力

ステレオカメラの正面に、片面に新聞を貼りつけたロール段ボールを図 5 に示すように配置して画像を撮影した。画像の大きさは 640 画素 x 640 画素で、左右カメラの絞りは同じ値に設定した。

4.2.2 3次元形状計測結果

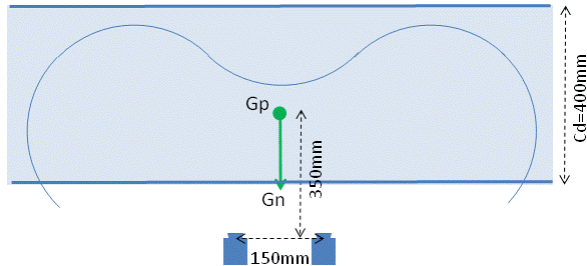


図 5 評価用画像の入力

ブロックは一边を21画素とし24画素の間隔で格子状に配置した。奥行き候補数は200とし、対象の存在可能領域は図5のように与えた。類似度の閾値 Sh は0.6, 単峰の判定の閾値 Lh は100mm, 垂直方向の隣接関係の利用における閾値 Hh は50mmとした。

図6に手順6まで終了したときの結果を, 図7に手順7まで終了したときの結果を示した。いずれにおいても, 下段に左右入力画像と3次元位置決定済みラベルを張られたブロックを示し, 上段には3次元位置決定済みラベルを張られたブロックの3次元位置を, 左はカメラの背後の方向から, 右は天井の方向から示した。黄色は手順6で, 青色は手順7で, 赤色は手順8で3次元位置が決定されたブロックである。

水平方向の画角120度程度の範囲において評価対象の形状が良く復元されており, 誤対応も少ないことがわかる。仮定した衣類全体の方向とは, 実際には法線方向が異なる領域が手順8によって, 正しく対応付けられていることもわかる。

