

論文の内容の要旨

論文題目 建設機械操作のための任意視点映像提示システム
Arbitrary Viewpoint Visualization System for
Construction Machine Operation

氏 名 岩滝 宗一郎

毎年のように自然災害が大きな被害をもたらしている。自然災害による被害を最小限に抑えるためには、迅速な復旧作業が必要である。例えば地震や豪雨による土砂崩れによって河川がせき止められる事がある。この土砂によって河川がせき止められてできる地形を天然ダムや河道閉塞といい、決壊すれば下流域に大きな被害をもたらす。そのため、決壊を未然に防ぐための迅速な対応が必要である。また土砂災害で道路が通行不能となる被害もしばしば発生しているが、道路が寸断され被災地が孤立した状態が続くと被害が拡大する恐れがある。このように、自然災害への対応では、迅速に復旧作業や対応作業を行う必要がある。しかし、そのような災害現場は、地盤が不安定になっていたり、崩壊の危険があったりするため、直接作業員が現場に立ち入って作業を行うことが困難である場合が多い。このような状況では、建設機械の遠隔操作の活用が望まれている。

また、日本においては、高度経済成長期に建設された道路等の社会インフラが数多く存在している。それらのインフラは今後建設されてから高経年化が懸念されている。安全な社会の維持のためにはそれらのメンテナンスやリプレースが必要である。

一方、建設業界では、ベテランの減少、人手不足が進行している。

このような状況で、安全で効率的な作業を実現するためには、周囲の人への激突、巻き込み、建設機械の転倒、転落を防止することが必要である。

このような課題に対応するためには建設機械の操縦にとって重要な機体自身の状況や、周囲の状況を把握しやすくすることが重要である。

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事が多い。そして、機体周囲の状態を俯瞰するためには、現場に設置されたカメラを切り替えたり場所を移動させたりして作業に適した視点を設定し、映像を提示している。

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。また、鉱山などの現場では、カメラ撮影専用の車両を導入することが困難である場合がある。そのため、機体に搭載したセンサのみを用いて、機体自身の状況や、周囲の状況を把握できる映像を作業に適した視点で提示することが必要である。

本論文では、機体に搭載した魚眼カメラとレーザレーダを用いて、機体自身や周囲の環境を任意の視点から提示し、さらに建設機械での作業に適した情報を重畳表示する映像提示手法を提案する。また、この任意視点映像提示手法を構築する過程で、映像生成に用いる機体に搭載した魚眼カメラとレーザレーダそれぞれの機体に対する位置姿勢を求めるキャリブレーションの問題と、提示対象物を観測可能な魚眼カメラ、レーザレーダの配置を設計するという問題という2つの問題についても議論する。

まず、それらのセンサ群は、遠隔操作に必要な機体自身や機体周囲の状況を観測できるような配置で搭載する必要がある。建設機械のようなサイズが大きい対象にセンサを搭載する場合は、実物を使って、試行錯誤的にセンサのレイアウトを決定することは困難である。一方建設機械は人工物であるので、機体自身の形状データを例えばCADデータとして入手することは容易である。したがって、既知の機体形状データに対して、センサの配置を設計する手法が、既存の機体にセンサを搭載するためには必要となる。

次に、機体にセンサを搭載した場合、センサ取り付け誤差への対応が必要である。複数のカメラやレーザレーダといったセンサを組み合わせる場合には、それぞれのセンサの位置姿勢が必要である。カメラやセンサの配置を機体に搭載する際に設計した場合でも、実際に機体に搭載する際には、取り付け誤差により設計と位置姿勢が異なる場合がある。

したがって、魚眼カメラやレーザレーダの機体に対する位置姿勢推定が必要である。

そこで、本論文では、建設機械操作のための任意視点映像提示システムの設計、搭載、運用を行う一連の手法の構築を目的として、センサの機体への搭載位置姿勢の設計を行う手法、カメラやセンサの取り付け誤差に対応するためのキャリブレーション手法、車載カメラやセンサを用いて映像を生成する手法の3つを提案する。

第3章では、車載カメラやセンサを用いて映像を生成する手法として、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を提案した。また、提案手法を実際の実機に搭載し、実際の作業条件に近い状況で提示映像を生成し、検証を行った。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、建設機械を移動させる際に重要となる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。また、掘削作業のための、作業対象の地表の起伏を、起伏の高さに応じた色を付加することによって可視化する情報の重畳表示を提案する。

第4章では、カメラやセンサの取り付け誤差に対応するためのキャリブレーション手法として、複数の魚眼カメラとレーザレーダから構成されるセンサシステムのための、一度のデータ取得で実施可能なキャリブレーション手法を提案した。

提案手法では、魚眼カメラのキャリブレーションに機体自体の形状を用い、レーザレーダのキャリブレーションには2枚の平板と地面の3平面を用いて、それぞれのセンサに付き一度ずつのデータ取得でキャリブレーションを実現した。提案手法によって、一度のデータ取得でキャリブレーションを実施することができ、提示映像中の3Dメッシュデータと映像のテクスチャのズレが少ない映像を生成することができた。

第5章では、センサの機体への搭載位置姿勢の設計を行う手法として、機体自身と機体周囲のどちらも観測できる魚眼カメラ・レーザレーダ配置をセンサの解像度や得られる点群の密度を考慮して決定する手法を提案した。

これによって、機体の形状と搭載したいセンサのパラメータを入力として、十分な解像度、点群密度を得られるカメラ・レーザレーダの配置を決定でき、従来の配置決定手法に比べて高い解像度を得られる配置を得ることが可能となった。

この論文で提案した手法により、機体の位置姿勢が提示でき、周囲の地形を反映した形状で周囲環境を提示し、作業に合わせた情報を重畳提示することの可能な任意視点映像提示が実現できた。またそのような任意視点映像提示手法を建設機械に導入する際に重要となる、使用するカメラ、センサの搭載位置を設計し、実際に搭載したカメラやセンサをキャリブレーションして映像を生成するという一連の方法を構築することができた。