

建設機械遠隔操作のための周囲および作業部映像提示システム 機体前方映像中の作業対象物の検出

Visualizing of Surrounding Environment and Operation Part for Teleoperation of Construction Machines Work Objects Detection for 3D visualizing

○ 岩滝 宗一郎 (東大) 藤井 浩光 (東大) Alessandro Moro (ライテックス, 東大)
山下 淳 (東大) 浅間一 (東大) 吉灘 裕 (阪大)

Soichiro Iwataki, The University of Tokyo, iwataki@robot.t.u-tokyo.ac.jp

Fujii Hiromistu, The University of Tokyo

Alessandro Moro, The University of Tokyo, Ritecs

Atsushi Yamashita, The University of Tokyo

Hajime Asama, The University of Tokyo

Hiroshi Yoshinada, Osaka University

In order to accomplish effective teleoperation of construction machine, it is essential to visualize the surrounding environment, operational part, and work object. We had proposed the presentation method which can visualize the surrounding environment and operational part, however it could not represent the shape of earth and soil in operation part. In this paper, earth region detection method for visualization of the surrounding environment and operational part for the teleoperation of construction machines is proposed. The proposed method was tested with real machine.

Key Words: Teleoperation, Vision Sensor, Interface

1 序論

近年、建機やロボットの遠隔操作技術が注目を集めている。例えば、2011年に発生した東日本大震災に付随する原子力発電所の事故への対応 [1] や、土石流の危険がある現場における砂防工事 [2] などでは、遠隔操作によって建機やロボットを操作することで、危険な場所に作業員が極力接近せず工事を行っている。

人間が遠隔操作を行う場合、実際に操作を行うオペレータが、建機の周囲の状況や、作業対象物の状況を把握することは極めて重要である。オペレータが周囲の状況や作業対象物の状況を把握するためには、建機周囲の映像をオペレータに提示する必要がある。

ここで、ブルドーザ (Fig. 1) のような、機体前方に作業部を持つ機械の操作においては、操縦席から作業部である排土板 (ブレード) や、ブレード内部の土砂 (作業対象物) の状態を目視することはできない。Fig. 1 は、操縦席からはブレード内部の状況、例えばブレード内の土砂の量などが操縦席からは目視できない状況を表している。図中で青い吹出しによって示されている部分が、土砂を押すことや、地表を掘削することに用いられるブレードである。また、ブレード前方の赤い領域は、操縦席から死角になる部分を表している。

従来、建機の遠隔操作において、オペレータに建機周囲の映像

を提示するためのシステムとして、建機に複数の魚眼カメラを装着し、得られた映像からあたかも建機を上方から眺めているかのような画面を提示する俯瞰映像提示システム [3, 4, 5] が提案されている。俯瞰映像を提示した場合、オペレータは1つの映像で建機周囲の環境を把握することができ、建機を障害物存在下で移動させる場合では操縦席からの映像のみを提示した場合に比べて作業効率が向上することが確認されている [4]。

しかし、機体を上方から見ている俯瞰映像を提示するだけでは、カメラを操縦席の周囲に配置した場合、ブレードと土の様子を提示できないので、作業が困難になることが予測される。したがって、ブルドーザのような機器を遠隔操作するためには、従来の俯瞰映像提示による周囲の状況の提示に加え、作業対象物の状況を同時にオペレータへ提示できる技術が必要である。

筆者らはこのような観点に基づき、オペレータにとって、容易に周囲の状況と作業対象物の状況とを認識することを可能にするような映像提示手法を提案した [6, 7]。文献 [6] では、あらかじめ周囲の環境やブレードの形状を単純な幾何学的形状を仮定し、機体各所に取り付けたカメラから得られる映像をテクスチャマッピングを用いて提示するというアプローチでの映像提示手法を提案した。また、文献 [7] ではブレードに抱え込まれた土砂は、斜面がある一定の角度、すなわち安息角を超えると崩れてくるという仮定を用いて作業部内部の作業対象物の形状を表現するという手法を提案した。文献 [7] では作業対象物の形状を表示するためには、作業対象物の盛り上がり部分の前後方向の長さ、左右方向の幅の情報が必要であるが、それらは、作業部上方に設置されたカメラによって撮影された映像中で、作業対象物の占める領域、つまり、土砂が盛り上がりブレードで押されて運動している領域を検出することで求めることができる。

