

ブルドーザの位置姿勢変化および周囲危険領域を提示可能な任意 視点映像提示

岩滝 宗一郎^{*1}, 孫 蔚^{*1}, 藤井 浩光^{*1}, 淵田 正隆^{*1}, アレッサンドロ モロ^{*1,2},
野田 隆司^{*3}, 久禮 一樹^{*3}, 中沢 浩一^{*3}, 吉灘 裕^{*4}, 山下 淳^{*1}, 浅間 一^{*1}

Arbitrary Viewpoint Visualization of Pose Change of Bulldozer and Surrounding Dangerous Area

Soichiro Iwataki^{*1}, Wei Sun^{*1}, Hiromitsu Fujii^{*1}, Masataka Fuchida^{*1},
Alessandro Moro^{*1,2}, Takashi Noda^{*3}, Kazuki Kure^{*3}, Koichi Nakazawa^{*3},
Hiroshi Yoshinada^{*4}, Atsushi Yamashita^{*1}, Hajime Asama^{*1}

^{*1} The University of Tokyo

7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan

^{*2} Ritecs

3-5-11 Shibasaki, Tachikawa City, Tokyo 190-0023, Japan

^{*3} Komatsu Ltd.

2-3-6 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-8414, Japan

^{*4} Osaka University

1-1 Yamadaoka, Suita City, Osaka 565-0841, Japan

This research proposes a new image visualization method of bulldozer and surrounding dangerous area to operator. Bulldozer is operated on uneven terrain which contains dangerous slope or obstacle. Objective of this research is to visualize pose of bulldozer and surrounding terrain shape and to emphasize existence of dangerous terrain shape. Our proposed method consists of following three parts. First part is machine pose visualization. Machine pose is measured by on-board IMU and GNSS. 3DCG model pose is changed according to measurement rotation and translation motion. Second part is terrain shape visualization. Terrain shape is measured by on-board laser radar and change projection plane shape. Third part is danger area detection and visualization. Danger area is detected by point density and incline of ground shape mesh. Experiment was conducted with real bulldozer. Image which was generated by proposed method was compared to what generated by conventional method. Visibility of pose change of bulldozer and surrounding danger environment was improved.

Key Words : Teleoperation, Visualization, Image Processing, Point Cloud, Multi Sensor

1. 序 論

近年、建設機械（以降、建機）やロボットの遠隔操作技術が注目を集めている。

遠隔操作による作業で用いられる建機の1つがブルドーザである。ブルドーザは機体前方のブレードで土砂の掘削や運搬などを行う建機であり、先程の工事の例⁽¹⁾でも使用されている。遠隔操作でブルドーザを進入させる作業現場は、多くの場合不整地であり、傾斜や崖など、作業を遂行する上で十分に注意を払うべき危険な地形が多く存在する。また、遠隔操作するオペレータは実際に搭乗した場合と異なり、建機の傾きや進行速度などを体感することができない。したがって、

機体の周囲の状況と、機体の地表に対する傾きや進行速度などの機体自身の状況を建機オペレータにわかりやすく提示することが極めて重要である。

従来の無人化施工の遠隔操作では、機体に搭載されたカメラと、作業現場に設置されたカメラを併用していることが多い⁽¹⁾。しかし、災害現場などでは、あらかじめ現場にカメラを設置することは困難である。そのため、機体に搭載したセンサのみを用いて、あたかも機体を環境中に設置したカメラで撮影したような映像を提示することが望ましい。

著者らは、ブルドーザの遠隔操作において、機体に搭載したカメラからの映像を用いて、周囲の状況と作業対象物の状況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ている⁽²⁾。この手法では機体を提示する視点を任意に変更できる。しかし、提示映像中

^{*1} 東京大学

^{*2} 有限会社ライテックス

^{*3} 株式会社小松製作所

^{*4} 大阪大学

の機体形状モデルの提示映像中に表示される位置、姿勢は固定されたままであり、機体の傾斜や動いている様子を把握することが困難であるという問題があった。また、周囲の環境を提示するためのドーム形状モデルの底面が常に平面であるため、機体周囲の地形を把握することが困難であった。

