

仮想人型モデルの直感的操作を可能にする AR 描画システムの構築

稲留 広貴† 曾我 真人‡

1. はじめに

1.1 研究背景

近年でのスキル学習支援に関する研究は、技能継承だけでなく災害学習やリハビリテーションなどの分野においても広く行なわれている。また、現実空間を仮想物体によって拡張する AR(Augmented Reality)の技術が一般化するにつれて、AR 分野での研究も行われるようになってきている。そこで、AR との親和性の高い学習支援として、人物画スケッチ学習支援システムが挙げられる。しかし、従来の人型の仮想物体を利用した人物画スケッチ学習支援システムでは、事前に用意された人型モチーフを選びスケッチを行うというもので、モチーフに対しリアルタイムに自分で好きなポーズをさせることが出来なかった。この問題を解決することによって、より直感的な操作が可能なモチーフ姿勢決定システムが実現できる。

1.2 先行研究

従来の人物画スケッチ学習支援システムに関する研究として、山田卓らが 2011 年に発表した「視点を自由に設定できる人物画の輪郭線スケッチ学習支援環境の構築」が挙げられる(1)-(3)。この研究は、本研究と同じく人物画スケッチ学習支援環境の構築を目的としている。この研究では、3DCG の人型モチーフを自由な視点から構図を決定し、人物画スケッチの骨格と輪郭線の診断を可能にした。しかし、このシステムでは事前に用意された複数のモデルの中から、好きなポーズのモデルを選ぶというもので、自分で好きなポーズを作り出すことが出来ないという、直感的なモデル操作における課題があった。

2013 年に Dong Woo Seo らが発表したシステムでは、マーカレスで AR 空間を作成し、Kinect の深度カメラと点群データを利用して手の部分を抽出することで仮想物体への接触判定を実現した(4)。しかし、仮想物体に対する直感的な把持移動には対応していなかった。

1.3 研究目標

本研究では、1.2 節で挙げた先行研究の問題点を踏まえて、学習者がデッサン人形をタンジブルインタフェース(5)として用い、それをリアルタイムに好みのポーズに変化させ、仮想のモデルの姿勢を変化させ、そのモデルを AR で表示する手法を提案する。そして、その試作システムの構築と評価を行う。

構築するシステムは、試作段階として 3D モデルの位置・姿勢に着目して構築する。人物モデルのポーズを操作するシステムを構築していく上で、操作後の 3D モデルの位置と姿勢の評価が必要となるため、試作段階として採用した。

実物体をトラッキングし、3D モデルを重畳表示することによって直感的なモデル操作が可能な AR 描画システムを構築することを構築することを目指す。

2. システム設計

2.1 提案手法

前章 1.3 節で挙げた目標を達成するために、以下のことを行う。

- ・ デッサン人形と仮想人型モデルを用意する
- ・ デッサン人形を対象物体として認識させ、3 次元的位置・姿勢と各関節を追従させる
- ・ 対象物体の参照点群に 3D モデルを重畳表示する

把持動作に適応させるために、実物体と実物体に近い形状の 3D モデルを使用する。また、3D モデルだけではなく実物体も使用することで、3D モデルの位置や姿勢を重畳表示先の実物体の姿勢から計測することが可能となる。これにより、前章で挙げた問題点にあった、既存モチーフの視点決定を PC 上で行う必要がなくなり、マーカレス AR で正しい位置・姿勢を推定することが出来る。

3D モデルを実物体の位置・姿勢に追従させるためには、対象物体の位置情報や法線の向きを取得しなければならない。今回は物体の把持移動による位置・姿勢の変化に対応させるために、現実空間の映像を取得するための機器として深度センサを搭載した Kinect を使用する。このデバイスによって現実空間の映像を、深度を含めた 3 次元データとして取得することができる。また、実物体と 3D モデルを適合させるために RGB-D カメラの映像から取得した点群データを解析出来るライブラリ PCL を用いる(6)(7)。これにより対象物体を認識し、対象物体の点群データを取得する。そして、対象物体の点群の位置と法線ベクトルを算出することによって実物体の位置と姿勢を 3D モデルと対応させる。また関節追従に関しては、Web カメラを用いて OpenPose による関節座標の推定を行い、ポーズに対応させた 3D モデルを RGB-D 画像データに重畳表示することで AR モデルのリアルタイムで直感的なポーズを実現する(8)。

