

論文内容要旨 (和文)

平成 14 年度入学 大学院博士後期課程 工学専攻 知能機械システム講座
学生番号 02522306
氏名 齊藤陽平

(英文の場合は、その和訳を () を付して併記すること。)

論文題目 環境適応ロボットのバイオミメティック制御についての研究

これまで、ロボットは産業用として工場などの規格化された生産ラインで繰り返し作業に広く用いられてきた。一方、今後のロボットの発展を考えた場合、極限環境(宇宙や深海など)や危険な環境(災害現場など)で人間に代わりに作業することや、人間の生活環境で家事や介護を手伝うこと、ペットロボットといった娯楽用途など、複雑な作業環境下での広範な活躍が期待されている。つまり、ロボットには、環境(人間や作業対象物、障害物など)との相互作用を考慮した制御が求められる。そこで、生体の運動機能に目を向けると、環境の変化に対して非常に柔軟であり、環境との相互作用を巧く利用することで多様な動作を実現している。このことから、本研究では生物の巧みな制御構造を参考にし、バイオミメティック(生体模倣)の視点からロボットの運動制御・力制御に取り組む研究を行った。


第一に、ロボットの作業空間の幾何学的拘束情報が不確かな場合における運動制御についての研究を行った。一般にロボットを運動させるためには、ロボットに目標軌道を与える必要がある。目標軌道を与える方法について、従来のロボットシステムを分類すると、目標軌道を時間関数として記述する Time-Base と、ロボットの位置と目標軌道から空間的に目標速度を記述する Path-Base に分類される。そして、多くのロボットでは Time-Base が多く用いられてきた。本研究では、Time-Base を用いた場合の問題点を提起した後で、Li らによって提案された Path-Base な受動的運動制御である Passive Velocity Field Control (PVFC) を紹介する。この PVFC では制御対象となるロボットが外力に対して受動性を保つように制御され、目標軌道は目標速度ベクトル場として記述される特徴がある。しかし、PVFC では作業環境の幾何学的拘束(障害物の位置情報など)が既知であることを前提に目標軌道を定めて目標速度ベクトル場を構成するために、幾何学的拘束の情報に誤差がある場合には適切な目標速度ベクトル場を構成することができないという問題点が存在した。そこで、この問題点を解決する手段として Mussa-Ivaldi らの蛙の運動制御実験と、Luo らのベクトル場の自己組織化に着目した。この、蛙の運動制御実験において、蛙の運動関連部位の神経回路は、様々な平衡点を持つ力の収束場を生成するモジュールによって構成されていて、運動制御はそれら複数のモジュールを利用しているのではないかという推論が立てられている。そこで、この推論を参考にロボットの目標速度ベクトル場を、異なる平衡点を持つ複数のベクトル場を発生するモジュールによって構成するアルゴリズムを提案した。このアルゴリズムは、ロボットと環境との接触力の情報を利用してロボットが運動すべき方向を抽出し、ロボットの目標速度ベクトル場を適応的に更新するものである。本研究で提案する運動制御アルゴリズムに関して、計算機シミュレーションによって有効性を検証し、Modular Vector Field Control として紹介す

る。

第二に、ロボットと環境との接触作業に注目し、ロボットと環境との間に動的に変化する接触力を実現するための研究を行った。環境との接触作業を考えた従来の研究としてインピーダンス制御を考えてみると、環境から見たロボット自身の固さを変化させることができるのだが、接触力そのものをダイレクトに制御しているわけではない。そこで、本研究では動的に変化する接触力そのものを制御するための参考として、川人らによって示された人間の小脳の運動制御メカニズムであるフィードバック誤差学習と、宮村らによって提案された適応制御アルゴリズムに着目した。フィードバック誤差学習のアーキテクチャでは、人間の小脳の運動制御において制御対象に対してフィードバック制御を行うと同時にフィードフォワード制御器がフィードバック信号を利用して学習し制御対象の逆モデルを構成するという構造が提案されており、フィードフォワード制御器が制御対象の逆モデルとなることでフィードバックの遅れのない運動制御が可能といえる。そして、宮村らの適応制御アルゴリズムではフィードバック誤差学習のアーキテクチャを基に適応制御アルゴリズムを提案している。本研究では、この適応制御アルゴリズムを用いて、ロボットと環境の間に動的に変化する接触力を実現する力制御を提案し、シミュレーションと実機実験によって有効性を確認した。

(10pt 2,000 字程度 2 頁以内)

論文内容要旨 (英文)

平成 14 年度入学 大学院博士後期課程 システム情報 工学専攻 知能機械システム講座
学生番号 02522306
氏名 齊藤 陽平 

論文題目 Research of Environment Adaptive Robotic System Based on Bio-mimetic Control

For the next generation of intelligent robots to meet expectations for cooperating with and helping human beings directly and safely in daily life, it must be able to adapt to environmental conditions. So we consider new approaches of robot control based on bio-mimetic studies in our research.

Firstly, We notice that passive velocity field control (PVFC) proposed by Li et al. It specifies a time invariant velocity field within the configuration space based on the environmental model. It enable s the robot to track the desired velocity field in free motion space, and the resultant closed loop of the robot maintains passivity toward environmental interaction without force feedback. Then, we considered adding environmental adaptability to PVFC, and propose an adaptive approach that adjusts robot dynamics and the direction of the desired velocity vector toward the real environmental contact vector. Inspired by biological studies of frog leg motions, we propose adaptive modular vector field control considering environmental geometric model uncertainty.