既知の2次元地図上でロボットの位置姿勢を提示する手法⁽³⁾が提案されているが、この手法では起伏のある地形が扱えず、またブルドーザは地形を変えながら作業を行うので地図と実際の地形が一致しなくなる。計測した3次元地形を提示映像に反映する手法⁽⁴⁾⁽⁵⁾も複数存在しているが、これらの手法は地形は垂直な壁と水平な床のみを考慮しているので、屋外不整地のような、斜面や起伏のある地形への適用は難しい。

危険地形の検出としては点群から路面の障害物を検出する手法がすでに存在している⁽⁶⁾。この手法は走行路は平面と仮定し、平面に存在しない点群を障害物としているが、ブルドーザなど不整地で作業する建機への適用は、このような平面の存在を仮定する方法では難しい。

そこで、本研究では、第一に機体の位置姿勢が提示でき、第二に周囲の地形を反映した形状で周囲環境を提示し、第三に周囲の危険な地形の存在を検出して強調提示することの可能な映像提示手法の構築を目的とする。

2. 映像生成手法

提案手法の概要について述べる。機体周囲の状況を取得するために視野の広い魚眼カメラと、レーザレーダを搭載する。また、機体自身の位置と姿勢を取得するために慣性計測装置 (Inertial Measurement Unit, IMU) と全球測位衛星システム (Global Navigation Satellite System, GNSS) を機体に搭載する。使用するセンサはすべて機体に搭載する。

そして、測定した姿勢に基づき、提示映像を生成する際に使用する形状モデルの姿勢を変更することで、実際の姿勢を反映した提示映像を得る。地形の提示については、周囲の状況を提示するドーム形状のスクリーンの底面部分を取得した点群にもとづき変形させることで地形を表示する。また得られた点群から危険地形の判定を行い提示する。

レーザレーダは縦方向に並んだ複数のレーザ距離計から構成される本体が、縦の軸まわりにコマのように横方向の回転をすることで走査を行う。したがって、それぞれのレーザ距離計は一定の角度ごとに、物体までの距離を測定し、3次元点群を取得する。このようにして、レーザレーダで得られた3次元計測点は、ど

のレーザ距離計による計測点であるかという情報と、レーザレーダの回転角がどのような値のときに取得されたかという情報、そして、レーザ距離計そのものの距離情報をもっている。

そこで、隣接する計測点を結んでメッシュを生成する。

正常に作業を遂行するための必要条件としては、ブルドーザが一定の傾斜角 $\theta_{\max}$ を超えて傾かないことが求められる。そこで、ブルドーザが進入した場合、機体はその傾斜角を超えて傾く可能性のある地形を危険地形と考える。危険地形は下り急斜面、上り急斜面、起伏の3種類に分類できる。

また、地形が計測できない領域では、前述の危険な地形が存在する可能性があるので、危険地形として判定することが望ましい。また、センサからの距離によって三角形メッシュを構成する三角形の辺の長さが変化するので、傾斜を求める際には機体のサイズより小さな一定の領域の範囲を定めて傾斜を求める必要がある。

そこで、計測できていない部分を危険と判定するために、計測点密度の判定を行う。

傾斜角の判定には、判定を行おうとする三角形の周囲の領域に含まれる三角形の傾斜の平均を用いる。

傾斜角が小さい場合でも進入可能とは限らず、障害物などが原因で起伏の大きい地形である場合がある。そこで起伏の判定を行う。点群密度、傾斜角、起伏を組み合わせて危険地形を判定する。

3. 実機での映像生成実験

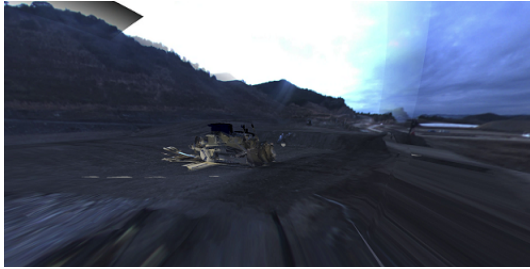
本提案手法が実際の状況においても適用可能であることを検証するために実機を用いた実験を行った。

