

光学式スキャンによる被把持物体点群背面欠損部分における手の形状情報を用いた点群自動生成

東京都立大学 ○ 井塚雄喜, 長井 超慧

概要 光学式スキャナにより現物の点群データを取得する際、光が当たらない箇所の点群は計測できない。従って、物体を把持してスキャンすると、手が接触する面(背面)のデータは欠落する。本研究では手で物体を把持した状態の点群と、形を維持した手のみの点群を入力とし、手の形状を基に物体背面の欠損箇所に対する妥当な形を推測し点群の補間を行う手法を提案する。実験により、提案法により現物に近い点群が得られることを示す。

1 序論

現在、仮想空間内で仮想手を介することにより、仮想の物体の操作を行うことが可能になっている。また、その仮想物体には3次元データ(表面メッシュ)が利用されており、XR(eXtended Reality)の分野の中で重要な役割を果たしている。現物の3次元形状データを取得する方法の一つとして光学式スキャンが有効であると考えられている。光学式スキャンでは、対象物に光を照射することで物体表面上の3次元点座標集合(点群)を取得する事が出来る。取得した点群に表面再構成を行うことによって、表面メッシュを生成する。しかし、光学式スキャンでは光の当たらない場所のデータは欠損してしまい、表面再構成の結果望ましくない形状の表面メッシュが生成される問題がある。そこで本研究では手で現物を把持した状態でスキャンし、また任意の方法で取得した把持状態の手の形状情報を用い、手によって光が当たらない場所(被把持物体の背面と呼ぶ)のデータ欠損部分の点群を補完する手法を提案する。

2 アルゴリズム

本研究では、物体が剛体であり、手と物体の間に隙間がない状態で把持されていると仮定する。被把持物体背面データ欠損部分をベジェ曲面[1]を用いて補完し、曲面をサンプリングする。本研究の入力として手で物体を把持した状態の点群 P_{ho} (図1入力の黄色の点群) と手の点群 P_h (図1入力の緑の点群) を与える。図1に提案手法の流れを示す。

1. P_h から、被把持物体背面の欠損部分にあたる手の部分点群を抽出
2. 部分点群を近似するベジェ曲面の生成
3. ベジェ曲面上のサンプリング
4. 3で得た点群と、入力に含まれる被把持物体点群の統合

ステップ1ではデータの前処理として、被把持物体背面の欠損部分にあたる手の点群の抽出と抽出した手の点群の不要なへこみの除去を行う。ステップ2については以下で詳細を述べる。ステップ3では、ステップ2で生成したベジェ曲面上に均一に点群のサンプリングを行う。ステップ4ではステップ3で生成した点群と被把持物体点群の統合を行うことにより、被把持物体背面の点群が補完される。

被把持物体背面の欠損部分にあたる手の点群の抽出

背面欠損部分の形状の手がかりを得るため、被把持物体の背面にあたる手の点群を抽出する。被把持物体の背面にあたる手の点群の抽出法として、まず入力した点群 P_{ho} と点群 P_h の位置合わせを行う。次に点群 P_h から、点群 P_{ho} の差分をとることで、被把持物体背面のデータ欠損部分の手の点群を抽出する(図2)。点群 P_h のうち、一定距離以内に点群 P_{ho} の点がないものを差分とした。

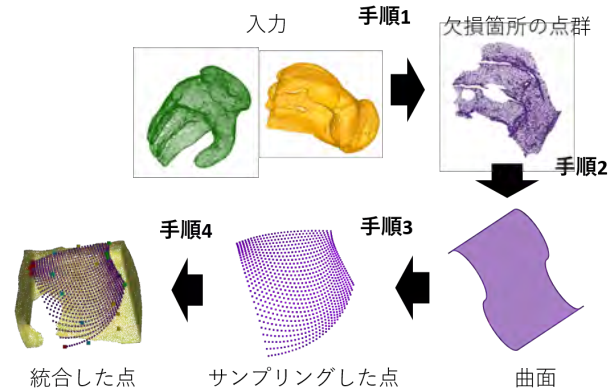


図1: 提案手法の流れ

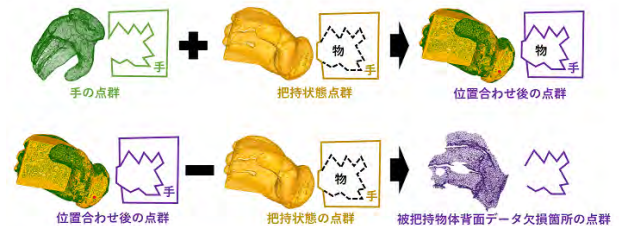
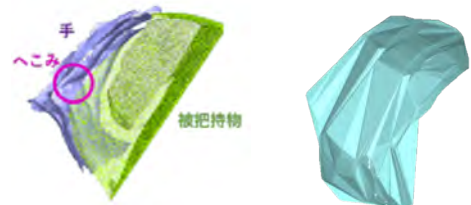


図2: 被把持物体背面箇所の手の点群抽出

抽出した手の点群の不要なへこみの除去

指関節を曲げると、関節の手の平側にくさび状の隙間(以下、へこみと呼ぶ)が生じる(図3(a))。そこで、複雑な凹凸を円の大きさと定量的に除去することが出来るアルゴリズムである α -shape [2] を用いることによりへこみを除く。



