

教示における動きの汎化

Generalization of movement in teaching

池田憲弘¹ 倉重健太郎²

Norihiro Ikeda¹, Kentarou Kurashige²

¹室蘭工業大学大学院工学研究科

¹Graduate School of Engineering, Muroran Institute of Technology

²室蘭工業大学

²Muroran Institute of Technology

Abstract: There are two methods for robot operation. The first, it is a method of the designer's designing movement and the operation of the robot. The second, it is a method of the user's giving the teaching indirectly. These are both merits and demerits. We propose the method for the generalizing of movement in teaching. In addition, we propose the method of user's giving the operation to the generalized movement. The user can decide all of movement, and operate it.

1. はじめに

近年になり、家庭内や公共施設などの実環境下で作業を行うロボットが増え始めている[1][2]. 実環境下でさまざまな作業を行うロボットは、複雑なタスクや環境に適応するために多数の自由度やセンサが必要になる場合が多い. このようなロボットにタスクを行わせる方法として、ロボットの動きを設計する方法[3], 学習を用いて状況に適した行動を行わせる方法[4]-[6], 人間が操作する方法[7]-[9]などが考えられる. 本研究では、操作することによりロボットを動かす方法に注目する.

ロボットを操作する方法は大きく2つに分けることが出来る. 操作方法の例を図1に示す.

1つ目は、設計者が“歩く”“物を持つ”といったロボットの基本動作についての設計を行い、操作方法についても設計する方法である. 例えば、設計者が“歩く速さ”“物を持つ握力”などを基本動作に対する操作方法として提示する. この例を図1(a)に示す. この方法をとる場合、ユーザは設計者が提示した動きと操作方法を理解するだけで、簡単に操作を行うことが可能である. しかし、操作方法を設計者が一意に決めてしまうために、人によって“操作しやすい”、“操作しにくい”というように操作感覚に差異が生じる. また、ロボットの動きの設計は設計者に任せられているため、これまでになかったタスクを行うために、新しい動きが必要になった場合には設計者が新規に動きの設計を行うことになる.

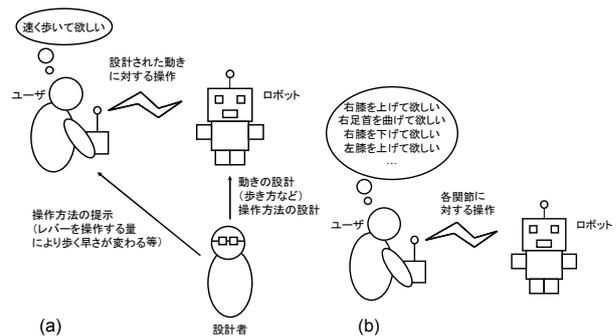


図1 2つのロボット操作方法

2つ目は、ロボットを関節毎に操作する方法である. この例を図1(b)に示す. この場合、ユーザが関節毎に操作し、動きを作っていく. 関節毎にロボットを動かすため、各関節の稼動域内であれば、ユーザが自由に動きを作ることが出来る. しかし、ロボットが持つ関節の数が多くなるほど、操作が複雑になってしまう.

そこで本研究では、ユーザが新しい動き及びその操作方法を作成出来るシステムを提案する. “歩く”“物を持つ”のような基本動作と、“歩く速さ”“物を持つ握力”のような操作方法をユーザが教示する. これにより、ユーザが新しい動きを作ることが出来、また、ユーザが動きに対して簡単に操作を行うことが出来る(図2).

