

(10) UAVとJoint-HOG特徴量を用いた 建設現場3Dモデリングにおける精度向上

山口 麗華¹・矢吹 信喜²・福田 知弘³

¹学生会員 大阪大学 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 博士前期課程
(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: yamaguchi@it.see.eng.osaka-u.ac.jp

²フェロー会員 大阪大学教授 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻

³正会員 大阪大学准教授 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻

近年, Unmanned Aerial Vehicle (UAV) による空撮と Structure from Motion (SfM) を組み合わせた建設現場の 3D モデル化技術が注目され, 出来形管理や進捗管理への適用が期待されている。しかし, 建設機械の存在が 3D モデル化の誤差要因となるのを防ぐ為, 建設作業を行っていない時間帯で空撮を行う必要がある。また, 撮影には数時間を要する為, 高頻度で撮影を行うことは難しい。そこで, 本研究では, 建設作業時に撮影した全ての写真から, 建設機械を自動的に検出, 除去した上で, SfM による 3D モデル化を行う手法を提案する。建設機械の検出は, 2 段階に構築した Real AdaBoost によって, 複数の Histograms of Oriented Gradients (HOG) 特徴量を組み合わせた, Joint-HOG 特徴量を用いて行った。全ての検出部分に対して, マスク画像を作成することで, モデル化に対象から除去した後に, 3D モデル化を行うことで, 精度向上の可能性を検討した。

Key Words : Histograms of Oriented Gradients, Structure from Motion, unmanned aerial vehicle, construction site modeling, photogrammetry

1. 研究の背景と目的

近年, Unmanned Aerial Vehicle (UAV) による低空空撮と Structure from Motion (SfM) を組み合わせた3Dモデル化技術が注目され, 森林管理等への使用が提案されている。土木建築分野についても, 施工段階において, 施工管理や出来形管理への適用が期待されている¹⁾。SfMによる3Dモデル化は, 画像中の特徴点を用いて行う為, 建設現場内で作業を行う建設機械が誤差となる可能性がある。その為, 3Dモデル化を行う前後でそれら誤差要因が写る画像を手動で除去, あるいは建設作業を行っていない時間帯でUAV空撮を行う必要がある。また, 1回の撮影には数時間を要する為に, 高頻度での撮影は困難である。

そこで本研究では, 建設機械を自動的に検出, 除去した後に3Dモデル化することで, 建設作業状況下でも高精度での3Dモデル化を可能とするシステムを開発することを目的とした。手法としては, 作業中に撮影した画像から, Histograms of Oriented Gradients (HOG) 特徴量を求め, セル毎のHOG特徴量の組み合わせを基に算出したJoint-HOG特徴量²⁾を用いて建設機械の検出を行い, 其々の画像についてマスク画像を作成することで, 3Dモデル化対象から除去した。そして, 開発したシステムの検証を建設機械の玩具等を用いて行うこととした。

2. システム

(1) 開発したシステムのアルゴリズム

本研究で開発したシステムのアルゴリズムフローを図-1に示す。本システムは, SfMによる3Dモデル化に用いる全ての画像から, 予めJoint-HOG特徴量を基に, 建設機械を検出する。検出した部分に対応するマスク画像を作成することで, 3Dモデル化対象から除去した後に, SfMによる3Dモデル化を行うことで精度向上を図る。

(2) Joint-HOG特徴量を用いた建設機械検出

本システムでは, 以下の手順で2段階のReal AdaBoostを行うことでJoint-HOG特徴量を算出し, 建設機械検出の識別器として用いた。

- ① 予め検出対象の建設機械を多方向から撮影し, 撮影した全ての画像からHOG特徴量を算出
- ② セル毎にHOG特徴量を2値化し, それぞれの組み合わせに対して, 共起を表現した特徴量を算出
- ③ 1段階目のReal AdaBoostによって, ②で作成した特徴量を基に, 識別器としてJoint-HOG特徴量を算出
- ④ ③で算出したJoint-HOG特徴量を基に, 2段階目のReal AdaBoostを行い, 最終的な識別器を算出

