

# 注目点を持つ幾何モデルを利用した ヒューマノイドの道具利用動作の生成法

小倉 崇 岡田 慧 稲葉 雅幸 (東京大学)

## Humanoid Tool Operating Motion Generation by Model with Attention Points

\*Takashi OGURA, Yuichi SAGAWA, Kei OKADA, Masayuki INABA  
(The University of Tokyo)

**Abstract**— This paper presents geometric models of tools for humanoid motion generation and an automatic action generation method. Tool centered action description method are proposed for humanoids' motion using tools. The information for grasping and for attention are embedded in the models of tools. This paper shows humanoid whole body motions using a broom or a vacuum by using these models.

**Key Words:** Tool Operation by Humanoid, Geometric Model, Motion Generation

### 1. はじめに

ヒューマノイドロボットが他のロボットに比べ優れている点として人間の生活環境になじみやすい、人間の道具をそのまま利用できる、などが挙げられている。これまで人間の道具をヒューマノイドが利用する場合は、人間の操縦である [1] か作りこみの動作であった。ヒューマノイドが道具を作り利用する研究 [2] があるが、一般的な行動生成には至らない。今後、ロボットが道具の利用を学んで獲得してゆくためには、その認識と同時にその認識結果を利用した行動の生成法が必要である。本稿ではモデルベースでヒューマノイドの道具利用行動を生成するための、道具の幾何モデルの構成法と、そのモデルからヒューマノイドの全身行動の生成法について述べる。

### 2. ヒューマノイドの道具利用行動記述

道具を扱えるようになるための行動記述の仕方として、道具を中心とした記述法を提案する。ヒューマノイドに道具を使わせる行動を行なわせる場合、操縦にせよ、作りこみにせよ、逆運動学 (IK) を用いることが有効である。それには道具利用に必要な幾何的な拘束条件を満たす姿勢が容易に作る事が可能であるためである。しかし、ヒューマノイドの体の動きを直接生成するよりも道具に情報を埋め込み、それを元に行動を生成する記述法は以下の3つで優れている。

さまざまなロボットに共通した記述 道具に行動を記述するためロボットが直接からむことがない。そのためロボット依存の行動記述にならず、一つの記述によってさまざまなロボットに適用可能である。

目的の再現性 道具を利用した行動はロボット自身の動作よりも道具の働きが目的の再現のためには必要である。そのため道具の軌道を直接記述することが有効である。

観察からの動作生成が容易 模倣学習のように観察から動作を生成 [3, 4] することを考慮すると、ロボットの全身の動きから動作目的を推測するよりも道具の軌

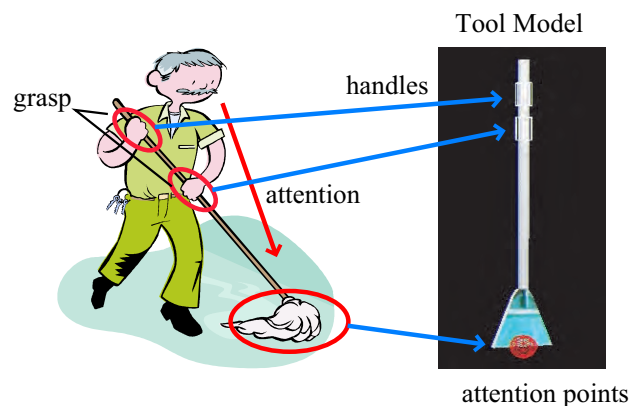


Fig.1 An example of the geometric model with handles and an attention (a broom).

道のみ注目し、そこから全身の動作を生成することができる。

### 3. 注目点を持つ道具の幾何モデル

道具利用の行動を獲得することを考えた場合、なんらかの形で道具の利用法を知識として蓄えることになる。その際の情報は次の3つがある。

- 道具の把持に関する情報 (handles)
- 道具を作用させる部位 (attentions)
- 道具の動かし方

Fig.1 左に示すように人間は道具を用いる際、道具を把持し、道具のある部位で操作対象になんらかの作用を及ぼす。この際、道具先端部が床面に触れていること、前後に動かすことがこの道具利用行動の成否を決定づけていると言える。ヒューマノイドがこれを行なう場合も同様に道具を把持し、操作する必要がある。道具のどの位置をどのように把持するか、どの部位をどのように作用させるかでロボットの行動は記述されるべきである。



Fig.2 An example of the geometric model with handles and an attention (a kettle).