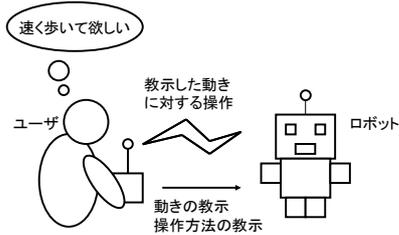


図 2 本研究で提案するロボット操作方法

2. アプローチ

2.1 概要

本研究では、ユーザがロボットに対して、動きと操作方法を教示する。そして教示を繰り返すことにより、動きを汎化する。汎化することで“歩く”“物を持つ”のような基本動作と、“歩く速さの調節”“物を持つ握力の調節”のような基本動作に対する操作方法を実現する。本アプローチの流れを図3に示す。

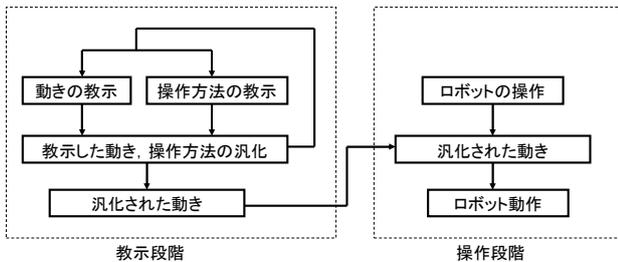


図 3 アプローチの流れ

本研究で提案するアプローチは教示段階と操作段階に分けることが出来る。

2.2 教示段階

教示段階では、動きの教示と操作方法の教示を行う。教示を繰り返すことにより、汎化された動きを実現する。

まず、動きの教示について述べる。概要図を図4に示す。ユーザは行って欲しい動きをロボットに対して教示する。ロボットは、教示された情報を元に動作データを作成する。

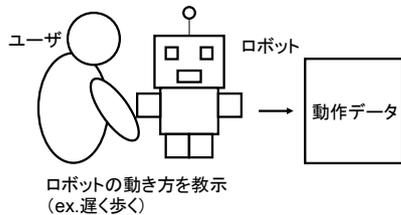


図 4 ロボットへの動きの教示

次に、ユーザが教示した動きに対する操作方法の教示について述べる。概要図を図5に示す。ユーザは、教示した動きに対応する操作方法を教示する。ロボットは、ユーザが与えた操作方法に関する情報

を記憶する。

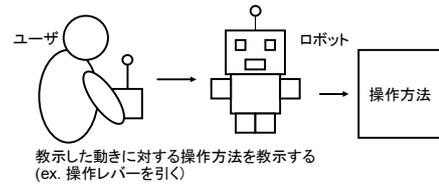


図 5 ロボットへの操作方法の教示

最後に教示した動きと操作方法の汎化について述べる。概要図を図6に示す。

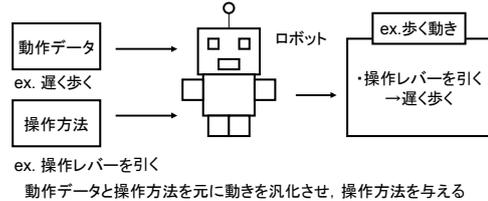


図 6 動きと操作方法の汎化

教示した動きと操作方法の汎化を繰り返すことにより、汎化された動きが作られる (図7)。

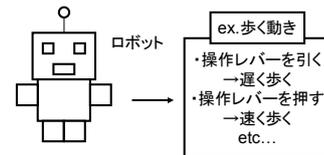


図 7 汎化された動きの例

2.3 操作段階

操作段階では、汎化された動きを用いて、入力デバイスによりロボットを操作する。概要図を図8に示す。ユーザからの操作を元に汎化された動きの中から最適な動きを選ぶ。

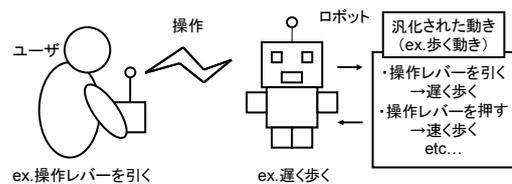


図 8 汎化された動きの操作

3. 手法

3.1 概要

まず、頻度空間という空間の定義を行う。この頻度空間を用いて、動きの汎化や汎化された動きの操作を行う。

3.2 頻度空間の定義

まず、ロボットが持つ各関節と各センサを軸とする多次元空間を考える。本研究ではこの多次元空間

をロボットの状態空間と呼ぶ。この空間によって、ある時点のロボットが置かれている状態を表すことが出来る。

次に、状態空間に時間軸を加えた空間を考える。本研究ではこの空間を動作空間と呼ぶ。動作空間は時間毎のロボットの状態を保持出来るため、ロボットの動きや状態の変化を表すことが出来る。