2.2 システム概要

本システムでは人物画スケッチ学習支援への応用を鑑みて、実物体にデッサン人形を使用している。3D モデルを実物体の位置・姿勢に追従させるためには、対象物体の位置情報や法線の向きを取得しなければならない。今回は物体の把持移動による位置・姿勢の変化に対応させるために、深度センサを搭載した Kinect を使用する。このデバイスによって現実空間の映像を、深度を含めた 3 次元データとして取得することができる。本システムの物理構成は図 1 である。対象物体認識の精度を考慮し、Kinect と対象物体は 1 m 程離し何もない平面上に配置している。実物体と仮想物体を適応させるために RGB-D カメラの映像を点群データとして取得することが出来るライブラリ PCL を用いる。これにより対象物体を認識し、対象物体の点群データを取得する。そして、対象物体の点群の位置と法線ベクトルを取得することによって実物体の位置と姿勢を仮想物体と対応させる。

†和歌山大学システム工学研究科, Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

‡和歌山大学システム工学部, Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

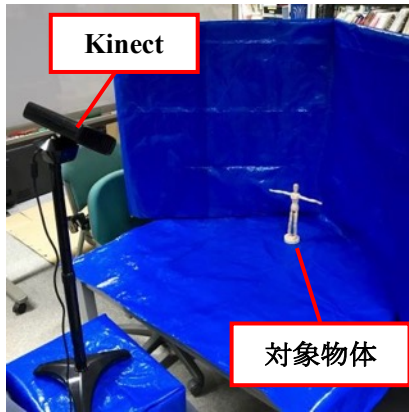


図 1 物理構成

位置と法線ベクトルを取得した対象物体に、3D モデルを重畳表示するためには 3D モデルの点群データと法線ベクトルも取得・計測する必要がある。本研究では 3D モデルを用意するにあたり、3次元点群処理が可能な 3D データ編集ソフトの MeshLab を使用した(9)。図 2 は本研究で対象物体に頂上表示する 3D モデルであり、図 3 は MeshLab を用い法線ベクトルを可視化したものである。

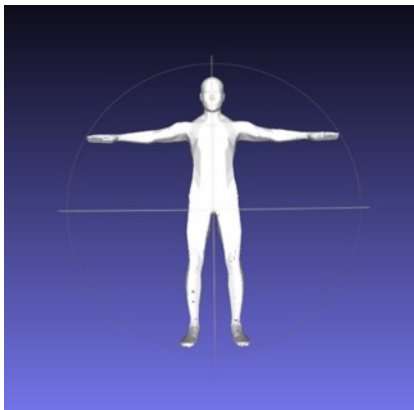


図 2 人型モチーフ



図 3 算出した法線

2.3 システム実装

本システムでは大別して以下の 3 種類の処理を実装する。

- ① 対象物体のリアルタイムな関節座標取得
- ② 対象物体のリアルタイムな物体追跡
- ③ 対象物体への 3D モデル重畳表示

まず、OpenPose を用いてデッサン人形の関節座標を取得する。取得出来る関節は 18 カ所であり、関節座標は 1 フレームごとに json ファイルで書き出される。この座標データを人型 3D モデルに適用することで好みのポーズングを実現する。この際、Web カメラと Kinect の視点の差を最小限に抑えるため、Kinect 上部に設置する。図 4 はデッサン人形の骨格推定をした際の OpenPose の実行結果である。

