

Structure from Motion 処理の性能分析と FPGA による高速化の検討

平川 いつき[†] 大川 猛[†]

東海大学情報通信学部組込みソフトウェア工学科[†]

1. はじめに

カメラ画像を用いて三次元形状復元を行う技術[1]が注目されている。また、それらを手元で扱うことのできるオープンソースのライブラリ[2]も開発されており、三次元形状復元処理の、組込みシステムへの導入が期待されている。しかし、三次元形状復元処理は計算コストが高く、組込み機器への負荷は大きいという問題がある。

FPGA はハードウェア処理により高速化が可能であるデバイスであるが、三次元形状復元処理における一連の手順を FPGA で高速化する事例は報告されていない。そこで、オープンソースのライブラリである openMVG (Multiple View Geometry) [2] の性能分析を行い、画像からの三次元形状復元処理の FPGA 化について検討を行った。

2. 三次元形状復元の手法

今回対象とした三次元形状復元の手法は大きく分けて以下の2つの手順からなる。

1. 画像のカメラパラメータの推定 (SfM)
2. 密な三次元形状の復元 (MVS)

最初の手順として、Structure from Motion (SfM) [3] 処理を用いたカメラパラメータの推定が行われる。SfM は多視点から撮影された画像からカメラ座標と復元対象物体の特徴点座標の取得を自動で行い、疎な点群を得て形状を復元する技術である。

次に、検出した特徴点を用いて Multi-view Stereo (MVS) [4] で密な三次元形状の復元を行う。

SfM 処理過程の中で行われる特徴点のマッチングでは、適切な特徴点をより多く検出することで MVS において精度の高い結果を得ることができる。広範囲を対象とした三次元形状復元を行う際はそれに沿った大量の画像を扱う必要があるが、特徴点の計算はコストが高く、処理に時間がかかる問題がある。

3. openMVG の構成

openMVG は、複数の視点から撮影した画像に SfM 処理を行い、疎な点群で形状を復元することができるオープンソースライブラリである。openMVG で得た点群データに MVS による形状復元の手法を用いることで、密な点群を生成することができる。openMVG のチュートリアルでは11枚の画像を元に SfM 処理を行い、3D データで復元された疎な点群を見ることができる。

openMVG での SfM 処理を図1に示す。

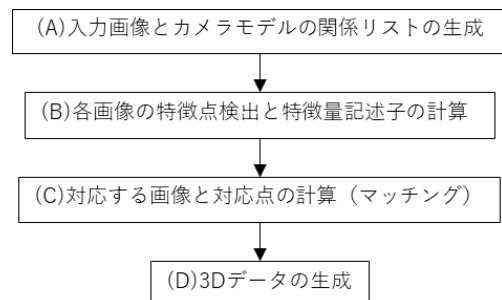


図1: SfM 処理の概要

これらの処理の結果として、(a)使用する画像とカメラモデルの関係のリスト、(b)各画像の特徴点の検出と特徴量の記述結果、(c)特徴点から推定された対応点情報とその可視化ファイル(svg)、(d)復元結果の疎な点群によって構成された3Dデータ(ply)が、ファイル出力される。

また、特徴点の検出と特徴量記述にはデフォルトで SIFT[5] が用いられ、3D データ生成には Incremental SfM[6] を使用している。

4. 性能分析および FPGA 処理による高速化の検討

SfM 処理で複数枚の画像から疎な点群データを取得するための4つの手順から、並列処理による高速化可能性について検討した。特徴点の検出を行う SIFT などの手法については既に FPGA による高速化や最適化に関する研究が行われているが、今回は自動的に SfM を行う一連の処理の高速化を考えているので、全体的な処理を基本に処理時間の計測を行った。

画像枚数毎による各手順の処理時間を表1および図2に示す。

表 1：枚数毎の各処理時間(単位：秒)

画像枚数	30	60	120	180
(A)画像入力	0.001	0.003	0.008	0.01
(B)特徴点検出	12.312	26.729	53.112	80.225
(C)マッチング	0.641	3.545	14.601	33.603
(D)3Dデータ生成	1.346	2.58	17.161	45.602
合計	14.3	32.857	84.882	159.44

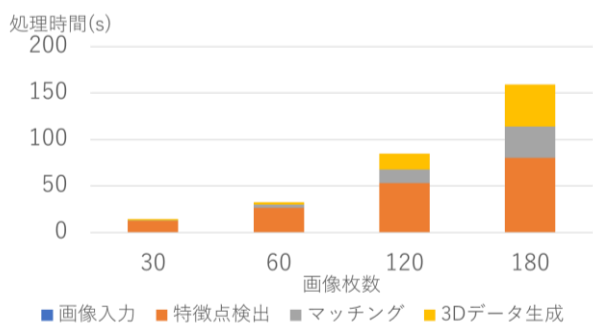


図 2：枚数毎の各処理時間(単位：s)