これらを用いて頻度空間を定義する。先に、動作空間を構成する各軸をそれぞれ一定間隔で区切り、離散的な空間として表す。そして、区切りにより出来たマスセルをセルと定義する。各セルに対して選択頻度というパラメータを与えた離散的な空間を頻度空間とする。選択頻度は動作空間に“選択のされやすさ”という概念を考えたものである。頻度空間と選択頻度の概念図を図9に示す。

ロボットのデータ

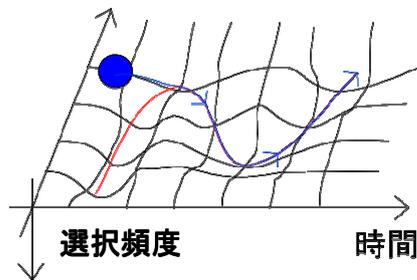


図9 頻度空間と選択頻度の概念図

セルの一部が窪んでいるような空間を考える。このような空間の上でボールを転がしたとすると、ボールは窪みに沿って転がっていくと考えられる。そして、選択頻度の軸の値が大きいほどそのセルを通りやすい。つまり、セルが選択されやすいと考えられる。

ここで定義した頻度空間に、さらにロボット操作の方法を表すための入力デバイス軸を追加する。動作空間を構成する各軸と入力デバイス軸をそれぞれ一定間隔で区切る。出来たマスを新たなセルとし、選択頻度を与える。この頻度空間を用いてロボットの動きを汎化し、操作する。

3.3 動きの教示と汎化

まず、動きの教示について述べる。ユーザはロボットに対して動きの教示を行う。これにより、ロボットは動作データとして単位時間毎の各関節の位置と各センサの取得値を得る。また、ユーザは動きに対する操作方法の教示も行う。これにより、ロボットは操作方法のデータとして単位時間毎の入力デバイスの値を得る。

ユーザが行った教示から得た動作データ、操作方法のデータを頻度空間に適用することで動きの汎化を行う。

次に、動きの汎化について述べる。ロボットはユーザの教示情報を元に、頻度空間の選択頻度を更新する。ユーザの教示情報と一致するセルを中心として、その周囲のセルが山型に更新されるようにする。更新方法は、ある時刻 $t=T$ の部分空間上において、 i を任意のセルとし、式(1)で表すことが出来る。

$$x_i \leftarrow x_i + c \prod_j (\beta_j)^{\delta_{ij}} \quad (1)$$

x_i は任意のセルにおける選択頻度である。 β_j は、軸 j 方向における割引率である。 δ_{ij} は、セル i における軸 j 方向の中心からの距離である。

簡単な例として、ユーザからの教示情報が1関節の動作データのみである例を図10に示す。このときの頻度空間は、1関節の角度、時間、選択頻度からなる3次元空間である。ユーザからの教示情報を元に選択頻度を更新する。教示情報に適合するセルを中心として、山型に加算される。