4.3 衣類の形状計測実験

4.3.1 画像入力

ステレオカメラを三脚に固定し, 評価用の対象を設置したのとはほぼ等しい位置に, 成人用のブレザーを片手あるいは両手で保持した状態で画像を入力した。

4.3.2 3次元形状計測結果

異なる状態で入力したステレオ画像を手順8まで

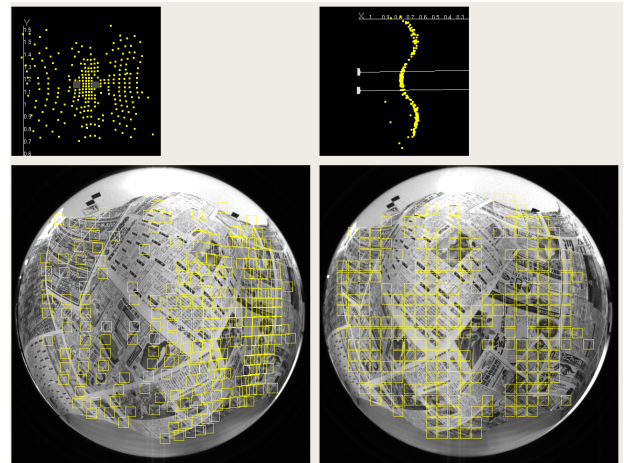


図 6 評価用画像の手順6までの処理結果

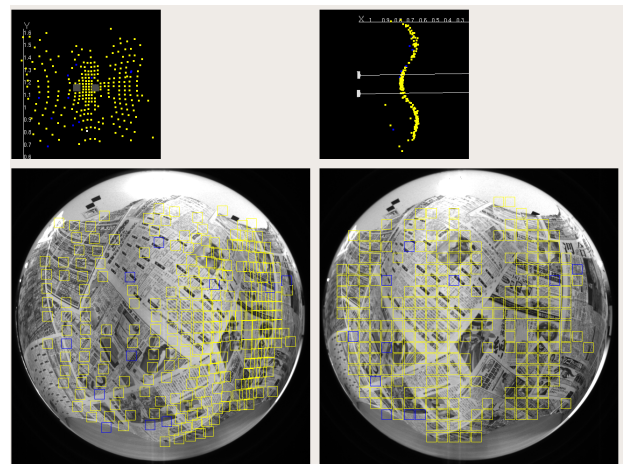


図 7 評価用画像の手順7までの処理結果

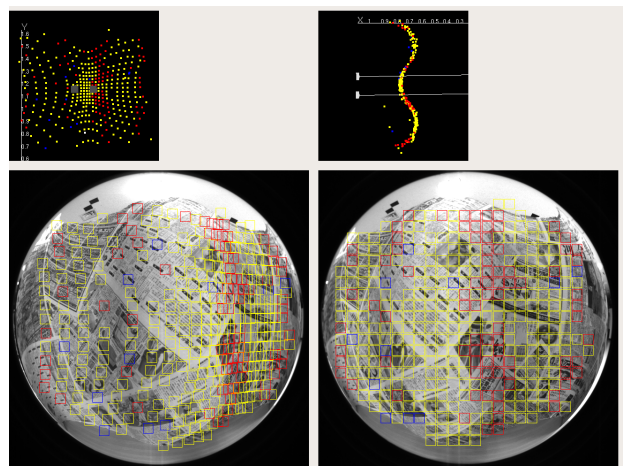


図 8 評価用画像の手順8までの処理結果

処理した結果を図9から図12に図8と同様に示した。各種パラメータは評価用画像を処理した値と同じ値としたが, 類似度の閾値 Sh だけは0.6から0.8と緩く設

定した。これは、衣類ではブロックに相当する小領域内でも緩やかな凹凸が存在するため、平面を仮定した予測の精度が落ちるためである。

類似度の設定を緩めにしたことで誤対応が若干増えてはいるが、衣類の袖と胴体部分の形状がある程度復元できていることがわかる。

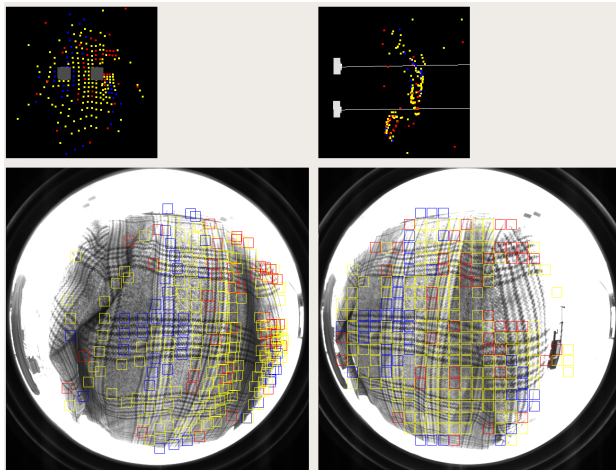


図 9 衣類画像(1)の手順 8 までの処理結果

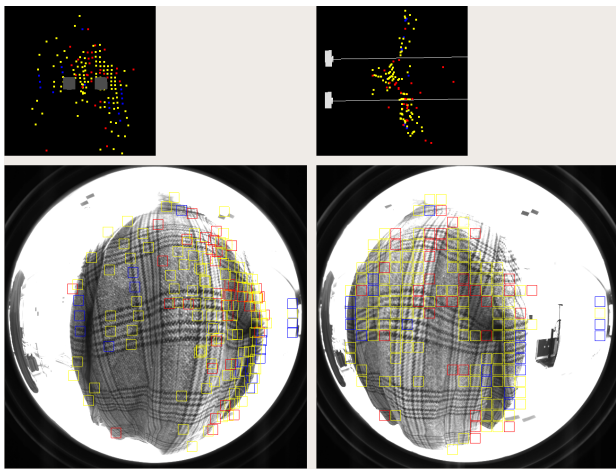


図 10 衣類画像(2)の手順 8 までの処理結果

5. まとめ

ヒューマノイドが片手あるいは両手でぶら下げている衣類を、ヒューマノイドの頭部に内蔵した広視野ステレオにより観測したステレオ画像から、衣類の 3 次元形状を計測するための手法を提案した。ステレオのベースライン幅の 1 倍から数倍の距離に観測対象があるために、対象の見え方が左右の画像上で大きく異なる問題に対して、ぶら下がっている衣類の特性を活用した手法となっている。手法の妥当性を評価