把持するポイントをつかみ、操作対象となるポイントを意図した軌道を描くような全身の姿勢を自動的に生成する。これらのポイントを教示により獲得することで、道具を利用する行動の獲得に近づくことができる。Fig.1 右に示すように、幕のモデルであればもち手に関する情報をもつ handles と、操作対象に作用する部位 attention points を持たせることができる。handles は拘束条件として与えられ、つかみ方に関して位置のみを指定するもの、ある軸周りの姿勢のみを拘束するもの、面での拘束、などがある。attention points も同様に拘束条件として導き出される。白いシリンダの輪郭で表されているのが handles を模式的に表したもので、位置情報とともに形状でその拘束条件を表している。また、赤い球の輪郭で表されているのが attention points である。例として Fig.2 にヤカンの幾何モデル(左)、handle(中)、attention(右)を示す。これら拘束条件のいくつかは幾何情報からのみでは求めることが原理的に不可能なものがあり、模倣・観察などにより獲得するか、もしくはあらかじめ人間が与える必要がある。

以下に具体的な拘束条件を3つ挙げる。

**位置・姿勢の拘束** 手先の位置姿勢  $R$  が満たすべき条件。棒を握るのであれば、棒の軸と手先の軸が直行している必要がある。つかむ位置に関してもバットのようにもち手の範囲が指定されている場合にはそれを満たすような手先位置にする。

**位置関係の拘束** 右手と左手の位置  $R_{rarm}, R_{larm}$  の関係に関する条件。例えばゴルフクラブの持ち方に関しては左手が右手の下に来る、といったマナーのように幾何情報からは求めることができない条件であることもある。attention に関しては、ヤカンの例で言えば注ぎ口とコップの位置を合わせるといったことになる。

**把持部位の指定** handle に関しては把持対象を指定することがある。お箸は利き手で、などマナーと関係がある。また、把持ではなく、足先を把持部位として指定することで、蹴り動作なども同じパラダイムで考えることができるようになる。

#### 4. 道具モデルに基づく行動生成法

行動をこの道具の attention points の軌道のみから作成する。Fig.3 にその流れを示す。ロボットはまず把持を試みる。それが不可能な場合把持が可能な位置へ移動した後把持する。対象点が目標軌道を描き、かつ静的に安定な姿勢を IK を用いて得る [5]。IK によって解けない場合は再び移動する。移動するか IK を使って腕を伸ばすかの割合は移動に重みを付けてコストを求

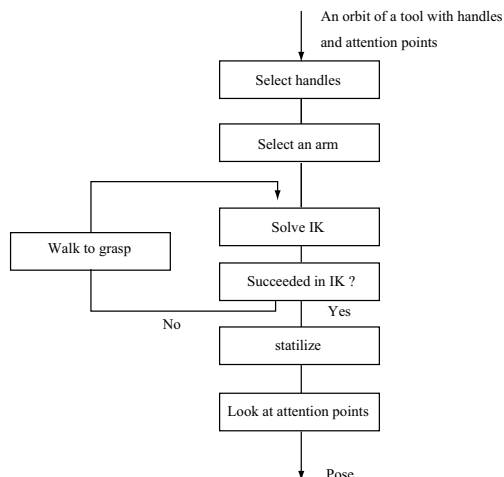


Fig.3 Flow chart for generation of tool operation motion.

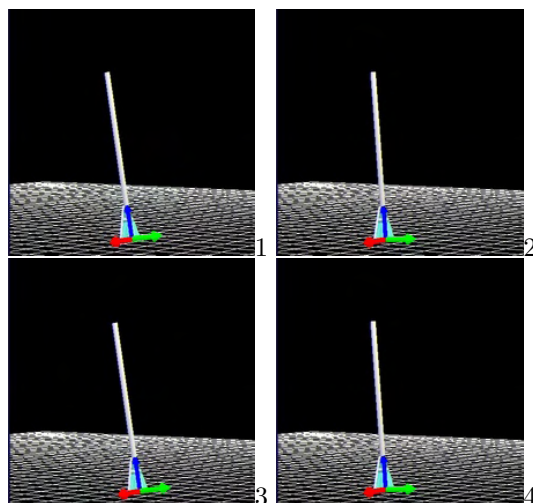


Fig.4 Sequence of broom model made by an orbit of an attention point.