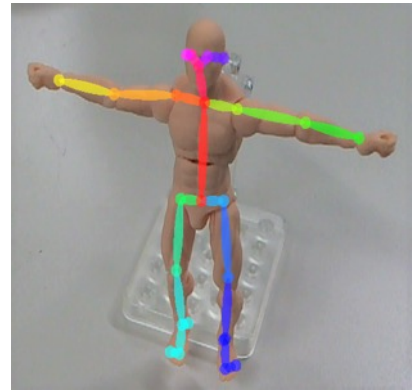


図 4 OpenPose の実行結果

対象物体を追跡するには、まず対象物体を背景から分割化されたモデルとして Kinect から取得する必要がある。取得したモデルの点群データをトラッカーとして設定し、対象物体の追跡を行う。物体追跡の処理の流れは、まず以前の粒子の位置と回転の情報を利用して次のフレームでそれぞれの位置と回転を予測する。次に、これらの粒子の重さを下記の尤度式で計算する(10)。

$$L_j = L_{distance} (\times L_{color})$$

$$w = \sum L_j$$

最後に、深度センサから取得した実際の点群データを予測粒子と比較し、粒子を再サンプリングする。分割化されたモデルの参照点群は、図 5 である。

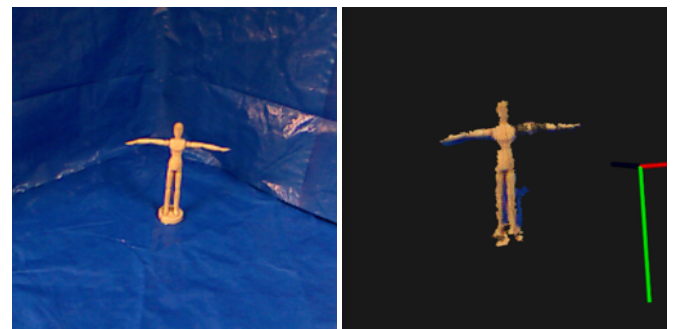


図 5 対象物体(左)と分割化されたモデルの参照点群(右)

図 5 の処理の際に得られる、トラッカーとして設定した分割化されたモデルの参照点群にテンプレートとして用意した人型 3D モデルの点群を重畳表示する。本システムでは、対象物体に追跡する仮想物体の情報のみを必要とするため、重畳先のモデルの参照点群は描画していない。図 6 は参照点群に 3D モデルの点群を重畳表示したものである。

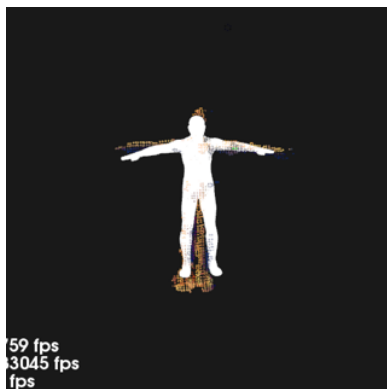


図6 参照点群に重畳表示された3Dモデルの点群

3. システム設計

検証実験は以下の項目を実施した。①, ②は予備実験であり, ③, ④が本実験である。

- ① デッサン人形の妥当性の検証
- ② 対象物体の認識限度の検証
- ③ 物体移動追跡の精度検証
- ④ 物体姿勢追跡の精度検証

3.1 予備実験

①について、本システムでは人物画スケッチ学習システムへの応用のため、対象物体にデッサン人形を使用した。しかし、形状の異なる対象物体を用いた場合の挙動を考慮し、対象にデッサン人形を用いることの妥当性を検証するために予備実験を行った。予備実験で行う動作は本実験の動作と同様である。予備実験では、図7に示すようなデッサン人形の他に、立方体と球を用意した。また、立方体と球に近い形状の3Dモデルとして図8に示すウサギ型のモデルを使用した。



