

# 無人化施工のためのカメラと RGB-D センサを用いた半隠消映像の生成

東京大学 ○ 杉本 和也, 藤井 浩光, 佐藤 貴亮, 山下 淳, 浅間 一

Half Diminished Reality Image for Unmanned Construction System Using Camera and RGB-D Sensor

The University of Tokyo Kazuya SUGIMOTO, Hiromitsu FUJII, Takaaki SATO, Atsushi YAMASHITA and Hajime ASAMA

In disaster restoration, an operator controls a backhoe remotely viewing image through on-board cameras. However in this case, the operator can not observe objects on the image because the backhoe's arm obstructs them. Thus, working efficiency is increased by making a image like the operator can observe behind the backhoe's arm. In this paper, we propose a method to make half diminished reality image for unmanned construction system using a camera and a RGB-D sensor.

## 1. 序論

災害発生時の対応作業の際には、二次災害を軽減するために、建設機械を遠隔操作する無人化施工と呼ばれる技術が導入されている。特に瓦礫の撤去、土砂の採掘といった作業では、Fig. 1のような車体にはアームがついた建設機械であるバックホウが用いられている。バックホウを遠隔操作する際、オペレータはバックホウに搭載されているカメラの映像をもとに操作を行う<sup>1)</sup>。しかしこの場合、目視による操作時と比較して作業効率が低下する<sup>2)</sup>。その原因の1つとして、手前にあるアームに遮られて作業対象物の映像が十分に得られないことが挙げられる (Fig. 1)。

この問題を解決するためには、バックホウに複数のカメラを搭載することが有効である<sup>3)</sup>。しかし個々の映像を見比べながら作業を行うことは、オペレータの負担となり作業効率の低下を招く原因になる。そこでアームによって遮られて見えない作業対象物を1つの映像上で見えるようにすることは有効である。

森ら<sup>4)</sup>は、映像上で物体を半透明状態にすることでその物体に隠れている背景が透視できるような表現のことを「半隠消現実感」と呼称している。筆者らはこれまでに複数カメラとロボットアームを用いて、カメラ映像上のロボットアーム部分を半透明にし背景が透視可能な半隠消映像のリアルタイム生成を試みてきた<sup>5)</sup>。本稿ではカメラに加え新たに RGB-D センサを用いた際の半隠消映像の生成手法について述べる。

## 2. 提案手法

文献<sup>5)</sup>では、映像上でロボットアームに隠れている背景物体の3次元位置計測を行う際に、複数カメラを用いたステレオ視による計測を提案した。ステレオ視による計測を行う場合、各カメラ映像の対応点を求める必要がある。しかし土木作業の現場では、土砂や瓦礫といった色の变化に乏しい物体が背景物体となるため、各カメラ映像の対応点を求めることが困難になる。そこでカメラに加え、新たに RGB-D センサを用いる。RGB-D センサとは、RGB の色情報に加えて、センサから対象物までの距離情報が取得可能なセンサである。そのため、RGB-D センサを用いることで対応点を求める処理が必要なくなり、より簡便に背景物体の3次元位置計測が可能になる。

実験環境の概念図、およびカメラと RGB-D センサの位置関係を Fig. 2 に示す。カメラおよび RGB-D センサは必ず視差が得られるように設置する。この際、カメラから得られる映像をカメラ映像、RGB-D センサから得られる映像をセンサ映像と

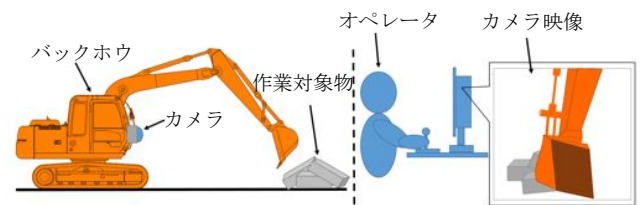


Fig. 1 バックホウを用いた遠隔操作

呼ぶことにする。またカメラ映像に映し出されているロボットアーム部分をアーム領域とする。

以上の環境において、半隠消映像を生成するためには、以下の処理を行う必要がある。

- (1) アーム領域の取得
- (2) アーム領域に隠れている背景領域の取得
- (3) アーム領域と背景領域の投影と合成

各処理の内容を以下に示す。

### 2.1 アーム領域の取得

カメラ映像中のアーム領域は、アームの各関節角度を取得することで追跡が可能になる。そこであらかじめ用意したロボットアームの形状データから、ロボットアームの3次元モデルを作成し各関節角度を随時取得することで、カメラ映像中のアーム領域の抽出および除去を行う。

