

## ICP を用いた位置合わせによる 3次元点群の動き推定

金井 廉<sup>†</sup> 藤田 悟<sup>†</sup>法政大学 情報科学部<sup>†</sup>

## 1. はじめに

本論文では3次元形状モデリング等で用いる位置合わせ手法を利用し、ロボットのような関節を持つ剛体の動き推定手法を提案する。本論文の位置合わせには、距離画像間の対応点関係が不明な場合でも用いることのできる ICP を採用する[1][2]。また ICP には並列化可能な繰り返し処理部分が存在するので、該当部分を GPU による並列処理として実装した。そして動物体を認識させるために、この位置合わせを階層的に実施する。すなわち、全体の位置合わせの後、関節によって接続された剛体を局所的に位置合わせする。結果的に、全体と部分、2つの異なる剛体変換行列を求め、動き推定を行う。

## 2. 静止した剛体の位置合わせ

## 2.1. 位置合わせ

位置合わせとは、複数の点群データが同一の形状特徴をもつ場合に、点群データ同士の同一形状部分が座標系上で一致するように合わせる方の点群の座標を変換する手法である。位置合わせの手法には、合わせる点群の対応関係が既知であることを前提にした手法と、既知でないことを前提にした手法が存在する。前者は適切な線形変換を求めることで点群を精度良く一致させる事ができるが、元となる点群データの相対位置関係が正しいことが前提となる。後者は点の対応付け処理も行う必要があるため、対応関係既知の場合よりも一般に処理時間が大きい。しかし正確な点の対応関係が既知である場合は少なく、多くの場面で位置合わせの手法として採用されている。本論文では後者の ICP を用いた位置合わせを行う。

## 2.2. ICP

ICP (Iterative Closest Point) は3次元点群に対する位置合わせを行う際に用いるアルゴリズムである。ICP では点群の対応付け、剛体変換行列の導出と点群への適用、評価を繰り返し行うことで、最適な剛体変換行列を求めていく。ICP は近傍探索等で対応点を決定するために、対応付けが必ずしも正確でない。また結果が収束しても、局所解に陥ってしまう可能性がある。しかし点群データを用意するだけで位置合わせが可能であるため、対応点不明な3次元点群モデルの形成とは相性が良い。手法としては3次元メッシュ上からの点選択、点同士の対応付け、

重み付け、不要なペア排除、測量誤差の測定、測量誤差の最小化に関して様々なアルゴリズムが考案されている[3]。各項目について対象となる点群に最適なアルゴリズムを選択することで、高精度かつ高速な位置合わせが可能となる。

## 2.3. 提案する ICP

本論文における提案手法では ICP を用いた位置合わせを行うが、位置合わせを評価するためには点群の対応関係について解決しなければならない。総当りで対応点を決定する場合、データ点群中のすべての点に関して、N 個のモデル点群から最近傍点を探す事になる。しかしその場合の計算量は $O(N^2)$ となり、速度面で効率的ではない。そこで本論文では、図1のような距離画像上の視線を用いた対応点決定手法を提案する。まず、モデル点群となる距離画像上のある座標を貫く、視点からの直線(視線)を定義する。そしてこの視線によって貫かれるようなデータ点群上の点を対応点と定義する。この手法を用いた場合、対応点決定処理の計算量は $O(N)$ となり、総当りの手法と比べて高速に処理が可能である。

## 3. 部分運動のある剛体の位置合わせ

## 3.1. 剛体の関節モデル

本論文では部分運動を伴う剛体の動き推定を行う。この動き推定のモデルとなるのは、関節を持つ剛体である。関節を持つ剛体とは、自由度3の球によって剛体同士が連結された物体を指す。この関節を持つ剛体の動きは剛体全体の平行移動・回転と、各関節の回転パラメタによって決定される。この剛体全体の平行移動・回転と関節の回転パラメタを、位置合わせにおける点群に合わせるための剛体変換行列によって決定する。

