

ヒューマノイドのあいまい姿勢にもとづく行動エディタと制御 KONOHEN-fuzzy based Motion editor and Controller

西野順二、田中健次郎、清水智行、糟谷朋広

Junji NISHINO, Kenjiro TANAKA, Tomoyuki SHIMIZU, Akihiro KASUYA

電気通信大学

Dept. of systems engineering, The University of Electro-Communications

nishino@se.uec.ac.jp

Abstract

This paper introduced the konohen fuzzy for robot; a novel approach to control huge number of variable systems such as humanoid robots. This method use linguistic labels to express robot situations, and that label is composed by a set of points in configuration space. Motion control is defined as a connecting path planning within the points of joint set of the labels. We develop a konohen fuzzy point set editor and controller these work well.

1 はじめに

多変数システムの制御は、システムモデルの構築を行って見出された数理表現から制御則の導出によっておこなう。このとき、変数の発見、数理的モデルの次数決定、モデルの推定、制御則導出にともなう非線形逆問題の解法など、種々の困難をとまなう。代表的なヒューマノイドロボットの制御、とくに安定な歩行について研究が進められている[梶田 05]。

本稿で提案するあいまい姿勢にもとづく行動システムは、こうした数理的表現にもとづくことなく、行動の作成と制御を目的としている。

あいまい姿勢は、人が日常で用いている感覚的な姿勢のクラスを計算機上で扱うためのモデルである。ある姿勢ラベル、たとえば「直立」について、間接の直パラメータ多次元空間上に、このラベルを表現するあいまいな部分空間をファジィ集合により定義する[西野 08]。こうして得られた姿勢は、関節の変動がごく低速であると仮定すると、その周辺では安定に立つことが保証される。こうして安定な姿勢による部分空間を明らかにすれば、行動パスを生成、利用することができる。この手法をあいまい姿勢にもとづく行動制御と呼ぶ。

本稿ではシミュレータと連携しつつユーザの意図に近くかつ静的安定性をもつあいまい姿勢を探索・生成するエディタと、これで作られたあいまい姿勢をもとにヒューマノイドの行動制御を行うシステムを実装し、その効果について検証する。

2 あいまい姿勢エディタ

あいまい姿勢は、人が感じる「直立」などの自然な概念にもとづいたパラメータ空間のあいまい部分集合であるから、ユーザの指示によって生成するものである。しかしこのように自然な概念は、暗黙的な知識であり陽に数値化あるいは言語化できるものではない。

あいまい姿勢エディタはこの集合の生成を、ロボット姿勢のグラフィック表示を用いて補助するシステムである。本研究で提案するエディタは、あいまい姿勢の作成に関して以下の4つの機能を持つ。すなわち、

1. スライダー操作によるロボット関節パラメータの指定
2. 関節角の組で指定された状態に対するラベル付け
3. ラベル付けされた状態付近での静的安定な姿勢の探索
4. 発見された姿勢群にたいする再名前付け

以上4機能である。ユーザが直感的に操作して作成した関節角の組は必ずしも適切ではない。人の指定した状態そのものが静的不安定な姿勢であったとしても、指定状態付近の静的安定な姿勢探索機能により、意図に近い静的安定な姿勢の集合を発見することができる。

また、システムの特性とヒューマノイドロボットの特性を考慮して、ユーザが意図した姿勢の指定を容易にする、フロート機能と関節連携機能を実装した。

なお、本エディタは姿勢作成行動制御指定機いわゆるモーションエディタの機能も持ち、生成したあいまい姿勢ラベルの列を定義し、この列に対して行動名をつけて管

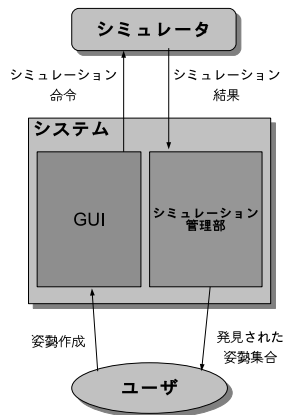


Figure 1: GUI 部・シミュレーション管理部・シミュレータ部・ユーザ

理することができる。エディタの概要を図1に示し、GUI部を図2に示す。

2.1 RRT による姿勢拡大と静的安定探索

あいまい姿勢は、ユーザが意図したラベルにふさわしい状態の集合である。いっぽうユーザが指定するのは精密ではないある1つの姿勢であり、静的安定性も保証されない。このため、状態空間における集合の拡大および探索は必須の機能である。

