

審査の結果の要旨

氏名 王宇

王宇君の論文「クレーン操作支援のための吊下型カメラを用いた画像生成システムの開発」は、近年利用が始まっているクレーンに取り付ける吊下型カメラの画像を利用して、クレーンオペレータの作業支援を行うためのシステムを開発したものである。

第1章では、建設業などを中心に多くの産業で広く利用されているクレーンを取り上げ、本研究の背景と目的について述べている。クレーンには様々な種類のものがあるが、基本はロープと滑車で物を持ち上げ構造であり、それがブームと呼ばれる腕の先に設置されている。クレーンに関わる事故が絶えず、大きな問題となっており、より安全性を高めるための技術が求められている。その背景には、オペレータの作業環境の問題がある。クレーンの操作自体も熟練を要するものであり、さらに工事現場などの複雑な環境での作業を効率よく行うことが求められているにもかかわらず、クレーンのキャビン内での操作環境は貧弱である。特に、視野が狭く、また視覚的障害物も多いために、クレーンが持ち上げている状態を十分に把握することができないという問題がある。そのために、補助者を地上において連絡を取りながら作業をすることが多いが、工事現場などでは、補助者が必ずしも適切な指示を出せるような状態を確保することができない場合も多い。また、キャビン内の情報提示嬉々としては、ブームの角度などを数値で表示する簡単なディスプレイしか用意されておらず、空間的に作業情報を把握することはできない。

これに対して、近年クレーンに、様々なセンサーを装着して、環境に関する情報を取得し、オペレータに提供することが検討されている。その中でも、ブームの先端にカメラを取り付けて、作業状況を上から撮影して、その画像をオペレータに提供する吊下型カメラは、コスト的にも優れており、その普及が期待されている。他にも、3次元情報を取得するLiDARや、レーザーレンジファインダーなどのセンサーの利用も考えられるが、工事現場の劣悪な環境に耐える頑健性と、コストの問題から、それらの普及にはしばらく時間がかかると考えられている。

本研究では、吊下型カメラを使用してクレーン操作を支援するための画像提

示を行うシステムの開発を目的としている。現在の吊下型カメラに関しては、基本的にはその画像をキャビン内のモニターに表示する機能が主であるが、本研究では、その画像を利用することによって、より高度な作業支援を行うことを目指す。同様の考え方のシステムも存在するが、それらはカメラ画像をネットワークで転送して、オフラインで処理するものであり、工事現場で「その場」で使用することはできない。本研究では、工事現場で実時間で画像処理を行い、オペレータの作業支援のための画像を生成することを目的とした。なお、第2章では、3章以降で提案する画像処理技術に関連した基礎技術についてまとめている。

この目的を達成するために、本論文では二つの画像生成システムを開発した。まずその一つとして、第3章と4章では、吊下型カメラの動画から、工事現場全体を俯瞰する画像(2Dマップ)を生成するシステムを提案している。この2Dマップによって、オペレータは、クレーンに吊り下げられた物が工事現場の中のどの位置にあるかを知ることができる。吊下型カメラの画像にはクレーンのフックなど、工事現場の画像ではないものが映り込んでいるために、それを除去する前景削除技術を開発し、また、吊下型カメラの動画の中から、2Dマップを生成するために利用されるキーフレームを抽出する方法を提案している。これらの方法は、ほぼ実時間で計算を行うことができ、また、生成された画像の精度評価を行うことによって、クレーン作業に適用可能な精度を持っていることを確認している。

しかし、工事現場に建築物を含めて高さのある物体がある場合には、2Dマップは、となる。そこで、第5章では、もう一つのシステムとして、3次元画像(3次元点群)のマップ(3Dマップ)を生成するシステムを開発した。これはSLAM(Simultaneously Location And Mapping)と呼ばれる手法をベースとしているが、実時間での計算を行うために、様々な手法を検討し、SVOとREMODEという二つの手法を組み合わせることによって3D Mapを構成している。3D Mapの応用として、ブームがそれを超えるとクレーンが転倒する危険性があるというパワー限界線を、吊下型カメラの画像に重畳する手法を開発した。これによって、オペレータは、転倒を回避しながら、かつ、クレーン性能の限界まで使って効率よく作業を行うことができる。このためには、吊下型カメラの位置を同定する必要があるが、それをカメラからの画像を、3D Mapに高速にマッチングすることによって行う手法を開発した。また、求められたパワー限界線の表示精度の評価を行い、十分なレベルにあることを実験によって示している。そして、最後の第6章では結論と展望が述べてある。

以上をまとめると、本研究は依然として事故の多いクレーン作業に対して、近年普及が始まった吊下型カメラの画像を利用して、オペレータを支援するた

めの画像を、キャビン内のディスプレイに提示する 2 次元及び 3 次元のシステムを開発し、実験によってそれらの性能評価を行い、目標とした性能を実現したものである。これらのシステムは、特殊なセンサーを必要とせず、また計算時間も小さいために、現場利用に向けた特徴をもっており、実用的にも有用な成果を得たと言える。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。