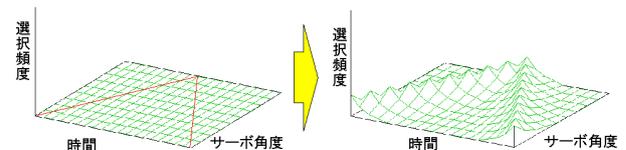


図10 頻度空間を用いた動きの汎化

頻度空間の更新を繰り返すことにより、さまざまな動きと操作方法が蓄積される。これを汎化された動きとする。

3.4 汎化した動きの操作

頻度空間を元にロボットを操作する方法について述べる。ユーザはロボットを操作するために、入力デバイスを用いてロボットに入力を行う。ロボットは、現時刻の各関節の位置とセンサの値と入力デバイスの値から、頻度空間の中で適合するセルの位置を取得する。ここで取得した現時刻のセルの位置を元に次の時刻の各関節の目標位置を算出する。まず、現時刻のセルから時間軸のみ1進めた次の時刻のセルを考える。このセルから各軸方向に対して距離の制限を設け、その範囲内で最も選択頻度の高いセルを選択する。このセルにおけるロボットの各関節軸の値が次の時刻の各関節の目標位置となる。例を図11に示す。

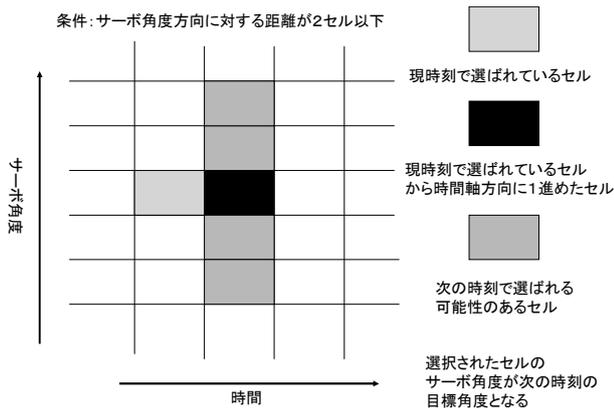


図 11 次の時刻の目標角度

ユーザは入力デバイスの値を操作することにより、ロボットの動きを変化させることが出来る。

4. 実験

4.1 想定する実験

ジョイスティックとロボットと PC を用いた実験を想定する。実験手順は教示段階と操作段階の2段階に分けられる。まず教示段階について述べる。ユーザは、ロボットが持つ1サーボを用いて接触による動きの教示を行い、単位時間毎のサーボ角度を取得する。このとき、ロボットが搭載している重力センサの値も同時に取得する。さらに、動きに対する操作方法をジョイスティックにより教示する。教示情報を用いて頻度空間を更新する。頻度空間は時間軸、サーボ角度軸、センサ軸、入力デバイス軸、確率頻度からなる5次元空間である。教示と頻度空間の更新を数回繰り返す。操作段階では、ジョイスティックを用いてロボットの操作を行う。頻度空間により汎化された動きにジョイスティックの入力値を与えることでロボットの動きを変化させる。

4.2 ロボットとジョイスティック

ロボットの写真と身体構造を図12に、ロボットの仕様を表1に示す。ただし、ロボットの仕様については、本実験で関係のあるもののみ提示した。

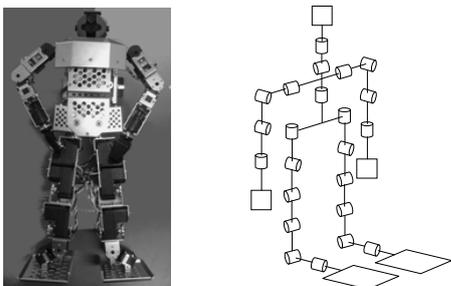


図 12 SPC-001 (左) と身体構造 (右)

ロボットの名前	SPC-001 (Speecys社)
ロボットが持つ自由度	2 3 自由度
各自由度の稼動範囲	2 4 0 度
角度センサの分解能	0. 1 度
角度センサの取得値	- 1 2 0 0 ~ 1 2 0 0
重力センサの取得値	- 5 1 2 ~ 5 1 2