Fig. 2 のように設定したワールド座標系において、ロボットアームの3次元モデルより計算可能なアーム位置座標  $\mathbf{w}_{arm} = [x_{arm}, y_{arm}, z_{arm}, 1]^T$  が、カメラ映像の画像座標系において  $\mathbf{m}_{cam} = [u_{cam}, v_{cam}, f_{cam}, 1]^T$  に像を結んだとき、行列  $\mathbf{P}$  を用いると以下のような関係がある。  $f_{cam}$  はカメラの焦点距

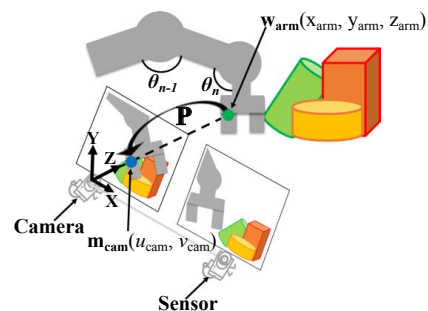


Fig. 2 実験環境の概念図

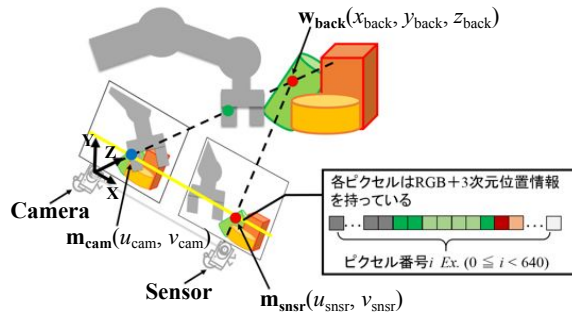


Fig. 3 背景領域を取得する際概念図

離である。また、 $\mathbf{P}$  はカメラの内部パラメータおよびカメラの位置・姿勢を表す行列である。

$$\mathbf{m}_{cam} \approx \mathbf{P}\mathbf{w}_{arm} \quad (1)$$

ここで、 $\approx$  は、左辺は右辺の 0 でない定数倍と等しいことを意味する。上式を用いて  $\mathbf{m}_{cam}$  を求めることにより、カメラ映像中のアーム領域を取得する。

## 2.2 アーム領域に隠れている背景領域の取得

アーム領域に隠れている背景領域をセンサ映像より求める。カメラおよび RGB-D センサの光軸方向をそろえ、視点の高さも等しく設置することで、平行ステレオを用いた三角測量の原理による位置計測が可能となる。そのため 2.1 節で取得したアーム領域の画像座標  $\mathbf{m}_{cam} = [u_{cam}, v_{cam}]$  に隠れている背景物体の位置座標  $\mathbf{w}_{back} = [x_{backi}, y_{backi}, z_{backi}]$  が、センサ映像上で  $\mathbf{m}_{snsr} = [u_{snsri}, v_{snsri}]$  に像を結ぶとき以下の関係式が成立する。

$$x_{backi} - \frac{b(u_{cam} + u_{snsri})}{2(u_{cam} - u_{snsri})} = 0 \quad (2)$$

$$y_{backi} - \frac{bv}{(u_{cam} - u_{snsri})} = 0 \quad (3)$$

$$z_{backi} - \frac{bf}{(u_{cam} - u_{snsri})} = 0 \quad (4)$$

$f$  はカメラおよびセンサの焦点距離、 $b$  はカメラとセンサ間の距離であり  $v = v_{cam} = v_{snsr}$  である。また添え字の  $i$  はセンサ映像上の画像座標において  $v_{snsr} = u_{cam}$  のライン上における  $u$  軸の値でありピクセル単位である。センサ映像の各ピクセルは、RGB の色情報と任意の世界座標系における位置座標情報を兼ね備えている (Fig. 3)。そのためこのラインに沿って、上記に示した等式の左辺の絶対値を最小にする  $i$  の探索を行うことでアーム領域に隠れている背景領域の取得が可能となる。

