

作業主体支援に向けた適切な三人称視点を 自律獲得する飛行撮影システムの設計と実装

西川 遼[†] 高橋 淳二[‡] 戸辺 義人[‡]

青山学院大学大学院理工学研究科理工学専攻知能情報コース[†]

青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科[‡]

1. はじめに

近年，災害や事故現場において遠隔作業ロボットを活用する機会が増加している．作業ロボットの一人称視点のみでは，周辺の状況把握が困難である．そこで，作業ロボットの三人称視点をオペレータに提供する撮影ロボットの導入を考える．本稿では，作業ロボットの三人称視点を自律獲得する撮影ロボットシステム MUSE (Monitoring using Sight Evaluation) を提案する．MUSE は，搭載カメラに写る作業ロボットの見え方を大きさ・向き・オクルージョンの3要素を引数にとる目的関数で点数化し，点数が向上する方向に自律移動する．複数のシナリオのムービーを用いて MUSE の評価実験を行う．

2. 関連研究

Zabarauskas らはパーティ会場をランダムに走行し，良いレイアウトの写真を自動撮影する Luke¹⁾ を提案している．しかし，視点に基づいた移動はしない．本稿では視点評価に基づいて自律移動を行う．

3. MUSE の設計

3.1. システム概要

MUSE は，物体検知モジュール・視点評価モジュール・視点移動モジュールから成る．(図1)

3.3. 物体認識モジュール

物体認識モジュールは，撮影ロボットの搭載カメラの毎フレームに対してテンプレートマッチングにより作業ロボットの大きさ，向き，オクルージョンを認識する．テンプレートとして，作業ロボットの仰角が一定で 20 度ずつの方位角から見た写真 18 枚を保持する．

1. フレームの特徴点(AKAZE)を求める．
2. 特徴点を利用してフレームと各テンプレートのマッチングを行い類似度が最大のものを選択する．

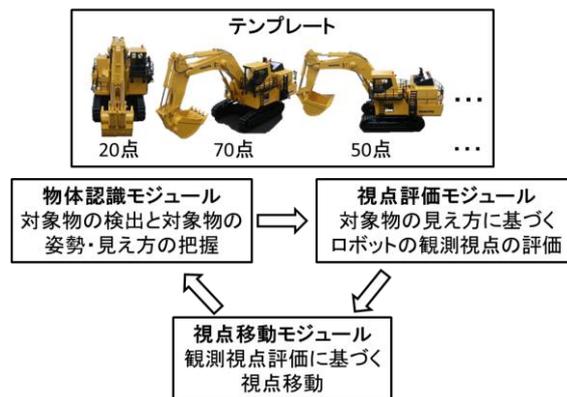


図1 MUSE 概要図

3. 選択されたテンプレートを元に作業ロボットの向き: i と大きさ: s を算出する．
4. 選択されたテンプレートのうちマッチングできない特徴点群をオクルージョン領域とする．

3.4. 視点評価モジュール

撮影画像に対して変数を定義する(図2)．また，作業ロボットと撮影ロボットの位置関係を極座標系で定義する(図3)．

$i(\mathbf{X})$ ($0 \leq i \leq 17$) を視点 \mathbf{X} で類似度が最大と成るテンプレート ID とし， $s(\mathbf{X})$ を作業ロボットの大きさとして以下に定義する，

$$s(\mathbf{X}) = \frac{s_h(\mathbf{X}) \cdot s_w(\mathbf{X})}{d_h(\mathbf{X}) \cdot d_w(\mathbf{X})} \quad (1)$$

$O(\mathbf{X})$ をオクルージョンの割合，

$$O(\mathbf{X}) = \frac{o_h(\mathbf{X}) \cdot o_w(\mathbf{X})}{s_h(\mathbf{X}) \cdot s_w(\mathbf{X})} \quad (2)$$

向きに基づく点数を $P_1(\mathbf{X}) = f(i(\mathbf{X}))$ ，大きさに基づく点数を $P_2(\mathbf{X}) = g(s(\mathbf{X}))$ として，点数 $P(\mathbf{X})$ を以

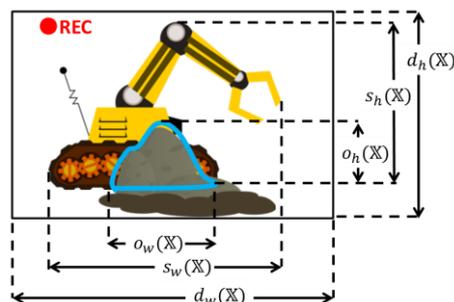


図2 各変数定義

Design and Implementation of Flight Imaging System
Autonomously Acquiring Appropriate Third-Person Viewpoint
^{†‡} Ryo NISHIKAWA, Junji TAKAHASHI, Yoshito TOBE /
Aoyama Gakuin University

下の式で定義する,

$$P(\mathbf{X}) = P_1(\mathbf{X}) + P_2(\mathbf{X}) - O(\mathbf{X}). \quad (3)$$

ここで,

$$f(i(\mathbf{X})) = \frac{1}{1+|5-i(\mathbf{X})|} + \frac{1}{1+|11-i(\mathbf{X})|}, \quad (4)$$

$$g(s(\mathbf{X})) = \frac{1}{1+(250-s(\mathbf{X}))}, \quad (5)$$

とする. 数式(4)において, $i = 5, 11$ は最も適切な視点方向であり, 数式(5)において, $s = 250$ は最も適切な観察距離である.

