

ロボット遠隔操作のための任意視点映像上での遮蔽物除去

Removal of Obstacles on Free Viewpoint Image for Tele-operation of Robot

○学 長野 樹 (東京大)

淵田正隆 (東京大)

筑紫彰太 (東京大)

モロ アレッサンドロ (東京大)

学 小松 廉 (東京大)

正 藤井浩光 (千葉工大)

正 山下 淳 (東京大)

正 浅間 一 (東京大)

Tatsuki NAGANO, The University of Tokyo, nagano@robot.t.u-tokyo.ac.jp

Masataka FUCHIDA, The University of Tokyo

Shota CHIKUSHI, The University of Tokyo

Alessandro MORO, The University of Tokyo

Ren KOMATSU, The University of Tokyo

Hiromitsu FUJII, Chiba Institute of Technology

Atsushi YAMASHITA, The University of Tokyo

Hajime ASAMA, The University of Tokyo

Free viewpoint image is generated by combining images obtained by multiple fish-eye cameras and provides surrounding circumstances images with a 360° field of view for tele-operation of robot. However, applying this system to a robot with an arm causes a problem that a part of view is occluded by the arm. In this paper, we propose a method to remove the arm that appears as an obstacle on free viewpoint image and provide the background image that should be seen there. The experiment with a double-armed robot shows that the proposed method can generate free viewpoint image without occlusion.

Key Words: Computer vision, Free viewpoint image, Diminished reality, Fish-eye camera

1 序論

自然災害が発生した現場では二次災害の危険が伴うため、安全な遠隔地から建機やロボットを操作することによって復旧作業を行うことが期待されている。遠隔操作では現場へ向かうロボットにカメラが設置され、オペレータはその映像を頼りにしながら作業を行うことが多い。そのため、現場の状況を容易に把握できる映像をオペレータに対して提供することは、作業効率の向上のために重要である。

こうした要求から周囲の環境を、自由に設定した第三者視点から見る事ができる任意視点映像提示システムが提案されている[2]。任意視点映像提示システムは、遠隔操作ロボットの周囲に取り付けられた複数台の魚眼カメラからなり、それらの映像を合成することによって1つの映像上でロボット周囲の全方位の状況を確認することが可能である。しかし、このシステムをバックホウのように作業用のアームを有するロボットに適用した場合、アームの位置によってはカメラの視野が遮られ、映像の一部が隠れてしまう問題が存在する。

本研究では、図1のようなロボット[1]に任意視点映像システムを搭載することを想定する。このロボットのアームは魚眼カメラ群に対して鉛直軸回りに自由に回転し、作業中にカメラの視界が遮られてしまう状況が多く発生する。図2にこのときに従来手法[2]によって生成された任意視点映像を示す。映像の中央部にはシステムを搭載したロボットの3次元モデルが表示され、その周囲の環境を見渡すことが可能である。しかし、画面の右側を見ると、ロボットのアームが任意視点映像上で大きく歪んで映り込んでいることが分かる。映像中に大きく死角となる領域が発生するため、任意視点映像はアームを持つロボットへの適用に不向きであった。

そこで、本研究では映り込んだアームを映像上から除去し、アームがなければ本来見えるはずの背景映像を表示することでこの問題を解決することを目的とする。具体的には、ロボットの3次元モデルと関節角度情報からアームが映る領域を算出し、そこに遮蔽されていない別のカメラから映像を補間することによってア



Fig.1: Double-armed robot[1]