これらの手法では、作業対象物と地表の明度差のみから、地表と対象物の検出を行っていたが、実際のフィールドでは地表と作業対象物の明度差が少なく、作業部上方カメラの映像から、作業対象物を検出することが課題であった。図2が作業部上方カメラの映像である。そこで、本研究では、作業部上方カメラの映像から、作業対象物を検出する手法の構築を目的とする。

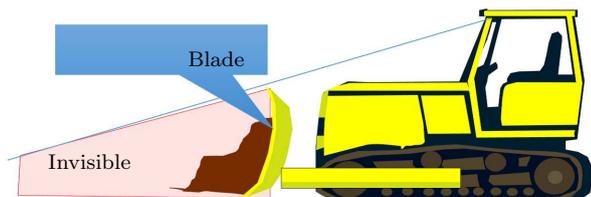


Fig.1 Invisible area from the cockpit

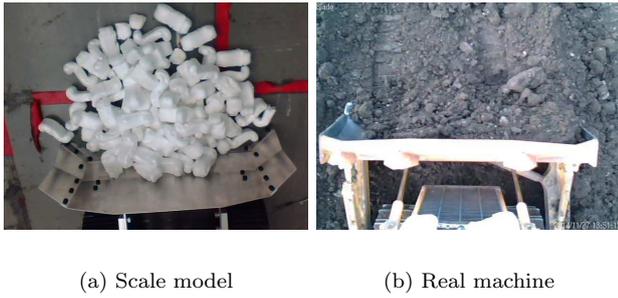


Fig.2 Images of blade

2 作業部上方カメラ映像における作業対象物の検出手法

本研究では、ブルドーザなどの作業機であるブレードを、ブレード上方から撮影したときに得られる映像から、作業対象物である、土砂がブレード内で抱え込まれて運動している領域を検出することを目的としている。

ブレード内で抱え込まれている土砂は、ブレード前面と地表面とに接している。したがって、このとき判別する必要があるのは、「ブレード前面と運動している土砂の境界」と「地表面と運動している土砂の境界」である。

前者については、ブレード前面は比較的均質な金属でできているのに比べて、土砂は凹凸が数多くあるという特徴がある。したがって、画像中ではブレード前面は凹凸が少ないため陰影が少なく、そのためエッジが少なく、逆に土砂領域は凹凸が大きく、陰影が多いので、エッジも多くなる。後者については、実際の掘削作業を観察した結果から、地表面と運動している土砂の境界付近では土砂の運動の方向が大きく変化しているといえる。

作業部を上方から撮影した映像から作業対象物を検出する処理の概略を図3に示す。図3のように、作業部前面と作業対象物の判別、地表面と作業対象物の判別を別々に行い、最後に組合せて領域を求める。入力映像はオプティカルフロー検出、隣接するオプティカルフロー同士のなす角度の計算を行うことで地表面と作業対象物の境界を求め、また同時に、エッジ検出、平均化を行うことで作業部前面と作業対象物の領域判別が行われる。したがって、検出されるのは作業部前面の作業対象物の領域と、作業対象物と地表面の境界である。

2.1 作業部前面と作業対象物の判別

前述のとおりブレード前面とブレードに抱え込まれている土砂では、エッジの密度が異なる。つまり、土砂のが写っている領域ではある点の周りのエッジの数が多い。したがって、エッジの密度によってブレード前面の土砂を検出する。図4は土砂の部