(a) へこみのある点群の例 (b) α -shape 後の形状

図3: 手の点群の不要なへこみの除去

2.1 ベジェ曲面の生成

2.1.1 ベジェ曲面による手の表現

ベジェ曲面には手の形状特徴を捉えた格子点状の制御点が必要である。そこで格子点の横軸と縦軸の方向を決める必要がある。本研究では図5に示す指の並ぶ方向を横軸、指の向かう方向を縦軸として定める。以下で求める 4×5 の格子状制御点

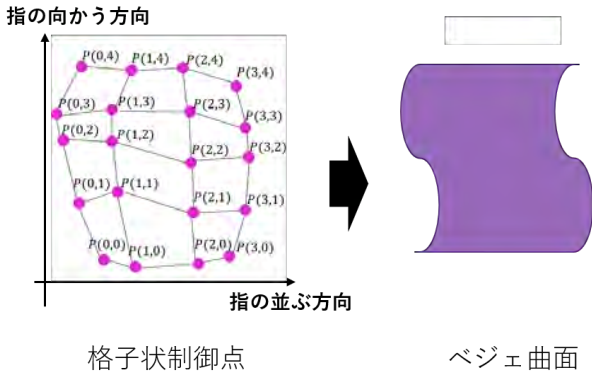


図 4: ベジエ曲面生成の模式図



図 5: 指の並ぶ方向

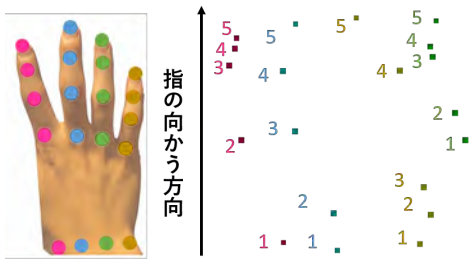


図 6: 指の向かう方向

(図 4) を用いて 3×4 ベジエ曲面を生成する。

2.1.2 制御点の生成

横軸の点の個数は人差し指, 中指, 薬指, 小指の 4 個とし, 横軸は指の位置情報を利用すると定めたことから, 手の点群をどの指に属するのかを分類する (図 5). 分類するための手法は k-means 法を用いた. ベジエ曲面を定義する制御点の縦軸の点数は, 図 6 に示すように各指の先端・各関節・手の付け根の 5 個とする. また, 各指の制御点の数を 5 個に揃えるために, 点群中の指の先端と付け根に相当する点を固定し, 間の点をマージすることでダウンサンプリングを行う。

3 実験

本実験では不要なブレによる影響を防ぐために手の代用として粘土で造形した手 (図 7 (a)) の点群とその手を用いた把持状態 (図 7 (b)) の点群を入力とする. 被把持物体の大きさは四辺形の長辺の長さが 69 [mm] である. 本実験では欠損を含む被把持物体の点群 (34,801 点) と α -shape で被把持物体の背面を補完した点群 (45,391 点) と提案手法で補完した点群 (35,701 点) それぞれに表面再構成を行って得た表面メッシュに対し, 被把持物体のみのスキャンデータ (真値データ) との形状誤差を計算した. その結果を図 8 に示す. また, 表面再構成として Poisson surface reconstruction [3] を用い, 形状誤差を示す指標

としてハウスドルフ距離 h_d [mm] を用いた. 図 8 より, ハウスドルフ距離について比較すると被把持物体を欠損状態のまま表面再構成をした結果より提案手法の方が, 真値に近いことが分かる. また, α -shape で行った補完ではハウスドルフ距離は提案手法よりもわずかながら小さいが補完した表面に望ましくない凹凸が出来てしまっている. 提案手法においてベジエ曲面は 4 端の制御点の影響が強く, 他の制御点の引っ張りの影響が小さかったためへこんでいるものの, 滑らかな曲面が生成された. 提案手法では手の形状情報とベジエ曲面を用いて補完することにより, 何も情報を持たない場合よりも真値に近い形状を生成できることが示された。



図 7: 計測データ

		点群	表面メッシュ	真値データとの重ね合わせ
真値データ	欠損状態 $h_d = 14.479$			
	α -shape $h_d = 11.890$			
	提案手法 $h_d = 11.892$			

図 8: 被把持物体背面の補完結果

4 まとめと今後の展望

本稿では, 手で物体を把持した状態の点群と手の点群を入力とし, 手の形状特徴を捉えた制御点によってベジエ曲面を生成しその表面を点群でサンプリングすることにより, 被把持物体背面のデータ欠損部分を補完することが可能であることを示した. また, より真値に近い形状が得られることを示した。

今回は補完する手法としてベジエ曲面を用いたが, より制御点に近い場所を通る曲面を生成することにより, さらに真値に近い形状を取得する手法を目指す. また, 制御点を被把持物体背面の欠損データの境界に合わせることで, 表面再構成によって補完される部分を減らすことでより信頼性のある補完を可能にする予定である。

参考文献

[1] 坂根 由昌, ベジエ曲線とベジエ曲面, 数学 2004 年 56 巻 2 号, p. 201-214
 [2] James D. Gardiner et al, Alpha shapes: determining 3D shape complexity across morphologically diverse structures, Article number: 184 (2018)
 [3] Kazhda et al, H. 2006. Poisson surface reconstruction. Symposium on Geometry processing, 61– 70.