

氏 名(本 籍)	井 上 清 一(福井県)
学 位 の 種 類	博 士(工学)
学 位 記 番 号	甲 第 51 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 8 年 3 月 25 日
専 攻	電子情報システム工学専攻
学 位 論 文 題 目	テレロボティクスにおけるマンマシン・インタフェースの研究
学位論文審査委員	(主査) 教 授 小 鹿 丈 夫 (副査) 教 授 後 藤 宗 弘 教 授 池 田 尚 志

### 論文内容の要旨

本論文は、人間がハンドロボットの遠隔制御を行う際の、人間と機械のインタフェースの改善を図り、人間にとって良好な操作環境を与えることを目的としており、6章からなっている。

第1章の緒論では、テレロボティクスにおけるマンマシン・インタフェース研究の動向と問題点を梗概し、本研究の目的と意義について述べている。

第2章では、まずロボットが作業する環境内の3次元計測の原理と手順について述べている。本研究で製作したシステムは、2台のカメラから得られた2つの映像から、人間に呈示される作業環境の任意の位置の3次元情報を計測することが出来る。次に、実世界と仮想世界を対応させるために必要な透視変換マトリックスの各要素の測定とその誤差の検討を行っている。実空間の中の少なくとも既知6点が与えられれば、透視変換マトリックスの全ての要素を求めることが出来るが、実空間と仮想空間の良好な対応を実現するために、この章では、8点と16点を与えた場合の透視変換マトリックスの測定とその誤差について検討している。

つづいて、ビジュアルフィードバックによる3次元計測について述べている。立体視環境のもとで3次元計測を行う場合、立体視を良好に与えるためには、2台のカメラを人間の両目の間隔とほぼ等しく保つことが必要である。しかし、3次元計測の精度を向上させるためには、2台のカメラの間隔を出来るだけ広くとる必要がある。この相反する条件を克服するために、本章では、4台のカメラを用いたビジュアルフィードバックによる3次元計測を提案してい

る。作業環境を広域に撮影する2台の固定カメラと計測精度を向上させるためエンドイフェクターに取り付けた2台のカメラを用いることによって、立体環境の呈示と3次元計測が同時にしかも良好に行えるようになったことを明らかにしている。

第3章では、仮想平面を用いた6自由度ハンドロボットの2次元制御について述べている。まず、ハンドロボットを遠隔操作するためのシステムの構成と立体視システムについて述べている。続いて、実空間と対応のとれた仮想空間の中に描かれた仮想平面と2次元入力装置であるマウスだけを用いて行う、6自由度のハンドロボットの遠隔制御の手法を提案している。さらに、仮想平面上に描かれた曲線を追跡して行う障害物回避の方法も提案している。

第4章では、人間が与えた概略的回避経路を逐次修正しながら障害物回避経路を求める経路修正法による障害物回避と仮想平面上に描かれた曲線を追跡して行う障害物回避の方法を提案している。さらに、立体視における3次元空間の位置認識について、実験的に検討している。本研究では、時分割液晶眼鏡を使用して、オペレータに立体視環境を提供することが出来るようになったので、その立体視システムを用いて、ロボットの遠隔操作を行う時、人間の位置認識にどの程度の改善がなされたかを実験的に検討している。

第5章では、仮想センシング法を用いた複数ハンドロボットの衝突回避について述べている。作業環境の中で、人間は両腕を巧みに用いて仕事をしているが、ロボットが複数で作業を行う場合、ロボット間の衝突回避が重要な問題となる。この章では、仮想センシング法と名付ける新しい方法を提案している。この方法の特長は、人間が本来行ってきた視覚的判定法を応用したもので、可能な限り数学的方法を避けようとするところにある。

第6章では、第2章から第5章で得られた成果について要約している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文では、ハンドロボットの遠隔操作におけるマンマシン・インタフェースの改善を図ることを目的としており、3次元計測システムと仮想平面を用いたハンドロボットの制御システムの構築の報告、および、複数ロボットの衝突回避のための仮想センサ法を提案している。得られた結果は次のとおりである。

(1) 複数のCCDカメラを用いた3次元計測システムは、計測の初期段階におけるキャリブレーションから実際の計測まですべて遠隔で操作することが可能であり、計測精度も良好であることを実証した。このことより、ハンドロボットで遠隔操作をする場合、呈示された映像を見ながらハンドロボットのエンドイフェクターを逐次近づけるのではなく、得られた3次元情報をもとに直接対象物を掴む動作が可能となり、オペレーターの負担を軽減することができるようになった。

(2) 仮想平面を用いたロボット制御においては、2次元の入力装置であるマウスと、空間の中で任意の方向に回転出来る仮想平面を組み合わせることによって、6自由度の制御が可能となった。このことにより、人間の感覚にマッチした形態で入力と出力の両者の情報を提示することが可能となった。例えば、作業空間の中のハンドロボットを、ある位置へ移動させる場合、その位置にマウスを移動させて指示するだけで、ハンドロボットを所望の位置に移動することが可能となった。

(3) 経路修正法による障害物回避の方法を提案し、シミュレーションでその有用性を示した。これは、エンドイフェクターが物体を把持した状態で、障害物を回避しながらゴールへ到達させる経路を見つける方法である。さらに、仮想平面上に描かれた曲線を用いた障害物回避においては、平面上に描かれた任意の曲線を追跡することによって、ハンドロボットのエンドイフェクターの先端部の障害物回避が可能であることを実験的に確かめることが出来た。また、位置認識実験において、従来の2D環境に比べ奥行き認識においても大きな改善がなされていることを実験的に示すことが出来た。

(4) 複数ハンドロボットの衝突回避のための仮想センシング法を提案し、その有用性を示すことができた。ここで提案した仮想センシング法は、人間が本来行ってきた視覚的判定法を応用したものである。この方法は、ブラックボックスになりがちな数学的手法をなるべく避け、人間に理解しやすいグラフィックを多用したものとなっている。あたかも機械技術者が製作図面を描くような

方式で、衝突の判定をしようとするものである。予測外の事態に陥り、緊急の修復が望まれるとき、ここで提案した仮想センシング法を用いれば、システムの故障原因や故障個所の推定が容易なものとなる。つまりシステムの保守性にも配慮したものとなっている。

以上要するに、本論文は、遠隔操作によるロボット制御のマンマシン・インタフェースの改善のために、インタフェース部に仮想空間を持ち込み、実空間との整合を図ることによって、操作性の向上を図ったものである。システムの構築や提案についてのシミュレーションは、その有用性を実証するものであり、学術上、實際上寄与することが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学術論文として価値あるものと認める。

本  
テム  
構築  
のよ  
第  
点を  
第  
構文  
なテ  
密な  
こて  
な解  
な係  
や並  
てそ  
本  
タイ  
際す  
とす  
定す  
含ま  
朝  
てお