表 1 ロボットの仕様

ジョイスティックの仕様を表2に示す。ただし、ジョイスティックの仕様については、本実験で関係あるもののみ提示した。

入力デバイス名	EXTREME 3D PRO
アナログ入力軸	3 軸
アナログ入力から取得する数値	0 ~ 65535

表 2 ジョイスティックの仕様

4.3 実験概要

本研究の実験手順について説明する。ロボットへの教示段階では、時間毎の角度センサの取得値と重力センサの取得値の代わりに、あらかじめ用意しておいた数値を教示データとして用いた。また、操作方法の教示についてもジョイスティックによる入力の代わりにあらかじめ用意しておいた数値を教示データとして用いた。

ロボットの操作段階では、ロボット操作のために、あらかじめ用意しておいた数値データをジョイスティックによる入力の代わりとして用いた。

4.4 実験詳細

ロボットへの教示に関する実験の詳細設定を表3に示す。また、本実験における頻度空間の設定を表4に示す。本実験では、重力センサの取得値のうち、100以上の値をすべて100とし、-100以下の値をすべて-100とした。これは本実験の中では100以上の値および-100以下の値がほとんど現れず、実験にも影響を与えないためである。

実験時間	1 0 秒
データ取得タイミング	0. 1 秒刻み

表 3 ロボットへの教示の詳細設定

実験では9種類の教示が行われ、それらの教示結果が頻度空間に適用される。教示した動きは三角波、正弦波、台形波の3種類である。教示データをグラフ化したものを図13に示す。また9回の教示は、重力センサのセンサ値と入力デバイスからの入力値がそれぞれ異なる数値となるようにした。教示の際に用いたセンサ値と入力の値を図14に示す。

サーボ角度軸におけるセルの刻み幅	1度刻み
サーボ角度軸のセルの値	0～239
時間軸におけるセルの刻み幅	0.1秒刻み
時間軸のセルの値	0～99
入力デバイスにおけるセルの刻み幅	4369刻み
入力デバイス軸のセルの値	0～14
重力センサにおけるセルの刻み幅	10刻み
重力センサ軸のセルの値	0～19
更新の中心となるセルの加算値	1
サーボ角度軸方向の割引率	0.9
重力センサ軸方向の割引率	0.5
入力デバイス軸方向の割引率	0.3
サーボ角度軸方向において次の時間 に選択される可能性のある距離	10セル以下
重力センサ軸方向において次の時間 に選択される可能性のある距離	1セル以下
入力デバイス軸方向において次の時間 に選択される可能性のある距離	1セル以下

表 4 頻度空間の設定

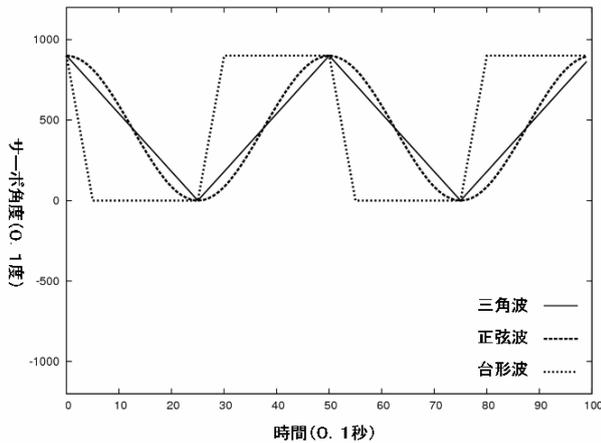


図 13 教示の際に用いた角度データ

	Gセンサの値		
	-80	0	80
入力デバイスの値			
8738	正弦波	台形波	三角波
32767	台形波	三角波	正弦波
56797	三角波	正弦波	台形波

図 14 教示の際に用いたセンサ値と入力値

4.5 実験結果

教示を行ったあとの頻度空間を図で示す。ただし、本実験における頻度空間は5次元空間であるので、重力センサ軸および入力デバイス軸の値を固定した空間を4つ示す。図15～図18に示す。

