

RealSense を用いた点群処理に関する基礎研究

北海道科学大学 ○大江亮介, 北海道科学大学 川上敬

要 旨

RealSense D435 を用いた点群処理の可能性について検証を行う。RealSense は赤外線センサにより奥行き情報の計測が可能である。奥行き情報から周囲の三次元点群をリアルタイムで取得し、Point Cloud Library を用いて点群に対する処理を行う。本稿では、RealSense で取得可能な複数の解像度で三次元点群を取得し、どの程度の計算速度で処理が可能かを検証する。

1. 緒 言

近年、現実世界を画像としてとらえるだけでなく、三次元の座標情報を含む点群として認識する技術に注目が集まっている。たとえばカメラ映像に仮想的な 3DCG オブジェクトをオーバーレイ表示する拡張現実の分野では、周辺の状況に応じた現実的な 3DCG を描画するために SLAM (Simultaneous localization and Map) ¹⁾ と呼ばれる三次元認識が用いられる。また、3D プリンターの普及とともに、構造物の三次元メッシュデータを生成する 3D スキャンも広く用いられている。さらに、現在実用化に向けた研究開発が進む自動運転の分野でも、道路の三次元地図を計測して道路状況の認識を行う試みが進められている ²⁾。

現実世界の三次元情報を取得するための技術は、大きく分けて二通りある。ひとつは複数の視点から撮影した視差画像を用い、画像処理を用いて三次元情報を推定する手法 ³⁾ である。この手法では、視差画像に対するステレオマッチングにより奥行き情報を推定するため、高精度な推定を行おうとすると計算量が増加する。もうひとつはレーザースキャナ等の計測機器を用い、奥行き情報を直接計測する手法である。レーザースキャナを用いることで高精度の奥行き情報が取得できるが、三次元に対応したレーザースキャナは高額であり、また取得した三次元座標に色情報を付加するためにはカラーカメラも併用しなければならない。

これらの手法に対し、家庭用計算機でも手軽に三次元点群の取得が可能な機器として Microsoft 社の Kinect が登場した。2010 年に発売された Kinect は、三次元点群の取得に加えて身体の骨格情報を認識するモーションキャプチャ機能も搭載しており、身体動作の研究にも多く用いられた。しかし、Kinect はすでに製造中止となっており、Intel 社により開発された RealSense が実質的な後継デバイスとして Microsoft 社により推奨されている。

本研究では、安価なデバイスを用いて周囲の状態を計測し、リアルタイムで三次元状態を認識することを主眼とする。そこで本稿では、RealSense を用いて安価に三次元点群のリアルタイム処理を行うための一助として、最新のデバイスである RealSense D435 の性能に関する検証を行う。まず初めに、RealSense D435 を用いて複数の解像度で奥行き情報を取得した際、三次元点群を生成するのにどの程度の計算時間を要するかを検証する。また、PCL (Point Cloud Library) を用いた三次元点群処理の一例を示し、リアルタイムで周囲の三次元

状態を認識可能かについて論じる。

表 1 奥行き情報の解像度および最大フレームレート

	Resolution	Max Frame Rate
Depth Data (16 bits)	1280×720 pixel	30 fps
	848×480 pixel	90 fps
	640×480 pixel	90 fps
	640×360 pixel	90 fps
	480×270 pixel	90 fps
	424×240 pixel	90 fps

2. RealSense を用いた三次元点群の取得

2.1 RealSense D435

本研究では、三次元のセンサデバイスとして RealSense D400 シリーズのうち D435 デバイス (以下、D435) を用いる。D435 はカラーカメラ、赤外線プロジェクタ、および左右のグローバルシャッター方式の赤外線カメラから構成されており、全長 10cm 程度の手のひらに収まるデバイスである。赤外線プロジェクタからパターン光を照射し、左右のカメラから得た 2 枚の赤外線画像から奥行きの推定を行う。この処理は D435 のハードウェア内で完結しており、ユーザが利用する際には生成された奥行き情報に直接アクセス可能である。

D435 により取得できる情報はカラー画像、奥行き情報、赤外線画像等いくつかあるが、色情報付きの三次元点群を生成する際には、カラー画像および奥行き情報のみを用いる。表 1 に、奥行き情報のみの取得可能解像度およびその解像度での最大フレームレートを示す。カラー画像は最大 1920×1080 ピクセル、奥行き情報は最大 1280×720 ピクセルを、いずれも最大フレームレート 30fps で取得が可能である。また、多少解像度が落ちるものの、カラー画像は 1280×720 ピクセルを 60fps で、奥行き情報は 848×480 ピクセルを 90fps で取得することも可能である。

2.2 Point Cloud Library 用の点群生成

D435 を含む RealSense D400 シリーズは、オープンソースの SDK である Intel RealSense SDK 2.0 を用いて利用できる。これはクロスプラットフォームの SDK ライブラリであり、Windows, Linux, MacOS で利用可能である。基本的には C++ 言語用の SDK であるが、ラップ実装を通して C# 言語、Python 言語、Unity, MATLAB 等でも利用が可能である。

SDK で用意されている点群処理用の pointcloud クラスには、D435 で取得した奥行き情報から三次元点群データを生成する機能、および生成した各三次元点群に対応するカラーピクセルの位置を取得する機能がある。CPU での処理となるが、pointcloud クラスを用いることで色情報付きの三次元点群を容易に生成可能である。ただし、SDK の pointcloud クラスが提供する三次元の点データは、三次元座標を示す 32bit 単精度浮動小数点数 3 個と、カラー画像上の対応位置を示す 32bit 単精度浮動小数点数 2 個で構成される。一方、点群処理に多く用いられるライブラリである PCL では、1 つの色情報付き三次元点データは、三次元座標として 32bit 単精度浮動小数点数 4 個、色情報として 8bit 符号無し整数 4 個を持つ。よって、単純なメモリコピーではなく、1 点ずつ値を代入することにより CPU 資源を消費する点に注意が必要である。