図7 追加の対象物体



図8 追加した3Dモデル

予備実験の結果、デッサン人形を使用した場合は3次元的な移動と回転の両方に適合していることが分かった。しかし、立方体は回転に適合するものの、Kinect側から見た正面が次の面に切り替わるタイミングで仮想物体の認識が誤作動を起こし元の姿勢に戻ってしまうことが分かった。図5.4は実験中の物体追跡の挙動であり、回転後が回転前の姿勢に戻っていることが分かる。また、球は図5.5に示すように姿勢が不安定であり、回転に適合しないことが分かった。これらの原因として、立方体や球は表面の法線ベクトルが一定であり、面の変化に乏しい形状であるために、粒子の回転の追跡を誤認してしまうことが原因であると考えられる。そのため、本システムで用いる対象物体には、デッサン人形のような回転させた時の見え方の変化が大きいものを使用することが望ましいと考えられる。

②について、本システムは物体の把持移動に適合する必要性があったため、把持による対象物体の認識精度の予備実験Iを行った。システムで認識させる対象物体として用意したデッサン人形に対して、動作4パターンをそれぞれ5回ずつ行う。誤認識を起こさずほぼ正常に動作を終えた場合は○(= +1)、一時的な誤認識を起こし動作の不安定性が見られた場合は△(= 0)、誤認識を起こしほとんど動作しなかった場合は×(= -1)として記録を付ける。そして、記録した結果から本システムを使用する際の安定する動作パターンを明らかにする。対象とする動作パターンは以下の4つである。

- (ア) 腹部を横からつかむ
- (イ) 脚部を横からつかむ
- (ウ) 頭部を上からつかむ
- (エ) 胴体部分を手で覆う

把持動作(ア)～(ウ)はすべてほぼ正常に動作することが確認でき、本システムは把持動作に適合していることが分かった。しかし、動作(エ)に関しては、図9のように把持動作中に一時的な誤作動を起こし、把持している手に仮想物体の一部が追従している。

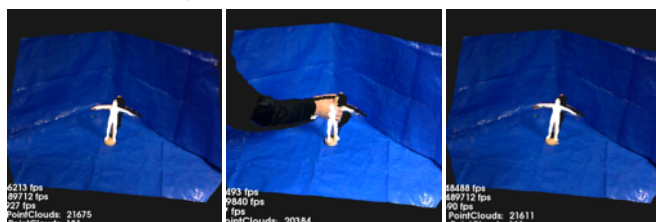


図9 把持動作(エ)の挙動(左から動作前・中・後)

図9のような挙動をしたのは、胴体部分を覆う動作により対象物体の半分以上が隠される状態になったことが原因である。トラッカーとして設定された対象物体の参照点群の大部分が手によって隠れてしまう場合、次のフレームでの点群の位置を探索する際に、予測できる点群が少ないために探索結果から最適な姿勢を推定することが困難になる。そのため、隠れていない脚の部分は追従できているが、大部分が隠されている上半身の姿勢を正常に推定できず、把持している手に上半身部分の点群が追従してしまう結果となった。

以上のことから、本システムは把持動作に対応しているが、一定の範囲を隠すような動作の種類によってシステムの挙動に影響を及ぼすことが分かった。本実験ではこれらの結果を踏まえ、対象物体の認識精度に影響の少なかった脚部や腰回りをもち動作検証を行った。

3.2 本検証実験の内容

本システムは物体の把持移動に適合する必要性があったため、認識限度の検証実験を行った。この実験では対象物体の一部を隠す動作を繰り返し、その時の仮想物体が正しく追従できている認識の限度を検証する。

③、④の精度検証では、条件を合わせるために、対象物体の配置地点を揃えた。また、計測をシステム起動した後対象動作を行うことを1セットとしてそれを20回ずつ行った。

物体移動追跡の精度検証では、対象物体を3次元的に移動させた時に、仮想物体が対象を見失うことなく正しい位置で追跡できているかを検証する。図10は位置精度検証実験中のシステム画面である。

物体姿勢追跡の精度検証では、物体を開始地点から動かさず360度回転させた時に、仮想物体が対象の回転に正しく追跡できているかを検証する。図11は姿勢精度検証実験中のシステム画面である。