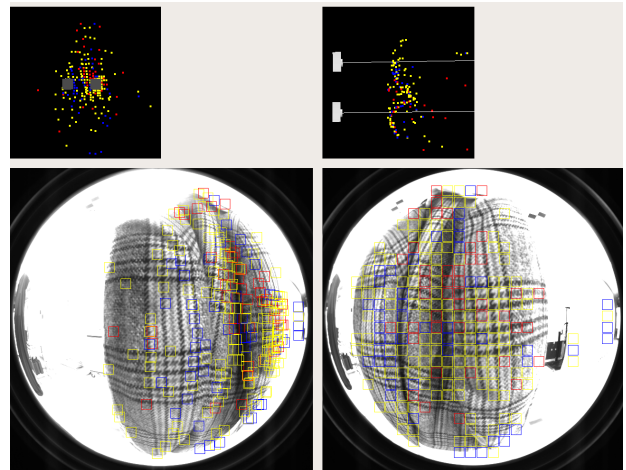


図 11 衣類画像(3)の手順 8 までの処理結果

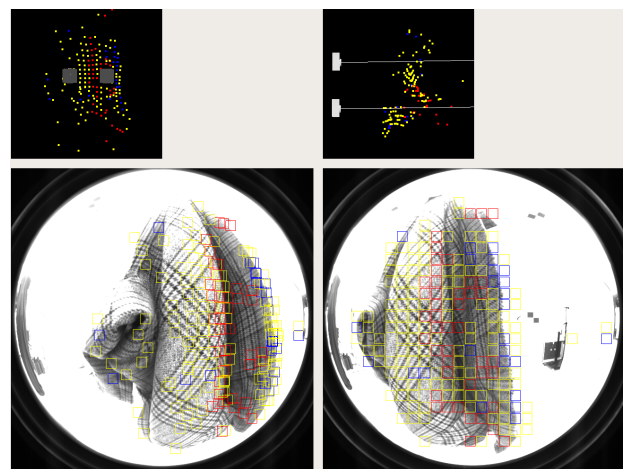


図 12 衣類画像(4)の手順 8 までの処理結果

するための実験と、実際の衣類を計測する実験を行い良好な結果を得た。

今後は提案手法による 3 次元計測の信頼度や精度を向上させるための改良を行う。また同時に、HRP-2 による衣類のハンドリングにも適用していくが、まずは衣類のモデルから得られる情報や、HRP-2 の内部情報、環境に固定した 3 眼ステレオから得られる情報などと統合して、ハンドリング動作に必要な情報を獲得することを課題とする予定である。

謝辞 本研究は、科研費(22240019)の助成を受けたものである。共同研究終了後も快くレンズを貸与していただいている(株)ニコンに感謝します。

参考文献

- [1] Y. Kita, F. Kanehiro, T. Ueshiba, N. Kita: Clothes handling based on strategic observation for recognition, 11th

IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, 2011.

- [2] K. Kaneko, F. Kanehiro, S. Kajita, M. Hirata, K. Akachi and T. Isozumi: Humanoid Robot HRP-2, In Proc. of IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation (ICRA '04), pp.1083–1090, 2004.
- [3] N.Kita: Dense 3D Measurement of the Near Surroundings by Fisheye Stereo, In Proc. of The Twelfth IAPR Conference on Machine Vision Applications, 2011.
- [4] A. Davison : Mobile Robot Navigation Using Active Vision , D.Phil (Ph.D) Thesis, Andrew J. Davison, University of Oxford, 1998.
- [5] 若宮, 千賀, 伊三木, 山村, 潮, 喜多:高性能中心窩レンズの開発, ビジョン技術の実利用ワークショップ (ViEW2005), 2005.

喜多伸之:独立行政法人産業技術総合研究所, 知能システム研究部門, ヒューマノイド研究グループ. 主任研究員. ヒューマノイドの視覚の研究に従事している.

<http://staff.aist.go.jp/n.kita/index-j.html>