Secondly we consider the robot's contact task to specify some desired time-varying contact force to its dynamic environment. We assume that the environmental dynamics is unknown, and based on bio-mimetic studies of human motor control functions, we propose a novel 2 degree of freedom adaptive control approach. In this approach, both force feedback and feedforward controllers are involved in the robot's control system. The feedback control is set as constant while the feedforward controller is adjusted online adaptively to approach the inverse of the force control transfer function. Using this approach, exact force tracking without any loop delay can be realized by the robot.

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成17年1月28日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

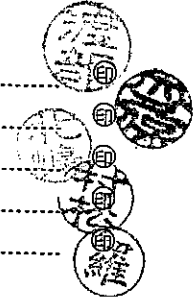
主査 渡部慶二

副査 大久保重範

副査 北嶋龍雄

副査 村松鋭一

副査 羅志偉



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

1. 論文申請者

専攻名 システム情報工学 専攻
氏名 齊藤 陽平

2. 論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

環境適応ロボットのバイオメテック制御についての研究

3. 学位論文公聴会

開催日 平成17年 1月 26日

場 所 工学部 7-401教室

4. 審査年月日

論文審査 平成17年 1月26日 ~ 平成17年 1月 28日

最終試験 平成17年 1月26日 ~ 平成17年 1月 28日

5. 学位論文の審査及び最終試験の結果 (「合格」・「不合格」で記入すること。)

(1) 学位論文審査 合格

(2) 最終試験 合格

6. 学位論文の審査結果の要旨 (1,200字程度)

別紙のとおり

7. 最終試験の結果の要旨

別紙のとおり

別紙

専攻名	システム情報工学	氏名	齊藤陽平
学位論文の審査結果の要旨			
<p>本学位論文の内容は下記の通りである。ロボットの活躍の範囲が広がるにつれて、ロボットと環境(人間や作業対象物、障害物など)との相互作用を考慮した制御を行う必要性が生じている。そこで、相互作用を利用して運動を行う生物に学び、生物の巧みな制御構造を参考にすることで、新たな視点からロボットの運動制御・力制御に取り組む研究を行った。</p> <p>第1章では、ロボットの活躍が期待される分野を考え、複雑な作業環境下でロボットと環境との相互作用を考慮した制御を行う必要性を示す。そして、バイオメテック(生体模倣)の視点からロボットの運動制御・力制御に取り組むことを述べた。</p> <p>第2章では、ロボットの作業空間の幾何学的拘束情報が不確かな場合における運動制御についての研究を示す。この研究では、Liらによって提案された受動的運動制御である Passive Velocity Field Control (PVFC)に着目した。PVFCでは制御対象となるロボットが外力に対して受動性を保つように制御されており、目標軌道は目標速度ベクトル場として記述される。しかし、ベクトル場を構成する際に目標軌道が正確に与えられない場合に要求されたタスクを実行できないという問題点が存在する。この問題点を解決するため「蛙の運動制御実験に基づく、ベクトル場の自己組織化」に着目し、目標速度ベクトル場を環境とロボットの接触力情報からロボットが運動すべき方向を推定し、目標速度ベクトル場を適応的に更新するアルゴリズムを提案した。この運動制御アルゴリズムの有効性を計算機シミュレーションにより検証し、Modular Vector Field Controlとして提案した。</p> <p>第3章では、ロボットと環境との間で動的に変化する接触力を実現する研究を行った。この研究では、川人らによって示されたフィードバック誤差学習(FEL)に着目し適応力制御へ展開した。FELでは、制御対象に対して Feedforward 制御器と Feedback 制御器による制御入力制御対象に入力される、このとき Feedforward 制御器は Feedback 入力および誤差信号によって制御対象の逆モデルになるようにパラメータが調整される。そして、十分学習が済んだ状態ではフィードバックループに関わらず Feedforward 入力によって対象を制御することが可能となる。本研究では、環境がバネ・マス・ダンパ系の2次のシステムで表現されると仮定し、FELを用いた適応力制御の実用的アルゴリズムを提案した。そして、計算機シミュレーションおよび実機による力追従制御の実験によりアルゴリズムの有効性を確認した。</p> <p>第4章では、本研究のまとめと今後の課題を示した。</p> <p>本研究では、生物は置かれている環境との動的な相互作用から行動を創発し、環境に適応したタスク実現を行っているという事実から、バイオメテックの考え方をロボット制御に取り入れる研究を行った。はじめに、ロボットの運動制御として MVFC(Modular Vector Field Control)を提案し、シミュレーションにより適応的に目標軌道を修正する MVFC の有効性を確認した。次に、フィードバック誤差学習を基にした、力追従制御の実用アルゴリズムを提案しシミュレーションと実験により有効性を確認した。</p> <p>本学位論文の成果の発表を、学術誌1編、国際会議3編、講演会3件行った。また、学術誌1編投稿中である。博士学位論文にふさわしい新規性、有用性ともに有し、学位論文を合格と判定した。</p>			
最終試験の結果の要旨			
<p>学位論文に関する背景、目的、理論展開、解析手法、実験結果等を口頭試問し、明瞭な回答があり、博士にふさわしい専門知識、研究能力があると判断し、最終試験を合格と判定した。</p>			