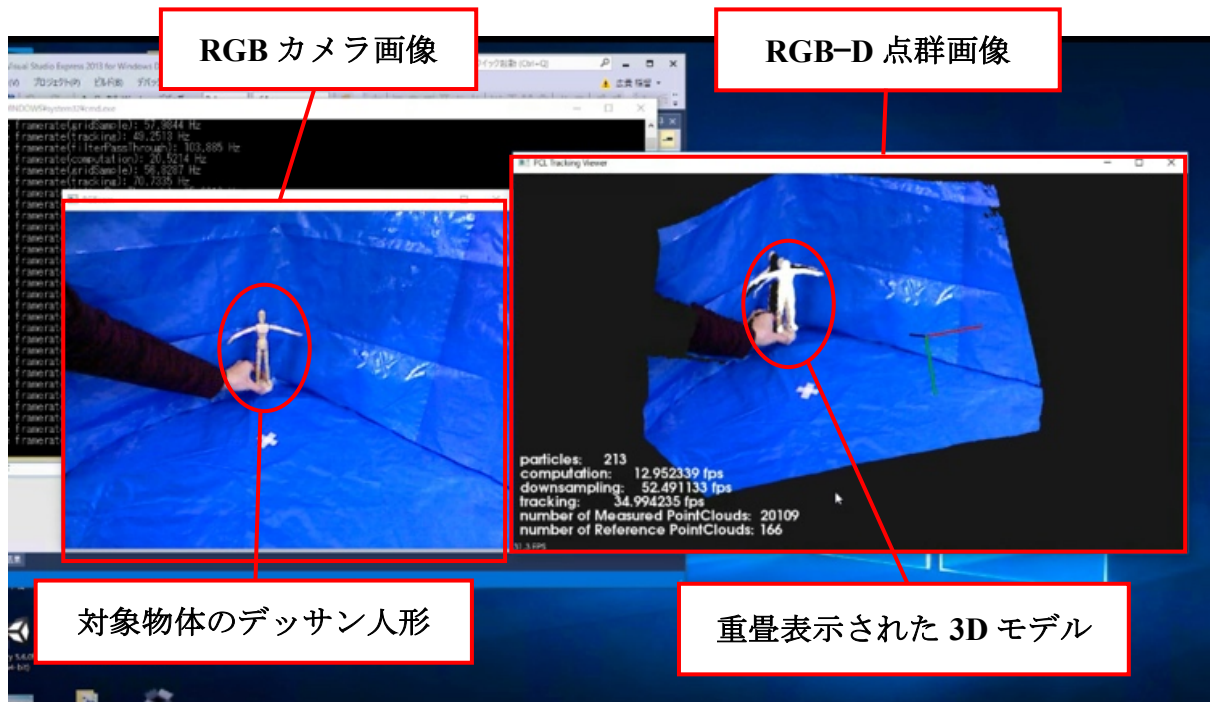


図 10 位置精度検証時システム画面

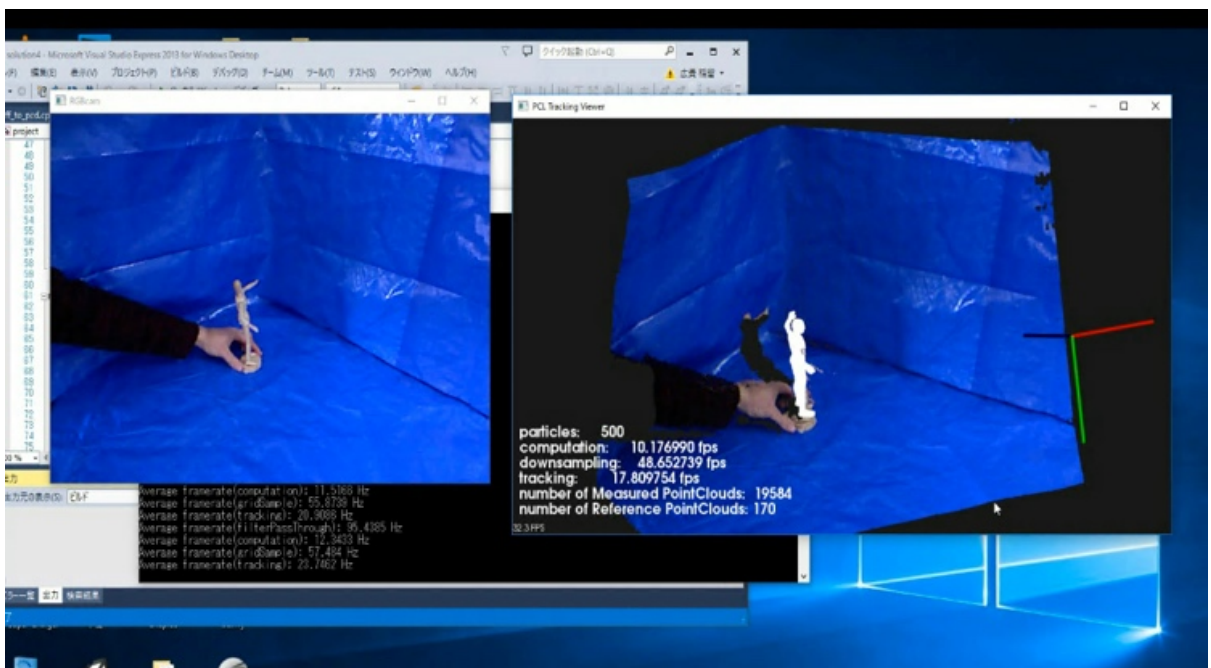


図 11 姿勢精度検証時システム画面

3.2 本検証実験の評価

システムで認識させる対象物体として用意したデッサン人形に対して、位置と姿勢に着目した精度検証を行う。位置の精度検証では、対象物体に対して 3 次元的な移動動作 3 パターンをそれぞれ 20 回ずつ行う。姿勢の精度検証では、対象物体に対して 3 次元的な回転動作 3 パターンをそれぞれ 20 回ずつ行う。両検証とも、追従が誤認識を起こさずほぼ正常に動作を終えた場合は○($= +1$)、追従するが誤認識を起こし動作が不安定であった場合は△($= 0$)、追従しない場合は×($= -1$)として記録を付ける。対象とする動作は以下の 6 種類であり、(A)~(C)が位置精度検証の動作パターンで、(D)~(F)が姿勢精度検証の動作パターンである。各動作パターンは条件を揃えるため、対象物体を配置する始点を設定した。また、動作の方向として設定した始点の座標系は Z 軸を高さ成分とした XYZ の 3 軸座標系である。

- (A) 左右に移動させる
- (B) 手前から奥に移動させる
- (C) 上下に移動させる
