

氏 名	よここうじ やす よし 横 小 路 泰 義
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 2513 号
学位授与の日付	平 成 3 年 9 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	ANALYSIS AND DESIGN OF MASTER-SLAVE TELE- OPERATION SYSTEMS (マスタ・スレーブ型遠隔操縦システムの解析と設計)
論文調査委員	(主 査) 教 授 吉 川 恒 夫 教 授 井 上 紘 一 教 授 島 進

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、マスタ・スレーブ型遠隔操縦システムの解析と機構及び制御系の設計について論じたものであり、10章からなっている。

第1章は緒論であり、研究の背景と目的、従来の研究との関連等について述べている。

第2章では、マスタ・スレーブシステムの操作性の定量的評価法について論じている。1自由度の系に対してオペレータや対象物の動特性も考慮に入れたモデル化を行い、まず遠隔操縦システムにとっての理想的な応答として3つの理想応答を定義している。ついで定義された理想応答を実現するために制御方策が満たすべき条件を導いている。さらに、実際のシステムの応答がどの程度理想応答を達成しているかという観点から、システムの操作性の定量的な評価指標を与えている。

第3章では、理想的な操作性を実現するための新しいバイラテラル制御手法の設計について述べている。第2章で導かれた理想応答実現のための条件に基づいて、マスタ・スレーブマニピュレータのための新たなバイラテラル制御法を提案し、この制御法を適用することによりオペレータがあたかも遠隔地の対象物を直接扱っているかのような感覚で操縦できることを示している。この制御策は、マスタ、スレーブ両アームの加速度信号をもとにして、オペレータと対象物の間に存在しているこれらアームのダイナミクスを見かけ上打ち消すことによって理想的な応答を得るものである。次いでマスタとスレーブ間に介在する仮想的な機械インピーダンスを導入することにより、2章で定義した3つの理想応答を実現する制御策がすべて表現できるように制御策を一般化している。

第4章では、オペレータの腕の動特性を考慮にいれた遠隔操縦用のマスタアームの多リンク機構としての機械設計指針について述べている。ここではオペレータの腕そのものを一つのロボットアームと見立てて、従来の動的可操作度の考え方を拡張してオペレータがマスタアームを手先負荷として把持したときに発生し得る手先加速度の大きさを評価する指標を示している。さらにオペレータが無負荷で発生できる手先加速度とマスタアーム操作時の手先加速度との類似性を評価できる指標も併せて示している。

第5章では、第3章で議論された理想応答を実現する制御方策を多自由度系に対して拡張している。多

自由度系への拡張に際しては、異構造型および同構造型マスタ・スレーブマニピュレータそれぞれについての制御方策を示している。

第6章では、第3章で提案した新たなバイラテラル制御法の有効性を実験的に検証している。

第7章では、ロボットマニピュレータの運動学および動力学的計算の効率的アルゴリズムについて論じている。マスタ・スレーブシステムの操作性向上のためにはマスタ、スレーブ両アームのダイナミクスを補償することが必要であることが第2、3章で示されたが、多自由度系の場合はアームが多リンク機構となるため、そのダイナミクスの補償には複雑な計算が必要となる。テレオペレーションにおいては通常のロボットマニピュレータと違い事前に目標軌道が与えられることはないのので、これらのダイナミクス補償のための計算をオンラインで行う必要がある。本章では、マニピュレータのダイナミクス補償のための運動学と動力学的計算のときに存在する重複を考慮した効率的なアルゴリズムを定式化している。

第8章では、浮動小数点 DSP によるマニピュレータ制御のための実時間計算の実現について述べている。安価で高速な浮動小数点 DSP により、多自由度マスタ・スレーブシステムの場合でもダイナミクス補償を実時間で行える可能性を示している。

第9章では、シリアルリンク型マニピュレータのリンク座標系の設定について論じており、リンク座標の設定法を変えることでも運動学や動力学的計算量が削減できることを示している。

第10章は結論であり、本論文で得られた成果について要約しており、さらに今後の課題について言及している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、マスタ・スレーブ型遠隔操縦システムの解析と機構設計および制御系の設計について論じたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. マスタ・スレーブ型の遠隔操縦法は古くから用いられてきたが、その操作性は必ずしも満足のゆくものではなかった。また操作性自体も直感的なものであるため、その定量的評価が難しかった。本論文では、マスタ・スレーブシステムの理想応答を明確に定義し、実際のシステムの応答がどの程度理想応答を達成しているかという観点から、システムの操作性の定量的な評価指標を与えている。

2. マスタ・スレーブ両アームの位置、速度、力の信号に加えて両アームの加速度信号を用いてアームのダイナミクスを見かけ上打ち消すことにより理想応答を実現する制御策を提案し、それによるとオペレータがあたかも遠隔地の対象物を直接扱っているかのような感覚で操縦できることを示している。さらに実際に遠隔操縦システムを試作し、実験によって本制御手法の有効性を検証している。

3. オペレータ自身の腕の動特性も考慮にいれたマスタアームの機構設計の指針となる指標を与えている。さらにこの指標に基づくいくつかの数値例から、アーム自体の機構設計に加えてオペレータとアームの相対的配置が重要であることを指摘している。

4. 理想応答を実現するためには、オペレータと対象物の間に存在するマスタ、スレーブ両アームのダイナミクスをオンライン計算により補償することが必要であるが、多自由度系の場合はアームが多リンク機構となるため、そのダイナミクスの補償には複雑な計算が必要となる。そこで、マニピュレータのダイ

ナミクス補償のための運動学的および動力学的計算の効率的なアルゴリズムを提案するとともに、デジタルシグナルプロセッサを用いることにより実時間計算が可能であることを示している。これにより多自由度マスタ・スレーブシステムの操作性向上が計算時間の観点からも十分実現可能であることを明らかにしている。

以上の成果により、本論文は学術上、実際上寄与するところが少なくなく、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成3年7月10日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。