本研究では、ユーザが指定した状態点を起点として、その周辺状態のなかで静的に安定で、意図したラベルに適合する点群を探索し集合の拡大を行う。構造が未知の空間を効率良くスキャンするRRT[LaV98]をもちいた。RRTは、既に探索された空間に関する情報をもとに、探索末端および、探索方向を調整しつつ木を拡大していくアルゴリズムである。

まず、現在注目する点からRRTにより探索ステップサイズとして指定した距離以内にある次点候補を求める。この候補の姿勢角をシミュレータに送り、ロボットがこの姿勢角を転倒せず一定時間保持できるか調べ、転倒しない場合は、拡張に成功したのでこれを集合に加え、転倒する場合にはその点を棄却し、ともにRRTにより新たな注目点から次点候補を求めて繰り返す。こうして一定回数の発芽を行ったのち終了とする。探索空間の大きさと構造は関節パラメータ変数に依存し、本研究ではロボカップサッカーシミュレーションモデルが20関節を持つため、20次元のコンフィギュレーション空間となる。

2.2 フロート機能

本システムではフロート機能を導入し、遷移状態に関わらず姿勢の指定ができるようにした。

ユーザが姿勢を指定するとき、本システムでは図1に示したように同時にロボットの物理シミュレーションを行っ



Figure 2: あいまい姿勢エディタ GUI 部

ている。このとき、一定の姿勢変化を必要とする姿勢を指定したいとき、作業中の中間姿勢が静的に安定でなく、シミュレーション空間では転倒してしまうことが発生する。すなわち、姿勢生成のために正しい姿勢遷移をあらかじめ与える必要があり、本末転倒である。

フロート機能は、サーバrcsserver-3dの試合前位置指定機能のbeamプロトコルを用いて、シミュレーションステップのすべてで位置を与えることで浮いている状態、つまり静的安定でなくとも転倒しない機能である。これにより転倒を回避して自由な姿勢を設定できるようにした。ただし、beamプロトコルでは位置と方向の3自由度のみが指定可能であり、頭部が上向きとなる姿勢という制約がある。

2.3 関節連携機能

関節連携機能は複数の関節を1つのスライダー操作で同期して与える事ができる機能である。

通常のスライダー操作によって姿勢を指定するときには、各関節の角度を1つずつ与える。このとき、しゃがんだ姿勢など左右の膝を同じように曲げることが、多くの姿勢で発生する。関節連携機能によって同期変更することでより用意に必要な姿勢をつくることができる。

3 あいまい姿勢による行動制御

ロボット制御の目標は歩行や作業など一連の行動を行う事である。本研究で対象とする行動の制約として、静的に安定な姿勢のつながりによって実現できる行動に限定する。具体的には太極拳のようなゆっくりした動きの実現をめざす。動的な挙動もあいまい姿勢による制御が可能である。そのためには姿勢を定義を微分項を含めた状態空間に拡大する必要がある。今回用意したエディタは微分項に関する定義がなく、またその動的なあいまい姿勢にたいするラベル付けも十分に検討されていないため対象範囲外とした。

ここでは、行動を姿勢の変化としてとらえ、エディタによって獲得・生成したあいまい姿勢の列を指定し、このデータにもとづいて実際の行動を行う。あいまい姿勢はそれぞれの広がりや形状をもち、実際には、指定された姿勢

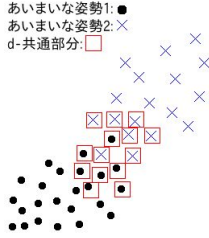


Figure 3: d-共通部分 (かきなりがあるとき)

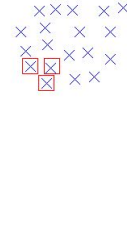


Figure 4: d-共通部分 (かきなりがないとき)

列からなる和集合をスタートからゴールまでたどる探索問題として定式化できる。

3.1 行動パスの生成

本システムでは、与えられたあいまい姿勢のラベル列から、その和集合を求め、そこに含まれる点をスタート点からゴール点まで繋ぎ、姿勢点のリストとして状態変化パスを生成することで、行動を実現する。

