T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Studies on an Index of Operator ’ s Haptic Sensation and System Parameters Design for a Master-Slave System
著者(和文)	周東博
Author(English)	Dongbo Zhou
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11230号, 授与年月日:2019年6月30日, 学位の種別:課程博士, 審査員:只野 耕太郎,吉田 和弘,吉岡 勇人,金 俊完,松村 茂樹
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11230号, Conferred date:2019/6/30, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

（博士課程）

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第　　号		学位申請者氏名	周　東博	
論文審査 審 査 員		氏　名	職　名	氏　名	職　名
	主査	只野　耕太郎	准教授	松村　茂樹	准教授
	審査員	吉田　和弘	教授		
		吉岡　勇人	准教授		
		金　俊完	准教授		

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は、「Studies on an Index of Operator’s Haptic Sensation and System Parameters Design for a Master-Slave System」と題し、全５章から構成されている。

第 1 章「Introduction」では、マスタ・スレーブシステムによる遠隔操作において、操作者への力覚提示が作業性を高めるうえで重要であり、それを実現するためのバイラテラル制御の研究が多数なされていることを示している。バイラテラル制御においては、システムの機械的インピーダンス、制御ゲイン、位置や力のスケーリング比などの制御パラメータによって、作業に応じた動作特性や操作性を得ることができると述べている。これらのパラメータがシステムの透明性や安定性に及ぼす影響は従来の研究によって示されているが、力覚提示の本来の目的の一つである、操作者がスレーブ側の反力をいかに敏感に感じ取り外部環境との接触を知覚しやすいかに対する定量的な関係性は明らかにされていないことを指摘している。そのため、所望の動作特性と力覚感度を同時に得るためには、多数の制御パラメータを試行錯誤的に調整する必要があり、適切なパラメータを迅速に求めることが困難であると述べている。そこで、本研究では、マスタ・スレーブシステムにおける接触の知覚しやすさを定量的に表す新たな指標を提案し、各パラメータとの関係を定式化することで、力覚を考慮したバイラテラル制御のパラメータ設計指針を構築することを目的としている。

第 2 章「An index of operator’s haptic sensation」では、接触の知覚しやすさを定量的に表現する指標を提案し、その指標としての妥当性について評価、議論している。はじめに、操作者への感覚刺激は手に握られるマスタの動作によって直接的に生じることに着目し、スレーブと外部環境が接触する前後のマスタの速度比によって表現される無次元量を指標として定義している。次に、本指標が接触前の速度には依存しないことを実験により確認し、操作者の実際の感覚が接触速度に影響を受けないことと一致するとしている。また、心理物理学的実験により、本指標の弁別閾と基準値との関係を明らかにするとともに、異なるパラメータの組み合わせにおいても、本指標が弁別閾内にあれば知覚しやすさは同程度となることを確認している。以上から本指標が操作者の感覚を表すものとして妥当であることを示している。

第 3 章「The relationship between the index value and the system parameters」では、前章で提案した指標値と制御対象の機械的インピーダンスを含むシステムパラメータの関係を解明し、その数式表現の導出を行っている。はじめに、マスタとスレーブを一つの剛体として扱う簡易的なバイラテラル制御モデルにおいて、接触前後のマスタの速度を解析的に解くことで、本指標をシステムパラメータの関数として導出している。次に、マスタ、スレーブ間が仮想のばねおよびダンパで接続される一般的なバイラテラル制御モデルに対して検討を行っている。本条件では、解析解の導出が困難であることから、数値計算によって得られる解と上記簡易モデルの解析解との関係を、ばね定数および減衰係数の関数として近似することで、指標を定式化している。最後に、構築した数式表現の妥当性を実験により確認している。

第４章「Applications as a guideline for system parameter design」では、第３章で導出された指標の数式表現を利用し、操作者の力覚感度を考慮したマスタ・スレーブシステムの制御パラメータ設計について述べている。はじめに、操作の安定性向上を目的としてマスタの減衰係数を上げる場合や、衝撃力の吸収のためスレーブのコンプライアンスを大きくする場合には、一般に物体と接触時の

反力がマスタの粘性力等に埋もれ接触を知覚しにくくなることを指摘している。これに対し、本指標が弁別閾内となる各パラメータの上限を求めることで、知覚しやすさを劣化させない範囲での制御パラメータの調整が可能となるとしている。一方で、本指標の低下が避けられない場合においても、力フィードバックのスケーリング値など他の制御パラメータを本指標が同程度となるよう逆算し設定することで、接触の知覚しやすさを維持したまま所望の操作性設定が可能となるとしている。上記の具体的事例について実験による検証を行い、本指標によって作業性への要求と知覚しやすさの両者を考慮した制御パラメータ設計が行えることを示している。

第 5 章「Conclusions and future works」では、本論文により得られた結果を総括し、今後の課題を示している。

以上を要するに、本論文は、マスタ・スレーブシステムにおいて操作者にとっての物体との接触の知覚しやすさを示す新たな力覚感度指標の提案とその定式化によって、力覚感度を考慮したバイラテラル制御のパラメータ設計指針を構築し、その有用性を実験的に示したものであり、工学上ならびに工業上寄与するところが大きい。よって、我々は本論文を博士（工学）の学位論文として十分に価値があると認める。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。