3.1 実験装置と現場 機体の状況と周囲の地形の提示が可能な本提案手法の有効性を検証するために、急斜面（崖）を含む環境で走行実験を行った。実験にはブルドーザを使用した。機体に、周囲の映像を撮影するための魚眼カメラ、周囲の地形の3次元点群を取得するためのレーザレーダを搭載した。また、機体の位置、姿勢を取得するためには、機体に搭載したIMUとGNSSを利用した。崖の高さは4.8 mであり、傾斜は41 degである。ブルドーザは崖に向かって平坦路を走行し、崖の手前で停止し、後進して引き返した。機体が崖に最接近した状況を図1に示す。

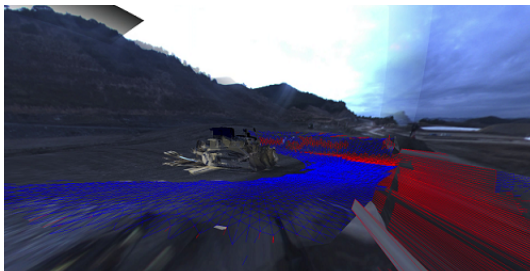
3.2 映像生成 図2(a)と図2(b)は提案手法によって生成した映像であり、図2(a)は機体の位置姿勢と周囲の地形を反映した結果であり、図2(b)は危険地形判定結果を反映した結果である。地形判定の結果は、進入可能と判定された領域を青、進入が危険と判



Fig. 1 崖に接近した機体



(a) 位置姿勢と地形を反映した提示映像



(b) 位置姿勢と地形に加えて危険地形判定結果を反映した提示映像

Fig. 2 崖際での提示映像

定された領域を赤で表示している。

いずれの映像も提示映像中に機体の位置姿勢と、レーザレーダによって得られた周囲の地形を反映している。機体の進行方向、図中では右手方向に急な斜面がある。この斜面は図2を生成したタイミングではレーザレーダから出るレーザを斜面自体が遮る位置にあり、映像中で提示される斜面形状は実際の斜面よりもゆるやかな斜面のように描画されているが、提案手法により危険地形表示をおこなった結果である、図2(b)では進入できないと判定され、赤く提示されている。したがって、オペレータは危険地形に気づくことができる。

4. 結 論

機体の姿勢変化を提示映像に取り入れることで、機体が傾斜面に進入したことや、旋回の動作をしている

様子など、機体の姿勢変化をオペレータに明示的に提示することが可能になった。取得した地形を映像に反映することで機体周囲の地形を視認することが容易な任意視点映像を生成することが可能となった。また、レーザレーダで測定した地形データを用いて地形を反映した映像提示を行うことで、機体の周囲の地形を視認することが容易な映像を提示することが可能になった。さらに、危険地形の検出と提示を行うことで、危険な地形の存在を視認することが容易な映像を提示可能になった。

今後の展望としては、レーザレーダ検出範囲外部分の補完アルゴリズムの構築、映像生成をオンラインで実行し、本提案手法が実際に遠隔操作において有効であるか否かの検証などがあげられる。

参 考 文 献

- (1) 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.
- (2) W.Sun, S. Iwataki, R.Komatsu, H. Fujii, A. Yamashita, and H. Hajime. Simultaneous televisualization of construction machine and environment using body mounted cameras. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, pp. 382–387, Dec 2016.
- (3) T.J.M. Sanguino, J.M.A. Marquez, T. Carlson, and J. Del R Millan. Interaction and evaluation of an augmented virtuality assistance system for teleoperated robot. In *Proceedings of the IEEE International Symposium on Robotic and Sensors Environments (ROSE)*, pp. 19–24, Nov 2012.
- (4) F. Ferland, F. Pomerleau, C. T. Le Dinh, and F. Michaud. Egocentric and exocentric teleoperation interface using real-time, 3d video projection. In *Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pp. 37–44, Mar 2009.
- (5) Hiroaki Yaguchi, Kenji Sato, Mitsuharu Kojima, Kiyohiro Sogen, Yutaka Takaoka, Masayoshi Tsuchinaga, Takashi Yamamoto, and Masayuki Inaba. Development of 3d viewer based teleoperation interface for human support robot hsr. *ROBOMECH Journal*, Vol. 1, No. 1, p. 10, Oct 2014.
- (6) L. Chen, J. Yang, and H. Kong. Lidar-histogram for fast road and obstacle detection. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pp. 1343–1348, May 2017.