めることで決定する。さらに attention points をみることが可能なように首姿勢をとる。

先に述べたモデルを用いて、attention point を Fig.4 に矢印で示した座標系で表されるように軌道を作成すると、Fig.5 に示すようにロボットの全身運動を生成することができる。また、Fig.6 に示す掃除機のモデルの軌道(吸い込み口が地面に接触するある軌道)を指定した場合、Fig.7 に示すような歩行を含んだ動作列が生成された。

また、このアルゴリズムにより、生成した動作の例を Fig.8 に示す。左上は両腕によってビリヤードのキューを把持している図である。右上はヤカンの取っ手をつかみ、注ぎ口が目的の軌道を描くように操作することによるお茶汲み動作、ボールに把持部位に足先を指定することでボールの蹴り動作の生成、包丁など片手で取り扱う道具を用いた動作などが生成可能である。

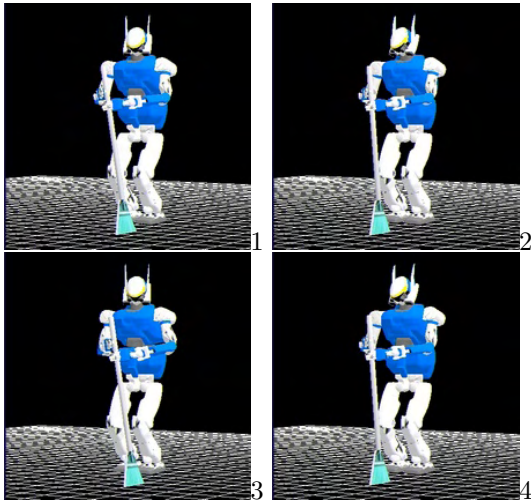


Fig.5 Generated motions by tool models.)

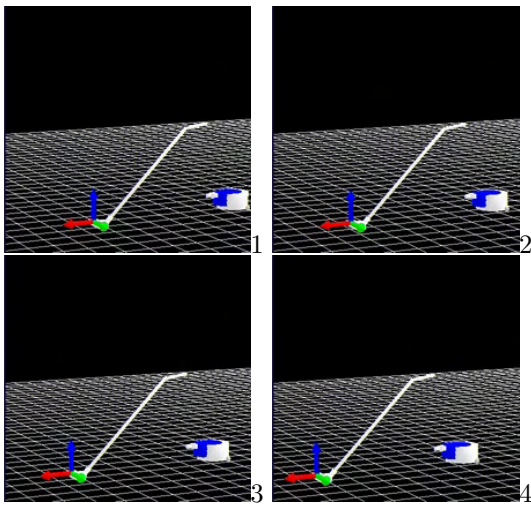


Fig.6 Sequence of vacuum model made by an orbit of an attention point.

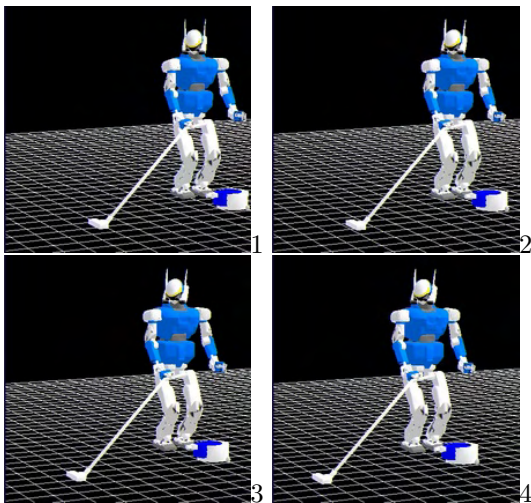


Fig.7 The generated motions by tool models that contains locomotion.