3. 点群処理の計算速度検証実験

3.1 実験環境

本章における数値計算実験は全て、CPU として周波数 2.9GHz の Core i7-7700T、メモリ 16GB、GPU として NVIDIA GTX 1050Ti を搭載した計算機を用いて行う。計算機と D435 の通信には D435 に付属するケーブルを用い、USB3.0 ポートで接続する。Intel RealSense SDK 2.0 および PCL を用いたプログラム作成には C++ 言語を用い、Visual Studio 2015 を用いて 64bit アプリケーションとしてコンパイルを行う。ただし、プログラム内でマルチスレッド、MPI、OpenMP 等の並列処理や、CUDA 等の GPU 処理は一切行わない。また、検証用のプログラムは確認用に OpenGL による色付き点群の表示機能を持つが、ディスプレイのリフレッシュレートによる影響を避けるために GPU による垂直同期機能はオフにしている。なお、D435 により計測を行うのはブラインドにより日光を遮った室内であり、蛍光灯により日常生活に支障がない程度の照度が保たれている。

表 2 解像度ごとの計算処理時間

Resolution	Monochrome	Colored	Keypoints
1280×720 pixel	4.195 ms	9.084 ms	145.888 ms
848×480 pixel	1.649 ms	4.066 ms	112.681 ms
640×480 pixel	1.262 ms	3.278 ms	107.762 ms
640×360 pixel	1.001 ms	2.451 ms	102.613 ms
480×270 pixel	0.526 ms	1.511 ms	94.725 ms
424×240 pixel	0.496 ms	1.141 ms	89.154 ms

3.2 計算処理時間

初めに、奥行き情報の取得解像度を変化させ、PCL の点群を生成したときの平均計算時間を求めた。表 2 の Monochrome はカラーカメラをオフにしたときの色情報無し三次元点群、Colored は色情報付き三次元点群の生成時間である。奥行き情報の各解像度に対するフレームレートは、利用可能な最大フレームレートを用いた。なお、色情報付き三次元点群の生成時には、解像度は 960×540 ピクセル、フレームレート 60fps のカラー画像を用いた。

表 2 より、色情報付き点群 1 点あたりの生成時間は解像度

に依存せず約 1.0×10^{-6} ms であり、生成する点群の総数と計算コストが比例することがわかる。また、最も解像度が高い 1280×720 ピクセルであっても、フレームレート 90fps における 1 フレームの処理時間 11.111ms を下回る計算時間で点群の生成ができています。このことから、D435 から PCL の色付き三次元点群を生成し、リアルタイムで描画処理を行い結果を確認することが可能であることが示された。

次に、PCL の色情報付き三次元点群を生成した後、PCL の距離画像 (RangeImage) への変換および NARF 特徴点の抽出を行ったときの平均計算時間を求めた。点群の生成、距離画像への変換、特徴点の抽出の全処理の計算時間を表 2 の Keypoints に示す。点群の生成とは異なり、解像度が低いほど 1 点あたりの計算時間は長くなっている。これは、NARF 特徴点の抽出が解像度にあまり依存せず、一定の計算時間を要するためである。

なお、SDK により取得可能な奥行き情報は距離画像そのものであり、一度 PCL の三次元点群を生成した後に PCL 側で処理可能な距離画像へ変換を行うのは冗長である。よって、SDK の奥行き情報を直接距離画像として特徴点の計算を行えば、特徴点計算の効率化が可能になると考えられる。参考までに奥行き情報の解像度を 424×240 ピクセルとし、画像処理ライブラリ OpenCV を用いて距離画像の生成および AKAZE 特徴点の抽出と特徴量計算を行ったところ、平均 18.493ms での処理が可能であった。また、NARF 特徴点および求めた AKAZE 特徴点を比較したところ、AKAZE 特徴点の方がやや個数が多く抽出されるものの、構造物の輪郭部分に特徴点が集まる等、特徴点の品質はほぼ同等であることが確認できた。

4. 結 言

本研究では、RealSense D435 を用いたリアルタイムでの三次元計測の可能性を検証した。検証実験の結果、D435 の計測フレームレートに対して余裕のある計算時間で PCL の色情報付き三次元点群が生成可能であることが示された。一方、特に工夫をせずに NARF 特徴点の抽出を行おうとすると、解像度によらず 100ms 前後の計算時間を要し、滑らかなリアルタイム表示は難しいことがわかった。

どのような目的で処理を行うかによって、必要とされる点群の個数は変化することが考えられる。D435 は高解像度で奥行き情報を計測可能であるが、必要に応じて利用する点数を制限する等、高速化のための工夫を行うことが必要であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) MWM. Gamini Dissanayake, et al. : A solution to the simultaneous localization and map building (SLAM) problem, *IEEE Transactions on robotics and automation*, **17**(3) 229-241 (2001).
- 2) 青木啓二 : 自動運転車の開発動向と技術課題: 2020 年の自動化実現を目指して, *情報管理*, **60**(4) 229-239 (2017).
- 3) T. Kanade and M. Okutomi : A stereo matching algorithm with an adaptive window: Theory and experiment, *IEEE International Conference on Robotics and Automation* (1991)