

Title	ダイナミック・マニピュレーションにおける状態予測と動作生成に関する研究
Author(s)	松嶋, 道也
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/1754">https://hdl.handle.net/11094/1754</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	まつ しま みち や 松 嶋 道 也
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 19590 号
学位授与年月日	平成17年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科システム人間系専攻
学位論文名	ダイナミック・マニピュレーションにおける状態予測と動作生成に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 宮崎 文夫  (副査) 教授 小坂田宏造 教授 新井 健生

#### 論 文 内 容 の 要 旨

当初、工場内における部品の把持やハンドリングなど、与えられた動作をただ正確に繰り返すだけであったロボットは、様々な知覚センサーを用いて外界の情報を取得することにより柔軟な動作が行えるようになっており、工場の生産ラインのみならず、人間と同じ環境で活動できるロボットの研究開発も活発に進められている。人間の生活環境では、環境がダイナミックに変化するため、ロボットは得られる環境の情報を処理し、環境に適した動作を、連続的に動作を行いながらタイミングを合わせて実行しなければならない。このような対応能力は人間環境のみでなく、工学的/産業的な面から見ても重要である。このような背景のもと、本研究では外界の刺激と運動の密な融合によって実現されるダイナミックマニピュレーションの典型例として打撃タスタを含む卓球タスタを取り上げ、ロボットによる実現をはかる。すなわち、ダイナミックに変化するターゲット（ボール）への適応能力を具体化することを目的とする。

本研究では、打撃時の適切な対応動作を仮想ターゲットとして予測し、その動作を実現することでタスタを実行するというスポーツ科学の分野で提案された仮説に基づき、ロボットによって卓球タスタを実現する幾つかの手法を提案した。まず1つ目の手法では、仮想ターゲットの予測に  $k$ -dimensional tree データ構造を利用した入出力マップを、予測に基づく打撃動作生成にミラー則 (mirror law) に類似の視覚フィードバック制御を用いて目標への打撃を実現した。次に人間が繰り返し練習を行い適切な動作を身につける習熟過程に倣い、サーボ遅れを含む動作系においても正確にダイナミックマニピュレーションを行える DirectILC 手法を提案した。予測には物理現象を表現する LWR マップを用いて、返球位置に加えて返球軌道も制御することに成功した。更に、実際に人間がロボットを操作してタスタを実現する際の学習結果を利用して、複雑な対応動作のアルゴリズムを考案することなく、人間の動作から直接ダイナミックマニピュレーションを身につけ、ロボットが自律的に同様のタスタを実現する Master-Slave 学習システムを提案した。

## 論文審査の結果の要旨

人間の生活環境では、環境がダイナミックに変化するため、ロボットは得られる環境の情報を処理し、環境に適した動作を、連続的に動作を行いながらタイミングを合わせて実行しなければならない。このような外界の刺激と運動の密な融合を前提とするタスクをロボットが実現するには、様々なファクターを考慮してプログラム化する必要があるが、タスクエンコードの一般的な方法論は見当たらないのが現状である。本論文は、このようなタスクの1つとしてダイナミックマニピュレーションをとりあげ、タスクエンコードの具体的な方法を提案し、実験的に検証したものである。

対象とする卓球タスクは、空力的影響によって複雑に運動変化するボールの状態をリアルタイムで認識するとともに、将来の状態を予測し、適切にかつタイミングよくラケット操作しなければ実現できない。本論文では、この状態予測と操作コマンド決定の問題を入出力マップによって解決するアプローチをとっている。また具体的な手法として、(1)ロボットを主体としてこれら2つの問題を融合的に解決する手法、(2)ロボットを主体としてこれら2つの問題を個々に解決する手法、(3)人間の動作に基づいて間接的にこれら2つの問題に対処する手法、を提案している。(1)は、「ミラー則」と呼ぶラケット操作のための視覚フィードバック制御が核となる。(2)は、高速動作を正確に実現する制御コマンドを学習結果に基づいてリアルタイムで生成する「Direct ILC (Iterative Learning Control)」の活用がポイントとなる。また(3)は、マスタースレーブ方式によって人間がロボットを操作したときの操作コマンドを記憶し、ラケットの操作パターンやタイミングの決定に利用する点が特徴である。これらの手法は試作した卓球ロボットを用いて詳しく検証され、人間とのラリーも実現している。

以上のように、外界の刺激と運動の密な融合を前提とするタスクのエンコード手法を示した本研究は、ロボットの機能向上に大きく貢献するものであり、博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。