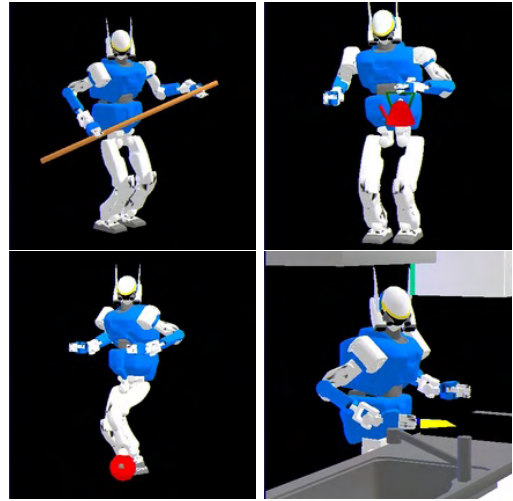


Fig.8 Generated motions by this method. ( manipulation of a billiard cue, a kettle, a ball and a knife)

## 5. 実機による生成動作の評価実験

これまでに述べた手法により Fig.5 に示す行動を箒の先を地面に接触させながら左右に動かす動作を生成し、ヒューノイドロボット HRP2[6] の手先を 6 自由度から 7 自由度改造したロボットで動作を行なわせた。EusLisp[7] を用いたソフトウェア環境 [8] を利用して三次元幾何モデルを作成し、handle, attention を与えたモデルとし、姿勢を作成し、それらを補完することで動作を作成し、実機で再生した。その様子を Fig.9 に示す。箒の先を地面に接触させながら箒をはく動作を行なうことができている。また同様に、Fig.7 のように生成した掃除機の吸い込み口を地面に接触させながら移動させる動作を生成した (Fig.10)。この動作では歩行動作も同時に生成されている。移動ベクトルを歩行パターンジェネレータへ渡し、歩行動作を生成しており、歩行と手先の操作を繰り返している。ただし、これらの実験ではモデルと実際の道具との整合性が取れていることが前提となっている。

## 6. おわりに

本稿ではヒューノイドが道具を扱う際の道具のモデルとして、移動を記述すべき注意点 (attention points) と把持すべき場所 (handles) とを情報として埋め込み、注意点の軌道のみを与えることでヒューノイドの全身動作を生成する手法を提案し、それにより箒や掃除機を扱った全身動作の生成が可能であることを示した。

ただし、ここでは把持部位を動かすことで作業点を操作することができることを仮定しているが、実際は道具を動かすために因果関係の理解が必要である。また、ボールを飛ばすために、ボールをどの程度の力で蹴るかといった、力のかけ方、フィードバックのかけ方などに関する記述も必要になる。今後は Fig.11 に示すように視覚で注意点の移動の観察、把持位置を手取り足取りでの教示、注意点を指差しにより指し示すことでの指示によりモデルの獲得・行動生成を可能にしてゆく。

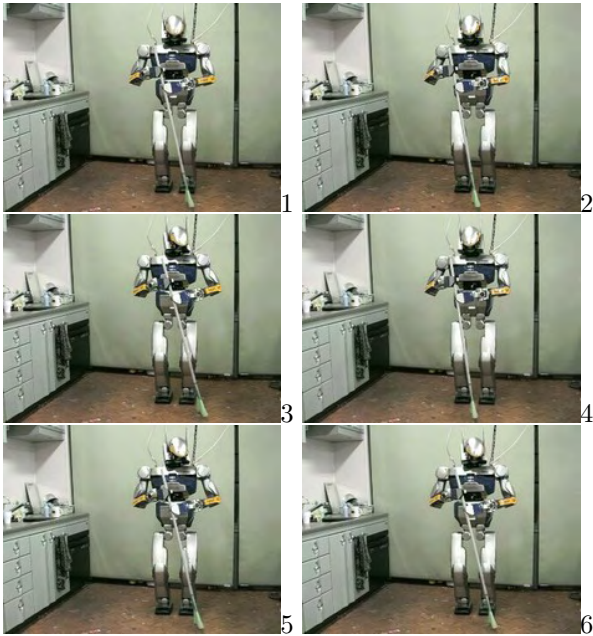


Fig.9 Experimental result of motion generation from attention orbit (broom).