- (D) X 軸を中心に時計回りに 360 度回転させる
- (E) Z 軸を中心に時計回りに 360 度回転させる
- (F) Y 軸を中心に時計回りに 360 度回転させる

実験結果は以下の表 1 の通りである。動作は設定した 6 種類の動作パターン ID であり、合計は 3 段階評価の値を合算したものである。また、追跡率は合計値を下限-20、上限+20 とした時のそれぞれの動作パターンの合計値を百分率にしたものである。

表 1 本実験の結果

動作	A	B	C	D	E	F
合計	20	20	20	14	20	18
追跡率	100	100	100	85	100	95

まず、位置精度を検証した(A)~(C)の動作パターンを 20 回試行した結果が、全てほぼ正常に動作することを表す○であることから、追跡率は 100%となり本システムが対象物体の三次元的な移動動作に適合していることが分かった。

また、どの動作パターンでも正常に動作する○が半数以上を占めていることと、対象物体を 3D モデルが追従しないことを示す×が存在しなかったことから、デッサン人形は本システムを用いることで位置と姿勢を予測することが可能であることが分かった。しかし、回転動作パターンにおいて動作が不安定であることを示す△が一定数見受けられた。そこで、動作パターンを 20 回試行した合計値を参照し、動作の不安定性が見られた要因を明らかにする。