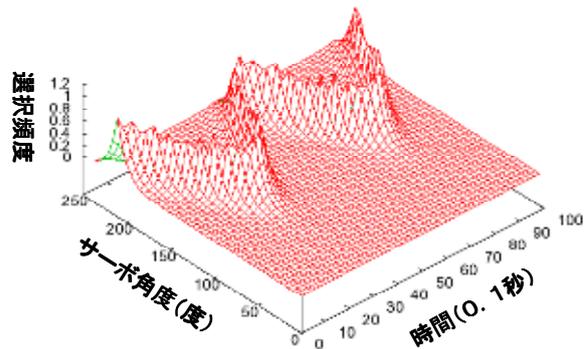


図 15 センサのセルが2 (センサ値では-80～-71), 入力デバイスのセルが2 (入力値では8738～13106)の時の頻度空間

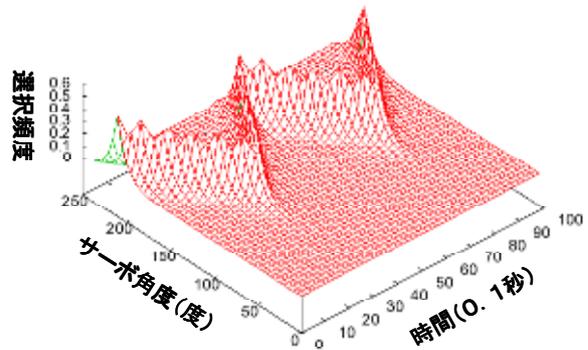


図 16 センサのセルが9 (センサ値では-10～-1), 入力デバイスのセルが7 (入力値では38321～43689)の時の頻度空間

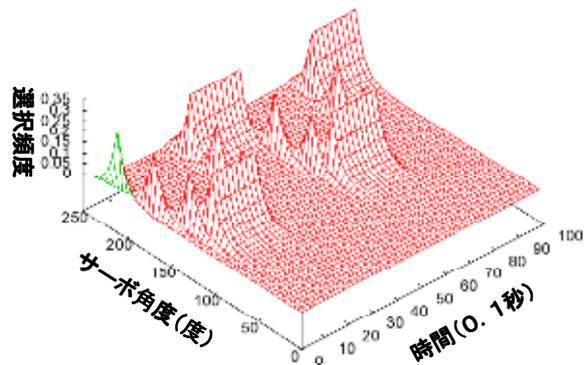


図 17 センサのセルが18 (センサ値では80～89), 入力デバイスのセルが12 (入力値では52428～56796)の時の頻度空間

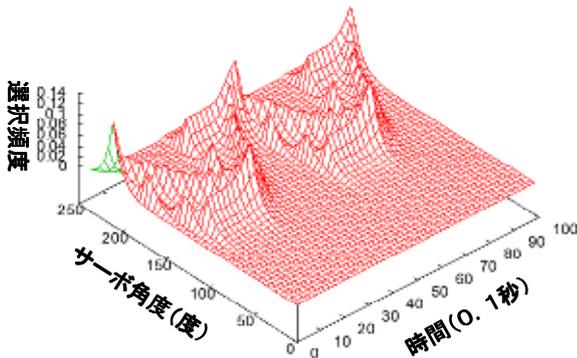


図 18 センサのセルが 6 (センサ値では-40 ~-31), 入力デバイスのセルが 2 (入力値では 8738~13106) の時の頻度空間

図 1 5 は正弦波, 図 1 6 は三角波, 図 1 7 は台形波の形になっていることが分かる. 図 1 8 は正弦波と台形波が合成された形である.

更新された頻度空間を元にロボットの操作を行う. 数値として与えた操作データを図 1 9 に示す. この図は, 時間の経過と共に入力デバイスの値が 0 に, センサの値が 8 0 に近づいている入力を表している. ロボットの動作結果を図 2 0 に示す.