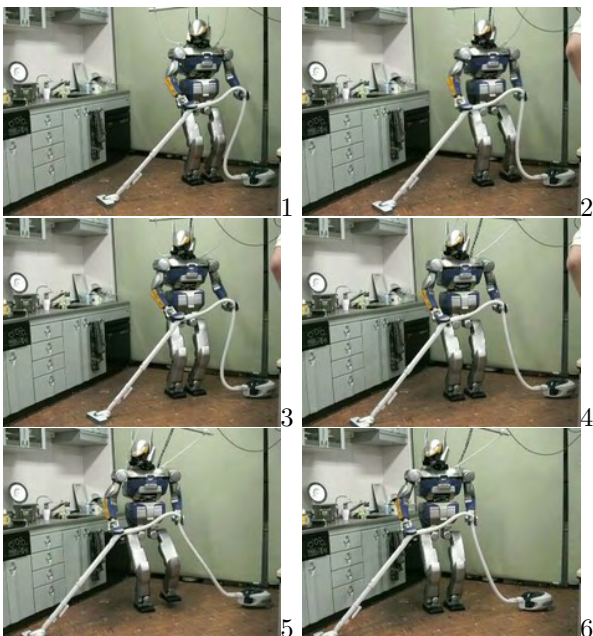


Fig.10 Experimental result of motion generation from attention orbit (vacuum).

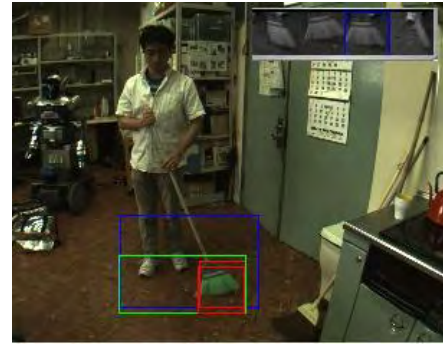


Fig.11 Recognition of orbit of attention points.

#### 参考文献

- [1] K.Yokoi, K.Nakashima, M.Kobayashi, H.Mihune, H.Hasunuma, Y.Yanagihara, T.Ueno, T.Gokyyuu, and K.Endou. A Tele-operated Humanoid Robot Drives a Backhoe in the Open Air. In *2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 9 2003.
- [2] 中井博之, 岡田慧, 佐藤顕治, 稲葉雅幸, 井上博允. ヒューマノイドによる変形可能物体を道具化する環境適合行動の実現. 第 22 回ロボット学会学術講演会予稿集, p. 3L17, 2004.
- [3] Y.Kuniyoshi, M.Inaba, and H.Inoue. Learning by Watching: Extracting Reusable Task Knowledge from Visual Observation of Human Performance. *IEEE Transaction on Robotics and Automation*, Vol. 10, No. 6, pp. 799-822, 1994.
- [4] K. Ikeuchi and T. Suehiro. Toward an assembly plan from observation, part i: Task recognition with polyhedral objects. In *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, pp. 356-385, 1994.
- [5] Katsu Yamane and Yoshihiko Nakamura. Natural Motion Animation through Constraining and Deconstraining at Will. *IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS*, Vol. 9, No. 3, 7 2003.
- [6] K.Kaneko, F.Kanehiro, S.Kajita, H.Hirukawa, T.Kawasaki, M.Hirata, K.Akachi, and T.Isozumi. Humanoid Robot HRP-2. In *Proc. Int. Conf. on Robotics and Automation(ICRA)*, pp. 1083-1090, 2004.
- [7] 松井俊浩. 幾何モデリング機能を備えたマルチスレッド並列オブジェクト指向言語 EusLisp. *日本ロボット学会誌*, Vol. 14, No. 5, pp. 650-654, 1996.
- [8] Kei Okada, Takashi Ogura, Atushi Haneda, Daisuke Kousaka, Hiroyuki Nakai, Masayuki Inaba, and Hirochika Inoue. Integrated System Software for HRP2 Humanoid. In *Proc. of International Conference on Robotics and Automation (ICRA'04)*, pp. 3207-3212, 2004.