試行結果の合計値を見ると姿勢精度を検証した(D)~(F)のうち、(D)と(F)において動作の不安定性が見られた。これは回転動作中の姿勢によって、視認できるデッサン人形の面積が小さくなり Kinect が取得できる対象物体の参照点群の数が少なくなるためである。参照できる点群の数が減ると、次のフレームでの粒子の位置や方向の予測が誤認識を起こしやすくなる。X 軸を中心に時計回りに 360 度回転させる(D)に不安定性が最も見られた原因は、デッサン人形の全身が Kinect の正面に見える状態から足が正面になり

参照点群が減少した時に、デッサン人形の足元に付属する台座が Kinect の視線を大きく阻害したためである。

以上のことから、本システムはデッサン人形の位置と姿勢の追跡に適合しているが、動作の種類によってデッサン人形の形状によって姿勢変更時の追跡精度に影響を与えることが分かった。

4. まとめ

従来の人型の仮想物体を利用した人物画スケッチ学習支援システムでは、学習者がリアルタイムで人型モチーフを直感的に操作して好みのポーズに決めることは出来なかった。本研究では、従来の人物画スケッチ学習システムの問題を解決するために、対象となる実物体をタンジブルインタフェースとして操作することによって仮想物体を操作する手法を提案し、リアルタイムな把持動作時の位置・姿勢に適合する仮想モデル描画システムの構築を行った。

手法としては、デッサン人形の関節座標取得に OpenPose を使い、デッサン人形を 3 次元的な位置・姿勢を追従するために Kinect と PCL を用いた。

また、予備実験を通して、対象物体の選定における問題点を明確にした。

そして、検証実験を通して、本システムが把持移動時の位置、姿勢の変化に適合していることがわかった。

今後は、本システムを人物画スケッチ学習支援システムへ発展させていく予定であり、現在は OpenPose から取得したデータを PCL にリアルタイムに反映させるシステム環境を構築している。

5. 参考文献

- (1) 山田卓,曾我真人,瀧寛和,“視点自由に設定できる人物画の輪郭線スケッチ学習支援環境の構築”,人工知能学会全国大会論文集, 2011, <https://kaigi.org/jsai/webprogram/2011/pdf/285.pdf>
- (2) 山田卓,曾我真人,瀧寛和,“骨格と輪郭線を診断する人物画の学習支援環境の構築”,情報処理学会インタラクシオン 2012, <http://www.interaction-ipsj.org/archives/paper2012/data/Interaction2012/interactive/data/pdf/1EXB-36.pdf>
- (3) Masato Soga, Suguru Yamada, Hirokazu Taki, Development of a Learning Environment for Human Body Drawing by Giving Error Awareness for Bones and Contours 12th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, ITS2014, pp.640-643
- (4) Dong Woo Seo, and Jae Yeol Lee. “Direct hand touchable interactions in augmented reality environments for natural and intuitive user experiences”, Expert Systems with Applications, Volume 40, pages 3784 – 3793, 2013
- (5) Ishii, H. and Ullmer, B. 1997. Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (Atlanta, Georgia, United States, March 22 - 27, 1997). S. Pemberton, Ed. CHI '97. ACM, New York, NY, 234-241, DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/258549.258715>
- (6) Tsukasa Sugiura, Point Cloud Library 1.8.0 has been released, <http://unanancyowen.com/pcl18/>

- (7) Radu Bogdan Rusu, Steve Cousins, "3d is here: Point cloud library (pcl)", Robotics and automation (ICRA), 2011 IEEE International Conference on, 1-4
- (8) Zhe Cao, Gines Hidalgo, Tomas Simon, Shih-En Wei, Yaser Sheikh, "OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields", in arXiv preprint arXiv:1812.08008, 2018.
- (9) MeshLab, <http://www.meshlab.net/>
- (10) Point Cloud Library, Tracking object in real time, <http://pointclouds.org/documentation/tutorials/tracking.php>