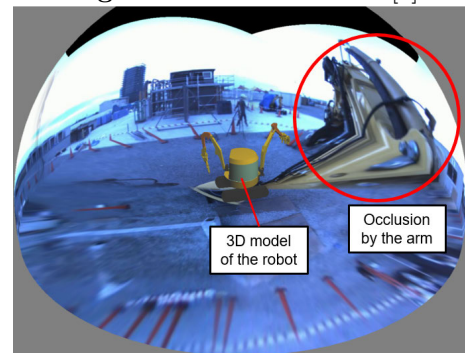


Fig.2: Free viewpoint image by previous method

ムロボットにも適用可能な任意視点映像生成手法を構築する。

2 提案手法

2.1 魚眼カメラ

本研究では、広い視野を確保するために 180° 前後の画角を持つ魚眼カメラを使用する。ここで、魚眼カメラの3次元座標

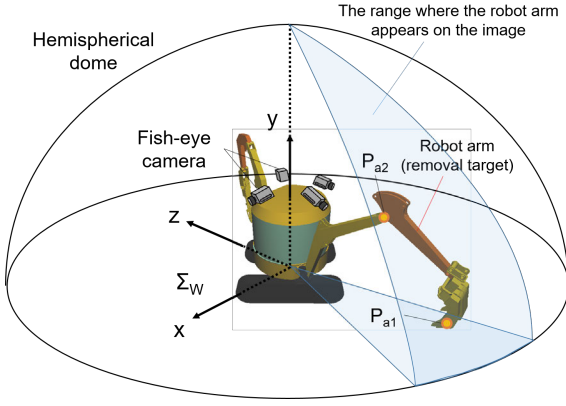


Fig.3: Outline of the proposed method

系 Σ_C における点 ${}^C\mathbf{P} = [x_c, y_c, z_c]^T$ と画像座標系における点 ${}^C\mathbf{m} = [u_c, v_c]^T$ の対応関係は Scaramuzza ら [3][4] の手法によって以下の式 (1) のように表せる.

$${}^C\mathbf{P} = \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = a \begin{bmatrix} u_c \\ v_c \\ f(\rho) \end{bmatrix} \quad (\rho = \sqrt{u_c^2 + v_c^2}). \quad (1)$$

式中の a はスカラー係数である. また, $f(\rho)$ はレンズの歪みを校正するための関数であり, 画像中心からの距離のみに依存する.

2.2 任意視点映像提示システム

本研究で扱う任意視点映像提示システムは 4 台の魚眼カメラから構成されている. 4 台のカメラはそれぞれ前後左右 4 方向に向けられ, 機体の周囲 360° の視野を確保している. これらのカメラ映像をつなぎ合わせるように合成することで図 2 のような任意視点映像を生成している.

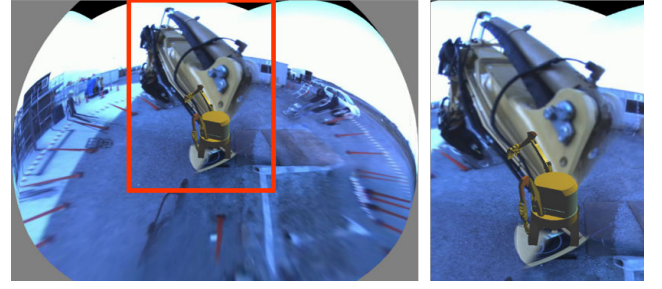
本システムではロボットの周囲の環境が図 3 で示すような半球面で近似することができると仮定している. そして, 半球面状に構築されたメッシュモデルに魚眼カメラから得た映像を投影している. 使用するテクスチャはメッシュモデルから各魚眼カメラ C_i ($i = 1, 2, 3, 4$) への外部パラメータと式 (1) の内部パラメータを用いて決定される. ここで, 魚眼カメラは広い視野を持っているため, あるメッシュに対して複数台のカメラからテクスチャを取得可能な場合がある. 魚眼カメラは視野の周辺部よりも中心部の方が空間解像度が高く, 歪みも小さい性質を持っている. そのため本研究では, メッシュごとに各魚眼カメラ C_i への入射角 θ_i を以下の式 (2) によって計算することで, より中心部に近いテクスチャを得られるカメラを選択する.

$$\theta_i = \arctan \frac{\sqrt{x_{c_i}^2 + y_{c_i}^2}}{z_{c_i}}. \quad (2)$$

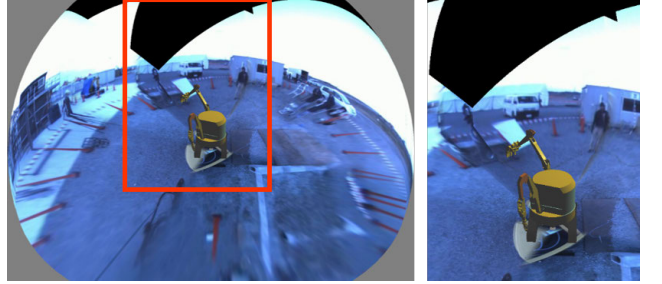
$[x_{c_i}, y_{c_i}, z_{c_i}]$ はカメラ C_i の 3 次元座標系 Σ_{C_i} におけるメッシュの座標を表す. θ_i が最も小さいカメラを選択することで最も解像度の高いテクスチャを得ることが可能である. また, すべてのカメラから画角の範囲外にあるメッシュについてはテクスチャが得られないため, 黒く塗りつぶして表示する.