## 2.3 アーム領域と背景領域の投影と合成

本研究では、2.1 節で取得したアーム領域を半透明にし 2.2 節で取得した背景領域と合成処理を行う際に以下の式を用いる。 $I$  は各画像の各ピクセルにおける色成分である。また  $\alpha$  は不透明度を表す係数である。

$$I_{output} = \alpha I_{arm} + (1 - \alpha) I_{back} \quad (5)$$

## 3. 検証実験

前章で述べた処理を用いて、視差のある 2 つ映像からアーム領域の半隠消映像を生成する。バックホウを遠隔操作する際に行う作業としては、前方の瓦礫の移動・撤去などが存在する。そこで本実験では、バックホウを用いた瓦礫の移動・撤去作業を想定し、Fig. 4, 5 のようにカメラと RGB-D センサおよびロ

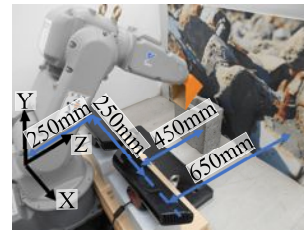


Fig. 4 実験環境図 1

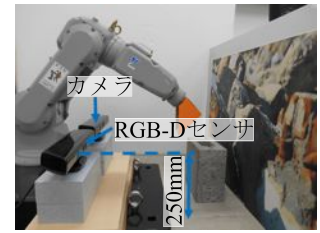


Fig. 5 実験環境図 2



Fig. 6 入力映像



Fig. 7 出力映像

ボットアームを用いて、前方の瓦礫にアクセスする際にロボットアームに隠れて見えない瓦礫が透視可能な映像の生成を行う。

実験環境の座標系および機器の位置・姿勢を Fig. 4, 5 に示す。 $Z$  軸方向に 400mm、 $Y$  軸方向に 250mm の位置にカメラを設置し、さらにカメラから  $X$  軸方向に 250mm 離れている位置にセンサを設置した。取得映像サイズは  $640 \times 480$  pixel とした。

実際の作業現場で散在した瓦礫の移動・撤去作業を行うことを想定し、瓦礫のモデルとして擬似的に再現した異なる 2 つの位置・形状の物体を用いた。1 つ目の物体としては画像が貼り付けられている幅 1200mm、高さ 800mm の板状のボードとした。2 つ目としてはボードの手前に置かれた幅 200mm、高さ 200mm、奥行き 100mm の直方体形状の物体とした (Fig. 4, 5)。

ロボットアームが前方の物体に対して Fig. 4, 5 のようにアームを振り下ろした時の入力映像と出力映像を Fig. 6, 7 に示す。

Fig. 6 は、ロボットアームが Fig. 4, 5 の位置・形状の時の、カメラ映像である。本実験では、この入力映像においてアーム領域の一部 (Fig. 6) を半透明にすることで半隠消映像を生成した。この結果、アーム領域の一部に隠れて見えない背景領域を透視可能な半隠消映像の生成が可能となった (Fig. 7)。

## 4. 結論

本稿では、カメラと RGB-D センサを使用し、カメラ映像中のアーム領域を半透明にすることで背景領域が透視可能な半隠消映像の生成手法を提案した。また本手法を用いることで、任意に設定したカメラおよびセンサ位置において、半隠消映像が生成可能なことを確認した。今後は、生成した半隠消映像を用いた際の遠隔操作性の評価を行う。

## 参考文献

- 1) 藤本 昭, 松岡 雅博, 茶山 和博, 藤岡 晃: “遠隔操縦ロボット (ロボ Q) の開発”, 土木学会第 58 回年次学術講演会概要集, Vol. 58, No. 6, pp. 61–62, 2003.
- 2) 山口 崇, 石松 豊, 山元 弘: “無人化施工のマンマシンインターフェイスに関する調査”, 平成 16 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, Vol. 18, pp. 145–148, 2005.
- 3) 古屋 弘, 栗山 楊雄, 清水 千春: “3D 画像と体感型操縦を用いた「次世代無人化施工システム」”, 大林組技術研究所報, No. 76, 2012.
- 4) 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みと諸問題”, 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol. 16, No. 2, pp. 239–250, 2011.
- 5) 杉本 和也, 藤井 浩光, 佐藤 貴亮, 山下 淳, 浅間 一: “遠隔操作ロボットシステムのための複数カメラを用いた半隠消映像の生成”, 第 14 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集, pp. 1891–1894, 2013