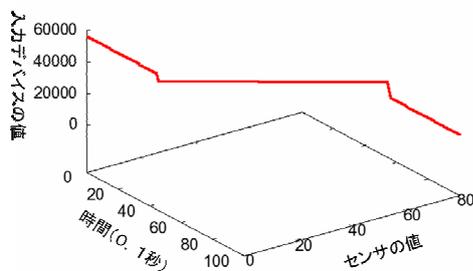


図 19 ロボット操作するための入力データ

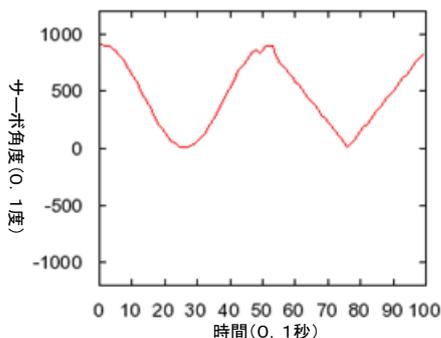


図 20 操作した結果のロボットの動き

操作した結果のロボットの動きは, 時間の経過と共に正弦波から三角波に変化しているのが分かる.

5. 結論

本研究では, ロボットへの教示により作成した動きを汎化させ, ロボットの基本動作とし, その基本動作について操作する方法を提案した. また, 提案した手法を元にシステムを作成し, 実験を行った.

今回はロボットが持つサーボのうちの 1 つ, ジョイスティックが持つ自由度のうちの 1 つという限定された状況で実験を行った. 今後は, 複数のサーボ, ジョイスティックが持つ複数の自由度を用いて実験とその評価を行う.

参考文献

- [1] 小畑 昌之, 西田 健, 宮河 秀和, 近藤 隆史, 大川 不二夫: 投棄ゴミの回収を行う野外サービスロボットの開発, 電気学会論文誌 C, Vol. 126, No. 7, pp. 840-848, (2006)
- [2] 藤田 善弘: パーソナルロボット R100, 日本ロボット学会誌, Vol. 18, No. 2, pp.198-199, (2000)
- [3] 宮腰 清一, 多賀 巖太郎, 國吉 康夫, 長久保 晶彦: 神経振動子を用いた三次元 2 足踏みシミュレーション -ヒューマノイドの実世界内行動を目指して-, 日本ロボット学会誌, Vol. 18, No. 1, pp.87-93, (2000)
- [4] 港 隆史, 浅田 稔: 環境の変化に適應する移動ロボットの行動獲得, 日本ロボット学会誌, Vol. 18, No. 5, pp.706-712, (2000)
- [5] 本山 晴寿, 山科 亮太, 原 正之, 黄 健, 藪田 哲郎: 強化学習によって獲得される芋虫型ロボットの前進行動形態に関する考察, 日本機械学会論文集(C 編), Vol. 72, No. 723, pp.3525-3532, (2006)
- [6] 高橋 泰岳, 浅田 稔: 実ロボットによる行動学習のための状態空間の漸次的構成, 日本ロボット学会誌, Vol. 17, No. 1, pp118-124, (1999)
- [7] 田窪 朋仁, 西井 一敏, 井上 健司, 新井 健生: マリオネットシステムによるヒューマノイドロボットの全身遠隔操作, 日本ロボット学会誌, Vol. 25, No. 3, pp.457-465, (2007)
- [8] 蓮沼 仁志, 中嶋 勝己, 小林 政巳, 御船 文里, 宮原 啓造, 鷹取 正夫, 森山 尚, 家中 良太, 横井 一仁: 人間型ロボットのための遠隔教示システムの開発 - 人間型ロボットによる産業車両の代行運転への適用 -, 日本ロボット学会誌, Vol. 22, No. 1, pp.46-54, (2004)
- [9] 舘 暲, 小森谷 清, 澤田 一哉, 井床 利之, 井上 幸三: HRP 遠隔操作プラットフォーム, 日本ロボット学会誌, Vol. 19, No. 1, pp.16-27 (2001)