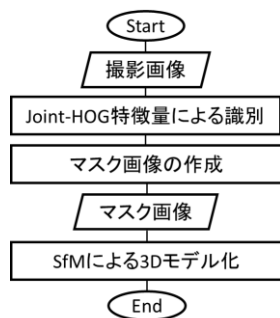


図-1 開発したシステムのアルゴリズムフロー

3. 開発したシステムの検証実験

開発したシステムによる3Dモデル化による精度向上を確認する為に、建設機械の玩具（ホイールローダー）を用いた屋外検証実験を行った。

ホイールローダーの検出を行う為に、まず、学習用データセットを作成した。データセットの作成にあたり、デジタルカメラ（Canon SX710 HS）を用いて、視点、照度等を変化させ、計345枚撮影し、Positiveデータセットとした。Negativeデータセットには、芝生やタイル等の背景画像を計1,551枚用いた。データセット作成の後に、前章で述べた手順で、Joint-HOG特徴量を算出した。

検証実験の対象エリアの撮影は、①ホイールローダー無し、②ホイールローダーを3Dモデル化エリア内の3か所に配置、の2回に分けて行い、①②共に撮影カメラ位置が等しくなるよう其々136枚撮影した。Agisoft社のPhotoScan Proを用いたSfMによる3Dモデル化は、①、②、そして、③開発したシステムを②に対して適応、の3回行い、其々に対して、3次元モデル、点群データを出力した。③では、ホイールローダー検出時のパラメータとなる近傍矩形の数は15と設定し、Real AdaBoostによる学習は、1段階目、2段階目共に20回行った。検出率は、誤検出を含む51.7%であった。検出した後に、其々の画像に対して、誤検出した部分も含め、マスク画像を作成した。図-2に検出結果として、撮影画像にマスク画像を対応させた物を、図-3上に②、下に③の3Dモデルを示す。図-3より、③の3Dモデルにはテクスチャは割り当てられているものの、ホイールローダーの配置部分が3Dモデル化されていないことが分かる。



図-2 撮影画像とマスク画像の対応

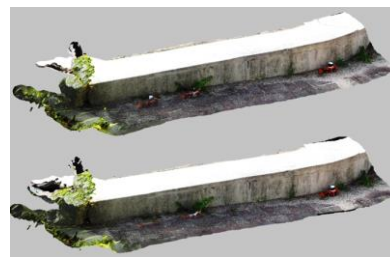


図-3 作成した3Dモデル（上：②、下③）

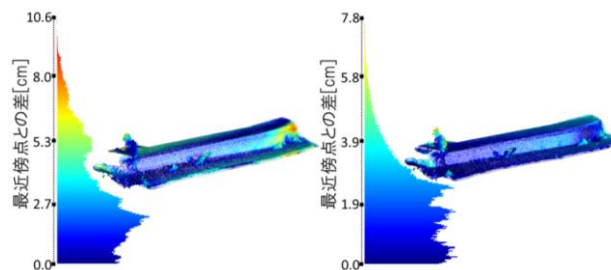


図-4 最近傍点との差（左：①②、右：①③）

出力した①～③の3次元点群モデルを比較する為、図-4に①②、①③の其々における最近傍点の距離の差をヒストグラムで示す。図-4より、①②より、①③の方がホイールローダー付近の誤差が小さいことが分かる。以上から、本研究で開発したシステムによって、3Dモデル化の精度向上を確認することが出来た。

4. 結論

本研究では、建設現場における使用を想定し、SfMによる3Dモデル化を行う際、予めJoint-HOG特徴量に基づき建設機械を検出、マスク画像を作成することで3Dモデル化対象から除去した後に、3Dモデル化を行うシステムを開発した。本研究の結論は以下の通りである。

- Joint-HOG特徴量は建設機械の識別器に使用出来る。
 - 開発したシステムにより、撮影エリア内に建設機械が存在する状況での、3Dモデル化精度向上を確認した。
- 今後は、建設機械だけでなく、作業員やその他3Dモデル化誤差要因にも除去対象を拡張すること、検出率の向上、実際の建設現場での実証実験を行っていきたい。

参考文献

- 1) Ham, Y., Ham, K.K., Lin, J.J. and Golparvar-Fard, M.: Visual monitoring of civil infrastructure systems via camera-equipped unmanned aerial vehicles (UAVs): A review of related works, *Visualization in Engineering*, 4, 1, 2016.
- 2) 三井相和, 山内悠嗣, 藤吉弘亘: Joint 特徴量を用いた2段階 Boosting による物体検出, 電子情報通信学会論文誌 D, 92.9, pp.1591-1601, 2009.