HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	エネルギ制御によるパワーアシストとスキルアシストの同時実現とセミアクティブアシスト機構への応用 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	日下, 聖
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第11311号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55642
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Takashi_Kusaka_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (情報科学)　氏名　日下　聖

審査担当者　主　査　准教授　田中 孝之
副　査　教　授　山下 裕
副　査　教　授　金子 俊一

学位論文題名

エネルギ制御によるパワーアシストとスキルアシストの同時実現とセミアクティブアシスト機構への応用
（Simultaneous Realization of Power Assist and Skill Assist based on Energy Control and its Application to Semi-active Assist Mechanism）

本論文では, 周期運動を対象としたアシスト装置において, 操作者の消費エネルギの負担軽減のためのパワーアシストと, 目標運動の達成度向上のためのスキルアシストを同時実現させるための制御技術について述べられている.

第 1 章において, 本研究の背景, 目的および概要について, 特にセミアクティブアシスト機構の特徴と弾性材を利用した補助メカニズム, その制御系の設計の観点から説明している. 本研究は基礎研究として, 単調な周期運動を対象として, 開発した手法の有用性を調査することを述べている. また, 関連研究として, アクティブ型, パッシブ型, セミアクティブ型の分類から従来のパワーアシストシステムが紹介され, 本論文の新規性, 優位性について述べている.

第 2 章では, 本研究の主軸となる周期運動のエネルギ制御のためのパワーアシスト法について述べている. 周期入力制御を用いた位相同期手法について詳細に述べ, 理論的解析を行った. また, 周期運動のパワーアシストの応用として, 装着型セミアクティブアシスト型システムであるスマートスーツを用いて, 腰部周期動作の一例である競走馬調教騎手の動作を対象として行った実験結果を示し, その有効性を示した. さらに, 従来の周期入力制御で用いていた Van der Pol 方程式よりも人間の四肢の動作特性に近い Hybrid 型 Van der Pol 方程式について述べ, そのエネルギ制御に基づくパラメータ設計について述べている. その解析から得られたエネルギフィードバックの構造と, 周期動作への同調によるパワーアシストに関する知見を述べている. また, 周期運動に関して同期は位相に関するが, それ以外の自由度として振幅とオフセットを持つ. アクチュエータのこれらのパラメータを適切に制御することで, パワーアシスト率を制御可能であることを制御可能であることを示した. パワーアシスト率制御に関してタワー型実験装置を用いた実験結果により, その有用性を示した.

第 3 章では, 周期入力制御の特徴の一つである任意位相差を持った同期が可能という点を活かしたスキルアシスト制御系の設計, およびその効率制御に関して述べている. 本論文では周期運動におけるスキルとして, 目標運動への位置追従性を用いている. 手法の適用により, その位置追従性が改善することを確認した. 設計したスキルアシストでは, 運動状態をあるエネルギ状態として表現することで, 目標運動と現在の運動との間にどの程度誤差があるのかをエネルギとして定量的に表現し, 周期入力によって実現される補助力位相差を用いて動作矯正を行った. 補助力と運動の関係を解析するとで, この補助力位相差を設計しスキルアシストを実現した. また, 実際の周期運動中に要求さ

れる補助力位相差が正規分布に従うことを実験的に確認し, その出現確率を用いてスキルアシストの効率を制御するための補助力位相差制限法を開発した. タワー型実験装置を用いた実験結果を基に, 開発した手法の有効性を述べている.

第 4 章では, パワーアシストとスキルアシストの同時実現のためのパラメータ最適化について述べている. パワーアシスト効果とスキルアシスト効果はトレードオフであることを示している. 上記で設計したスキルアシスト効率とパワーアシスト率について, それぞれの効果を最適化する手法を提案し, 実験的にその有効性を示している.

本研究で用いているセミアクティブアシスト機構は, 従来多く研究されている大型のパワーアシスト装置とは異なり, 補助力源として弾性材の復元力用いている. 弾性材による柔らかいアシストが装着者の自由度を拘束しないという特徴を活かし, 本研究ではパワーアシストと同時に位相差を利用したスキルアシストを行うシステムを実現した. パワーアシスト装置やスキルアシスト装置は国内外問わず広く研究されているが, それらの同時実現を目指した研究は未だ行われていない. 本研究では, パワーアシスト率の設計だけでなく, 補助力位相差制限法による統計的解析に基づくスキルアシスト効率制御によって, パワーアシストとスキルアシストの効果を同時に考慮したシステムを実現している.

また, パワーアシストと同時にスキルアシストを行う技術を開発し, その基礎研究として単調な周期運動を対象としてその効果を検証している. 本研究の発展として, スキルアシスト技術が特に求められる歩行リハビリテーションアシストなどへの適用が考えられるが, 歩行運動もいくつかの周波数からなる周期運動の重ね合わせとして表現可能なため, そのような分野への応用が期待される. また, 本研究では特にセミアクティブアシスト機構に関して設計を行ってきたが, エネルギ制御に基づくスキルアシスト制御系の考え方自体は補助力の供給タイミングを論じたものであるので, 一般のパワーアシストシステムにも応用可能である.

以上を要するに, 著者は, エネルギ制御に基づいて操作者の身体負担の軽減とスキル向上を同時実現する画期的な制御手法の開発を行い, 理論的かつ実験的にその有用性を示した. 本研究の成果は, 実用的なロボットシステムとして注目されているパワーアシストシステムなどの人間機械系分野の発展に寄与するところ大なるものがある. よって, 著者は北海道大学博士 (情報科学) の学位を授与される資格あるものと認める.