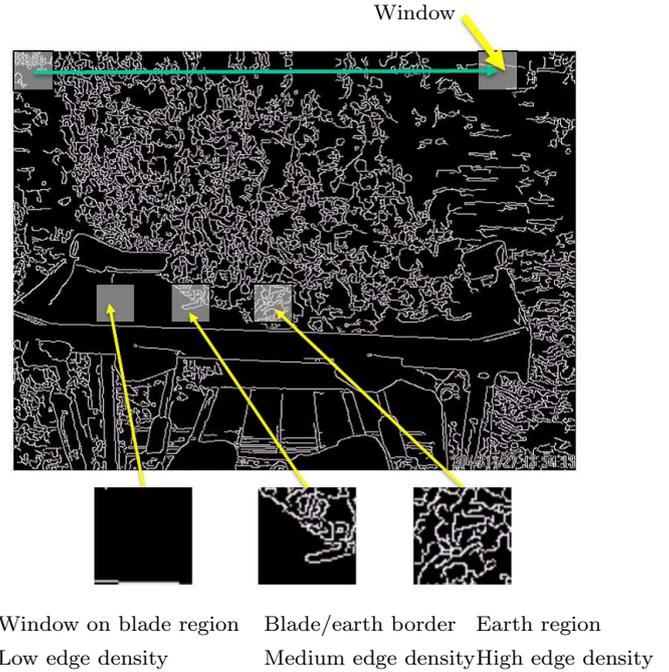


Fig.4 Edge density

分ではエッジ密度が高く、ブレード前面の部分ではエッジ密度が低いことを表している。はじめにエッジ検出を行う。次に予め大きさを設定した正方形の窓を走査していき、窓領域内部を平均する。これによって画像中のある点の周囲のエッジの密度が算出できる。入力映像 $I(x, y)$ に対しエッジ検出処理を施し、エッジ検出結果 $E(x, y)$ を得る。 $E(x, y)$ は2値画像である。エッジ画像 $E(x, y)$ 中の点 (x, y) の周りにどのくらい多くのエッジが集中しているか求めるために点 (x, y) 周りの縦 $2n + 1$ 、横 $2n + 1$ の範囲で平均をとる。エッジの密度がしきい値 T_1 を超えていれば土砂が写っていると判定する。

2.2 地表面と作業対象物の判別

地表面とブレードに抱え込まれている土砂の判別には土の運動の差異を用いる。なぜなら、ブレードで土砂を押していく場合、地表面は全て静止しているのに対し、ブレードで押されている土はブレードとともに運動するか、押されている土の斜面を崩れ落ちていくような運動をするためである。このような情景をブレード

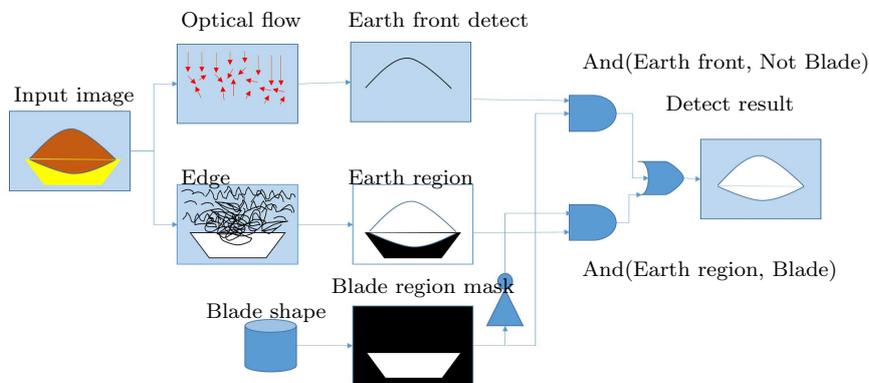


Fig.3 Process flow of the proposed method

ドの上方に設置したカメラで撮影した場合、地表面とブレードで押されている土の運動の方向は異なっているため、運動の向きが急激に変化する場所を地表面と抱え込まれている土砂の境界として検出する。画像中で運動の表現として、オプティカルフローがある。オプティカルフローを用いて運動を検出する。注目している画像座標のオプティカルフローベクトルと、 x 軸方向、 y 軸方向の隣接しているオプティカルフローのなす角度を求める。角度の和がしきい値 T_2 以上の場合は地表面と抱え込まれている土砂の境界だと判定する。このようにして地表面と抱え込まれている土砂の境界を検出する。

2.3 判別結果の統合

前述の、作業部前面と作業対象物の判別のプロセスでは、エッジ密度の高い部分は地表面も含め、すべて土砂として検出される。また、地表面と作業対象物の判別のプロセスでは映像中でオプティカルフローの向きが変化している部分は、地表面と作業対象物の境界として検出される。いま検出したいのは、ブレードに抱え込まれている土砂の領域であるので、地表面や機体に相当する部分が検出されないようにする必要がある。そのために、ブレード内に土砂が存在しない時にブレードが写る領域を、マスクとして用い、地表面や機体そのものが検出されないようにする。

我々が提案した映像提示システムでは、ブレード形状は既知なので、画像中で土砂のないときのブレードが映る領域（ブレード領域）は予め求めることができる。したがって、エッジ密度からの判定結果とブレード領域の論理積を取ると、ブレード領域に含まれる、運動している土砂領域のみを取り出すことができ、オプティカルフローからの判定結果と非ブレード領域の論理積を取ると、地表面と抱え込まれている土砂の境界を取り出すことができる。これらの論理和を、土砂がブレード内で抱え込まれて運動している領域とする。