30, 60, 120, 180 枚ごとに各手順の処理時間を計測、比較し高速化が必要な箇所を検討した。枚数が増加するごとに、特徴点検出の処理時間だけでなく、特に 3D データ生成の処理時間も大きくなることを確認された。

3D データ生成の際、30 枚の際の処理時間が約 1.3 秒であったのに対し、180 枚の際の処理時間は約 45.6 秒であった。すなわち、枚数が 6 倍であるのに対し、処理時間が約 33 倍に増えている。また、この際、特徴点個数は枚数に比例して 6 倍であった。

また、各手順を並列処理する可能性を検討するために、入力画像データおよび各手順 A, B, C, D の出力データの量を調査した。結果を表 2・図 3 に示す。手順 (A) の出力データを (a)、手順 (B) の出力データを (b)、とした。

入力データは、画像によりばらつきがあるがおおむね 1 枚当たり 30~40KB であり、画像枚数 30 枚の時の合計データ量は約 1.2MB であった。調査の結果、(a)・(d)の数 10KB 程度であるのに対し、(b)・(c)の数 MB 程度であり、約 100 倍データ量が多いことが分かった。

以上の分析結果によると、処理時間の割合が大きいのは (B) 特徴点検出 (および特徴量記述) 処理であり、最大で全体の 80% 程度を占める (画像枚数 30 枚の場合)。また、画像枚数が多くなるにつれ、(D) 3D データ生成の比率が大きくなることが分かった。そのため、(B) および (D) の処理を、FPGA を用いて高速化することで、SfM 処理全体の高速化が可能であると考えられる。

また、(b), (c) の出力データは、それぞれ次の

手順 (C), (D) で使用するため、データを通信して別のサーバ等で計算するには通信時間がかかる問題がある。そのため、手順 (B), (C), (D) は一続きの処理として行うことが望ましいと言える。

表 2：各手順の出力データ量(単位：Byte)

画像枚数	30	60	120	180
input	1,197,070	2,337,572	6,200,229	9,107,351
(a)	17,812	34,672	68,453	102,353
(b)	1,390,485	2,800,670	5,895,653	9,002,557
(c)	263,266	884,778	3,784,498	8,296,890
(d)	4,397	6,254	4,052	36,308

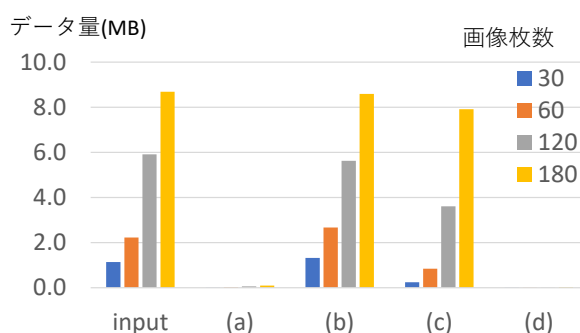


図 3：各手順の出力データ量(単位：MB)

5. まとめ

本稿では、三次元形状復元処理の高速化の検討を行うために、openMVG を用いて SfM 処理に関する分析を行った。その結果、SfM 処理の中でも特徴点検出処理と 3D データ生成における点群処理に時間がかかっており、後者は、画像枚数が増加するにつれて比率が高くなっていくことが分かった。以上より、SfM 処理においては特徴点検出処理および点群処理の FPGA による高速化を検討することで一連の処理の高速化を図ることができると考えられる。

参考文献

- [1] Z.Li, et al., "Learning the depths of moving people by watching frozen people," in CVPR, 2019.
- [2] <https://github.com/openMVG>
- [3] 織田和夫, "解説: Structure from Motion(SfM) 第一回 SfM の概要とバンドル調整," 写真測量とリモートセンシング, VOL. 55, NO. 3, pp. 206-209, 2016.
- [4] S. Agarwal, et al., "Reconstructing Rome," Computer, VOL. 43, NO. 6, pp. 40-47, 2010.
- [5] 藤吉弘亘, "画像局所特徴量 SIFT と最近のアプローチ", 人工知能学会誌, VOL. 25, NO. 6, pp. 753-760, 2010
- [6] C. Wu, "Toward Linear-time Incremental Structure from Motion," 3DV 2013, pp. 127-134, 2013.