## 3.2. 階層化 ICP

本論文では、位置合わせを行うための手法として、

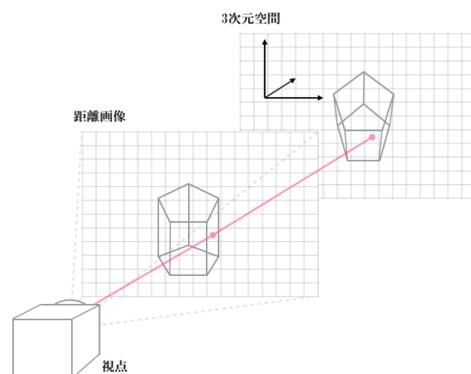


図1 視点からの視線を用いた対応点の決定



図2 位置合わせする距離画像



図3 剛体の運動部分の位置合わせ

階層化 ICP を提案する。階層化 ICP は、点群全体から局所点群へ、階層的に ICP による位置合わせを行う手法である。本論文のように、同一視点で運動剛体モデルの距離画像を複数取得した場合、背景を含む運動部以外はほとんど静止状態である。このような場合に位置合わせを行うと、静止状態の部分に関しては対応点との距離が小さくなり、逆に運動部は対応点との距離が大きくなるはずである。そこで、対応点との距離が指定した閾値以上の集合を別の点群として抽出し、抽出した点群同士の位置合わせを行う。対応点との距離が閾値より大きい点が収束判定数以下になるまで、ICP による位置合わせと点群の抽出を繰り返す。これを階層化 ICP と呼ぶ。階層化 ICP では、初回位置合わせの後にノイズとなる運動部分の背面の点群を除去している。これには3枚以上の距離画像が必要となる。まず、1枚目と2枚目、2枚目と3枚目... $n-1$ 枚目と $n$ 枚目のように距離画像のペアを作り、各々のペアについて位置合わせを行う。このとき一枚の距離画像はデータ点群、モデル点群として1回ずつ、計2回位置合わせの対象となる。双方の位置合わせ結果から同じ距離画像の点群だけを取り出すと、距離画像内の運動部分の点群と、他の距離画像に映る運動部分の背景となる点群が取得できる。これらの点群と、運動部分だけからなる点群を抽出する。すべての位置合わせ結果からすべての運動部分の点群を取得し、それらを再度 ICP で位置合わせすることで、運動部分だけからなる点群の位置合わせを行うことができる。

階層化 ICP による位置合わせと点群抽出を行うと、ある距離画像上の剛体の運動部分は別の距離画像上の背面部分の点群と対応する。そのため背面部分の点群も抽出されてしまい、ノイズとして次の ICP 位置合わせを阻害してしまう。

#### 4. 実験

位置合わせの対象となる距離画像を図2に示す。距離カメラには Kinect v1 を使い、取得する距離画像の解像度は $640 \times 480$ としている。CPU の動作周波数は 3.60GHz、RAM 容量は 32.0GB である。また ICP における点群対応付け処理と距離計算部分において、GPU を用いた並列計算を導入した。GPU に

は NVIDIA GeForce GTX 760 を用いた。なお点群の可視化には点群データを扱うライブラリである PCL[4]を用いている。実験として、図2の距離画像の運動部分の位置合わせを行った。図3にその結果を示す。提案した階層的 ICP によって対応点との距離が近い点群及び運動部の背景に当たる点群を除去し、運動部分のみの位置合わせに成功し、剛体変換行列を得ることができた。なお初回の ICP に要した時間は平均して約 200ms であった。

#### 5. 考察

全体の位置合わせでは、距離画像間で変化しない背景部分と剛体の非運動部分が取り除かれており、提案した対応付け手法が有効であることが分かった。また剛体の運動部分の位置合わせでは、運動部分と対応していた背面の点群が除去されていることが確認でき、図3より運動部分の位置合わせの成功が確認できた。このことから、本手法における背面除去が有効であったと考えられる。加えて位置合わせによって出力された剛体変換行列は、運動部分の運動前の座標を運動後の座標に変換する行列であり、位置合わせによって運動部分の動き情報を取得できたといえる。

#### 5. まとめ

本論文では、複数点群に対する位置合わせの手法を利用し、運動体の動き推定手法を提案した。剛体全体の位置合わせに加え、剛体の運動部分の局所的な位置合わせを行うことによって、運動部分がどのような運動をしたのかを剛体変換行列の形で取得することができた。また位置合わせに関しても、本論文で提案した階層的 ICP による位置合わせ及び対応付けが有効に動作していることが確認できた。今後は、複数の関節部分のパラメタが距離画像間で同時に変化したときの、位置合わせによる剛体の動き推定について研究を進める。

#### 文 献

- [1] Chen, Y., & Medioni, G. (1992). Object modelling by registration of multiple range images. *Image and vision computing*, 10(3), 145-155.
- [2] 増田健. “ICP アルゴリズム” 研究報告 コンピュータビジョンとイメージメディア(CVIM), Vol. 2009-CVIM-168, No. 23, pp.1-8, 2009.
- [3] Rusinkiewicz, S., & Levoy, M. (2001). Efficient variants of the ICP algorithm. In *3-D Digital Imaging and Modeling, 2001. Proceedings. Third International Conference on* (pp. 145-152). IEEE.
- [4] Rusu, R. B., & Cousins, S. (2011, May). 3d is here: Point cloud library (pcl). In *Robotics and Automation (ICRA), 2011 IEEE International Conference on* (pp. 1-4). IEEE.