

## 論文審査の結果の要旨

学位申請者 タラン フォウン タオ

TRAN PHUONG THAO

本論文は、「High-Performance Robot Motion Control Based on Wideband and Friction-Free Force Sensation (広帯域と摩擦フリー力覚情報に基づく高性能ロボットモーションコントロール)」と題し、5章より構成されている。

本論文の第1章「序論」では、研究背景および研究方針について述べられており、ロボットモーションコントロールにおける従来の力推定手法について論述されている。具体的には、力制御系において、力センサを用いた計測法やモデルベース手法に基づいた力推定法に関して説明されており、高性能力制御系を達成するために広帯域な力推定が必要であるにも関わらず、従来法ではノイズやモデルの精度が問題となることを議論している。

第2章では、マルチセンサを用いたカルマンフィルタに基づく外乱オブザーバの原理について述べられており、従来の力推定手法と比較し提案手法の有効性が明らかにされている。従来の外乱オブザーバによる力推定の帯域はノイズの問題によって制限されている。そこで、マルチセンサを用いたカルマンフィルタに基づく外乱オブザーバを提案し、速度推定のノイズを効果的に抑制でき、特に、高加速をとまなう衝突動作に対して効果的な力推定が可能となる。帯域 62800 rad/s ( $\approx 10\text{kHz}$ ) の超広帯域力センシング法が成し遂げられた。

第3章では摩擦フリー外乱オブザーバの原理と設計法について論述され、実機実験により摩擦フリー外乱オブザーバの有効性が確認されている。本章においては、広帯域力制御系を成し遂げるために摩擦フリー外乱オブザーバが提案され、指令値信号にディザ信号を負荷することにより力推定における摩擦の影響が除去される。しかしながら、制御系の性能に影響する振動的な外乱が生成されるため、摩擦フリー外乱オブザーバは推定力に含まれる周期的な外乱の除去を行うように構成される。また、力推定におけるノイズの影響を抑制するために、カルマンフィルタは摩擦フリー外乱オブザーバと結合して用いられる。力推定の広帯域化と摩擦力の除去の双方が達成可能であることが実機実験により明らかとなっている。

第4章では、提案された摩擦フリー外乱オブザーバを用いた異構造マスタスレーブ機構を持つバイラテラル制御系の原理および実機実験を通しての検証が行われている。提案システムでは、リニアモータとボールねじはそれぞれマスタとスレーブの役目を担い、従来の外乱オブザーバと摩擦フリー外乱オブザーバの双方がマスタとスレーブのそれぞれに適用されている。提案手法により、力応答の振動的な外乱は双方のシステムで抑制され、マスタとスレーブの機械的構造が異なる場合であっても、位置応答と力応答の高い追従性が成し遂げられる。従って、遠隔地の環境の感触を得ながらにして、人間の操作者は小さな操作力で操作可能となることが確認されている。

第5章では、本論文のすべての結論について述べられており、モーションコピーシステムにおける安全技術などの将来的な研究や展望について述べる。

よって、本論文は工学上及び工業上貢献するところが大きく、博士(工学)の学位論文として十分な価値を有するものと認める。

審査委員主査 大石 潔