3 作業対象物の判別実験

本研究で提案する作業対象物検出手法が正しく作業対象を検出できるか確認するために、実機に搭載したカメラによって得られた映像を対象に検出実験を行った。実機に設置したカメラによって収録された映像を用いて判別実験を行った。実際にテストフィールドで掘削動作を行いブレード内に土がたまっていく様子を収録した映像を用意した。図 5(a) がブレードで土を押している際に実際に撮影された映像の一部である。この映像に対して提案手法を適用した結果が図 5(b) であり、入力映像を緑色の濃淡で表し、検出結果を青く表示している。ブレード内部の土と、押されている土の前端部分が検出されている。ブレード内部の土の検出に関しては、土砂が細かく砕けている部分がよく検出できている。地表面と抱え込まれている土砂の判別については、特に土砂の運動の方向が大きく変化している、土砂の先端部分が検出されている。土砂の中心部分は、機体に対してほぼ静止していたためオプティカルフローが生じず検出されていない。

提案手法によって検出された領域について、検出された領域は、ブレード内部の土の占める領域と、地表面と抱え込まれている土砂の境界が検出されている。文献 [7] で提案した、安息角に基づく土砂の提示のためには、地表面と抱え込まれている土砂の境界、ならびに、ブレード前面と抱え込まれた土砂の接する部分の境界の輪郭がわかればよい。

4 結論

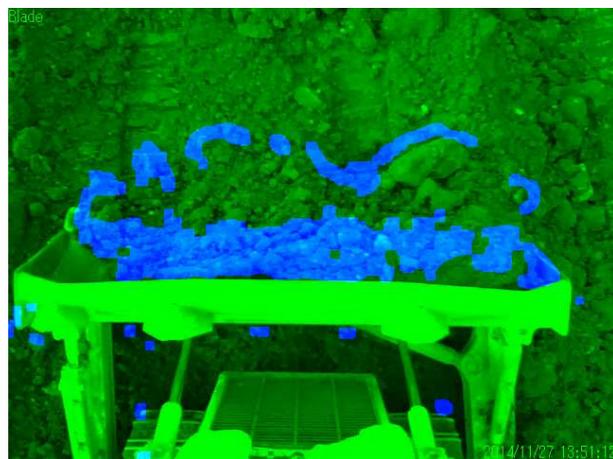
本研究では、作業部上方カメラの映像から、作業対象物が画像中で占めている領域の輪郭を検出する手法を提案した。提案手法によって、実際のテストフィールドで得られた映像から、作業対象物が画像中で占めている領域を検出することができた。今後の展望として、本手法で検出された作業対象物領域の情報を用いて、筆者らが提案する映像提示システムで、作業対象物の形状をわかりやすく提示することができるようにする。

References

[1] 大野和則. レスキューロボットにおけるテレロボティクス. 日本ロボット学会誌, Vol. 30, No. 6, pp. 571-573, 2012.



(a) Input image



(b) Result

Fig.5 Input image and detection result

[2] 供田英一, 岩崎肇, 岡本仁. 赤松谷川 9 号床固工工事における無人化施工. 建設の施工企画, pp. 14-20, 2010.

[3] 高橋健一, 藤本健治郎, 阿子島学. 建設機械向けアラウンドビューモニターの現場検証結果. 建設の施工企画, pp. 66-68, 2009.

[4] 佐藤貴亮, 藤井浩光, Alessandro Moro, 杉本和也, 野末晃, 三村洋一, 小幡克実, 山下淳, 浅間一. 無人化施工用俯瞰映像提示システムの開発. Vol. 81, No. 823, 14-00031, pp. 1-13, 2014.

[5] 石本英史, 古渡陽一, 稲野辺慶仁, 川股幸博, 太田守飛. 鉱山機械用全周囲安全支援装置 skyangle. ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014 予稿集, pp. 1P1M04(1)-1P1M04(2), 2014.

[6] 岩滝宗一郎, 藤井浩光, Alessandro Moro, 山下淳, 浅間一, 吉瀬裕. 建設機械の操作支援のための 3dcg モデルへのテクスチャマッピングを用いた周囲環境と作業部映像の同時提示システム. 第 15 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. 2106-2109, 2014.

[7] 岩滝宗一郎, 藤井浩光, Alessandro Moro, 山下淳, 浅間一, 吉瀬裕. 建設機械遠隔操作のための周囲カメラ映像および作業部カメラ映像統合による任意視点映像提示. 第 20 回ロボティクスシンポジウム講演予稿集, pp. 321-327, 2015.