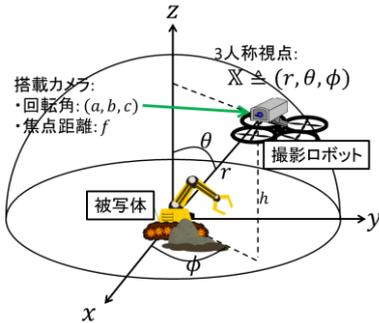


図3 ロボットの位置関係

3.5. 視点移動モジュール

視点移動モジュールは, 視点の評価値をもとに移動方向を決定し, 撮影ロボットを移動する. 焦点距離 f は一定とする. 撮影ロボットの現在および移動先の視点を \mathbf{X}_{cur} , \mathbf{X}_{next} とし, 8種類の移動パターンを表1のように定義する.

表1 移動パターン定義

移動パターン	定義
hover	$\mathbf{X}_{next} = \mathbf{X}_{cur}$ (6)
search	ランダム探索
forward	$\mathbf{X}_{next} = (r_{cur} - \Delta r, \theta_{cur}, \phi_{cur})$ (7)
backward	$\mathbf{X}_{next} = (r_{cur} + \Delta r, \theta_{cur}, \phi_{cur})$ (8)
arc left	$\mathbf{X}_{next} = (r_{cur}, \theta_{cur}, \phi_{cur} - \Delta\phi)$ (9)
arc right	$\mathbf{X}_{next} = (r_{cur}, \theta_{cur}, \phi_{cur} + \Delta\phi)$ (10)
up	$\mathbf{X}_{next} = (r_{cur}, \theta_{cur} - \Delta\theta, \phi_{cur})$ (11)
down	$\mathbf{X}_{next} = (r_{cur}, \theta_{cur} + \Delta\theta, \phi_{cur})$ (12)

4. 実装

4.1. 撮影ロボット

撮影ロボットとして Wi-Fi アクセスポイントを備えた AR.Drone 2.0²⁾を用いる. 鏡を用いて搭載カメラの撮影方向を調整している.

4.2. MUSE

MUSE はオペレータの手元にある端末で実行する. 端末は, 撮影ロボットのストリーミング映像を Wi-Fi 経由で取得し, ストリーミング映像と PC のストレージに保存してあるテンプレートを入力として MUSE を実行する.

5. 評価実験

物体認識モジュールおよび視点評価モジュールを, シナリオに沿ったムービークリップを用

いて検証した. 実験に用いたシナリオは次のとおりである.

(i) 作業ロボットの発見と視点評価に基づく移動

(ii) 作業ロボットの向きとオクルージョンに基づく移動
実験結果の分析にあたり, ムービークリップ全体のフレーム数を N_{all} , 目視により作業ロボットを確認できるフレーム数を N_{exist} , MUSE が作業ロボットを検出したフレーム数を N_{find} , ムービークリップの n フレーム目において主観的に判断した移動方向を $D_{correct}(n)$, MUSE が判断した移動方向を $D_{MUSE}(n)$ と定義する. また, 検出精度 $R_{find}(\%)$ を

$$R_{find} = \frac{N_{find}}{N_{exist}}, \quad (13)$$

移動方向の判定精度 $R_{move}(\%)$ を以下に定義する,

$$R_{move} = \frac{\sum_{n=1}^{N_{all}} h(D_{MUSE}(n), D_{correct}(n))}{N_{find}}, \quad (14)$$

ただし,

$$h = \begin{cases} 1 & (D_{MUSE} = D_{correct}) \\ 0 & (D_{MUSE} \neq D_{correct}) \end{cases}. \quad (15)$$

本実験ではカメラの角度が一定のため, D は表1から up, down を除いた6種類の値を取りうる.

表2 検出精度と判定精度

シナリオ	R_{find}	R_{move}
(i)	92.5%	77.6%
(ii)	29.0%	25.2%

検出精度と判定精度の結果を表2に示す. (i)では概ね検出できたが, 特徴点の抽出がうまく働かない場合に検出に失敗することがあった. (ii)ではショベルが見えれば検出できるが, 見えなければ検出できないなど, オクルージョン箇所によって検出精度に差がでることがわかった. 図4に移動方向の判定に成功したフレームを示す.

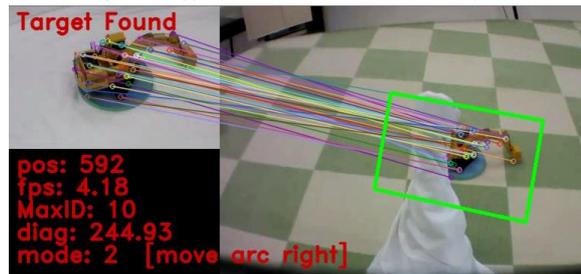


図4 オクルージョンに基づく視点移動の様子

6. むすび

本稿では, 作業ロボットの三人称視点を自律獲得する撮影ロボットシステム MUSE を提案した. 今後, UAV の自律移動を含む実験を行い, MUSE 全体を評価する.

参考文献

- [1] M. Zabarauskas and S. Cameron, "Luke: An Autonomous Robot Photographer," ICRA, pp. 1809-1815, 2014.
- [2] Piskorski, S., Brulez, N., Eline, P., and D'Haeyer, F., "AR.Drone Developer Guide," Parrot, 2012.