2.3 アームによる遮蔽領域の算出

ここではロボットの 3 次元モデル, 関節角度情報を用いて任意視点映像上での遮蔽領域を算出する手法について述べる. 文献 [5][6] によると, 除去対象となる領域を物体の輪郭から正確に算出するのではなく, 実際よりも大きめに設定することで消し逃がしを防ぎ合成時の不自然さを緩和できるとされている. そのため本研究では, 除去対象となるアームから複数の代表点 P_a を選び, その 3 次元位置から遮蔽される領域の範囲を決定する. まず, 任意視点映像を構成している半球の中心を原点とした座標系 Σ_W を定義し, Σ_W における代表点 P_a の 3 次元座標を $\mathbf{P}_a = [x_a, y_a, z_a]^T$ と記述する. $\mathbf{P}_a$ は入力された関節角度情報とリンクの長さといったロボットの幾何形状を用いて算出される. すると, P_a が投影



(a) Previous method



(b) Proposed method

Fig.4: Free viewpoint image

されているメッシュの鉛直軸周りの回転角 ϕ_a を以下の式 (3) を用いて計算できる.

$$\phi_a = \arctan \frac{z_a}{x_a}. \quad (3)$$

代表点には, 図 3 に示すように除去対象となるアームの端点 P_{a1}, P_{a2} を選択し, 式 (3) によって回転角 ϕ_{a1}, ϕ_{a2} を求める. そして, 映像を投影する半球面状のメッシュモデルのうち $[\phi_{a1}, \phi_{a2}]$ の範囲に存在する領域をアームが映る遮蔽領域とする.

2.4 遮蔽領域の除去

本節では, 2.3 節で求めたメッシュモデルの範囲についてテクスチャの選択方法を変更することで遮蔽領域を除去する. ここで, アームの代表点 P_a の座標をカメラ座標系 Σ_{C_i} に変換し, 式 (2) に当てはめることで最も中心部にアームが映っているカメラを決定できる. すると, そのカメラに遮蔽が生じていると仮定できるため, 2.3 節で求めた範囲においては他の 3 台のカメラのみを使用してテクスチャの決定を行うことによって遮蔽物であるアームを除去することが可能である.

3 実験

提案手法の有効性を示すために, 図 1 の双腕ロボットを用いて実験を行った. ロボットの上部に提案システムが搭載され, 各関節には角度センサが備えられている. センサから得られる関節角度情報, ロボットの 3 次元モデル, 4 台の魚眼カメラの映像を入力として提案手法による任意視点映像を生成した. 本実験は Intel 社製 Core (TM) i7-5500U CPU (2.40GHz) を用いて処理を行い, 1 フレームの描画に要した計算時間は 143ms であった.

ロボットアームが 1 台の魚眼カメラの視野を遮る状況において, 従来手法および提案手法により生成された任意視点映像をそれぞれ図 4(a), (b) に示す. 従来手法で視野を遮蔽していたアームが提案手法により除去され, 隠れていた実際の背景が描画されていることが確認できた. 提案手法による任意視点映像ではアームの裏に存在していた車や人を視認することができるため, ロボットを移動させる際に障害物への衝突を回避することに有効である.

4 結論

本研究では任意視点映像上での遮蔽の問題に対して, ロボットの 3 次元モデルと関節角度から算出した遮蔽領域に別のカメラからの映像を補うことを提案した. これによってロボットアームを自由に動かしても視界を遮られることがなくなり, 作業効率の向

上に有効であると考えられる。今後の展望としては、照明条件などにより生じる合成時の色調の不整合を検出、補正することで映像の視認性を高めることが挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議が主導する革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) の一環として実施したものである。また本実験を行うのに際して有益なご助言を戴いた、大阪大学 吉瀬裕教授、株式会社コマツ 岡村健治氏、中村晋也氏、瀬田恭平氏に感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 吉瀬裕, “遠隔操作性と微細作業性を備えた建設ロボット”, 計測と制御, vol.57, no.11, pp.795–798, 2018.
- [2] Iwataki, S., Fujii, H., Moro, A., Yamashita, A., Asama, H. and Yoshinada, H., “Visualization of the Surrounding Environment and Operational Part in a 3DCG Model for the Teleoperation of Construction Machines”, *Proceedings of the 2015 IEEE/SICE International Symposium on System Integration*, pp. 81–87, 2015.
- [3] Scaramuzza, D., Martinelli, A. and Siegwart, R., “A Flexible Technique for Accurate Omnidirectional Camera Calibration and Structure from Motion”, *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference of Computer Vision Systems*, p. 45, 2006.
- [4] Scaramuzza, D., Martinelli, A. and Siegwart, R., “A Toolbox for Easily Calibrating Omnidirectional Cameras”, *Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 5695–5701, 2006.
- [5] Cosco, F., Garre, C., Bruno, F., Muzzupappa, M. and Otaduy, M.A., “Augmented Touch without Visual Obtrusion”, *Proceedings of the IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2009*, pp. 99–102, 2009.
- [6] 森 尚平, 一刈良介, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行, “隠消現実感の技術的枠組と諸問題: 現実世界に実在する物体を視覚的に隠蔽・消去・透視する技術について”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol. 16, no. 2, pp. 239–250, 2011.