このとき、和集合が非連結であるときその部分の扱いと、連結点のパスが一意でないときの扱いなど幾つか考慮すべき問題がある。これらを考慮し、遷移姿勢点のリストを生成するアルゴリズムを以下のように構築した。

3.2 遷移姿勢点リスト作成アルゴリズム

遷移姿勢点リストは次のアルゴリズムで算出する。

手順 1 順番付けされたあいまい姿勢の列 $\{P_1, \dots, P_n\}$ について、開始姿勢点を $s \in P_1$ 、最終姿勢点を $g \in P_n$ とする。ここで、 P_i は複数の姿勢点が含まれる姿勢点集合である。

手順 2 サブゴールリスト $SG = \{sg_1, \dots, sg_n = g\}$ を 3.3 節に示す d-共通部により作成する。

手順 3 始点を $p_1 = s$ 、遷移姿勢点リスト番号を $t = 1$ 、あいまい姿勢番号を $u = 1$ とする。

手順 4 次遷移姿勢点 $p_{t+1} \in P_u \cup P_{u+1}$ を 3.4 節にもとづいて決定する。 $t := t + 1$ とする。

手順 5 $\begin{cases} p_t \notin SG \text{ ならば手順 4 へ} \\ p_t \in SG \text{ かつ } p_t \neq g \text{ ならば} \\ u := u + 1 \text{ として手順 4 へ} \\ p_t \in SG \text{ かつ } p_t = g \text{ ならば手順 6 へ} \end{cases}$

手順 6 $\|p_i - p_{i+1}\| > ONESTEP$ となる場合は、 p_i と p_{i+1} の間に補正点 cp (式 1) を加え遷移姿勢点リストを補正する。

$$cp = p_i + \frac{p_{i+1} - p_i}{\|p_{i+1} - p_i\|} ONESTEP \quad (1)$$

ここで、ONESTEP は標準の探索距離ステップサイズの閾値である。

3.3 サブゴールの決定

あいまい姿勢 $P_u = \{a_i\}$ と $P_{u+1} = \{b_j\}$ において、その「d-共通部分」を式 2 のように定める。

$$P_u \circ P_{u+1} = \{a_i, b_j \mid \|a_i - b_j\| \leq d\} \quad (2)$$

d は $P_u \circ P_{u+1} \neq \emptyset$ とならないよう増加調整する (図 3、図 4)。そうすることで、 P_u と P_{u+1} の姿勢点間の距離がどんなに大きくても d-共通部分を見出すことができる。ゆえに、隣り合うあいまい姿勢間の空間的配置の制約は無い。

この d-共通部分を基にサブゴール sg_u を式 3 のように定める。

$$sg_u = \{c_i \mid \min(\|sg_{u-1} - c_i\|), c_i \in (P_u \circ P_{u+1}) \cap P_{u+1}\} \quad (\text{ただし、} sg_0 = s) \quad (3)$$

3.4 次遷移姿勢点決定アルゴリズム

まず遷移点候補を列挙し、その中から最適な点を次遷移点として選ぶ。このとき、最近点法とサンプリング密度法の 2 通りの手法を比較し、サンプリング密度法の方が多くの場合で適切である事を予備実験により確かめた。両者の具体的な手法について以下に示す。

まず、次遷移点の候補集合 $NEXT$ を式 4 のように定めた。

$$NEXT = \{next_i \mid next_i \in P_u \cup P_{u+1}, \|p_t - next_i\| \leq \delta, \|sg_u - next_i\| \leq \|sg_u - p_t\| + \varepsilon\} \quad (4)$$

δ と ε は $NEXT \neq \emptyset$ とならないように必要に応じて増加調整する。ここで、 δ は目標へ向かう探索範囲であり、 ε は δ を増加調整する前に探索する予備探索範囲である。

最近点法 は、 $\min(\|p_t - next_i\|)$ となる点 $next_i \in NEXT$ を選ぶ方法である。

サンプリング密度法 とは、 $P_u \cup P_{u+1} = \{pp_1, \dots, pp_N\}$ における候補点についての式 5 に示すサンプリング密度 $f(next)$ が最も高い点 $next \in NEXT$ を選ぶ方法である。

$$f(next) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k \left(\frac{\|next - pp_i\|}{h} \right) \quad (5)$$

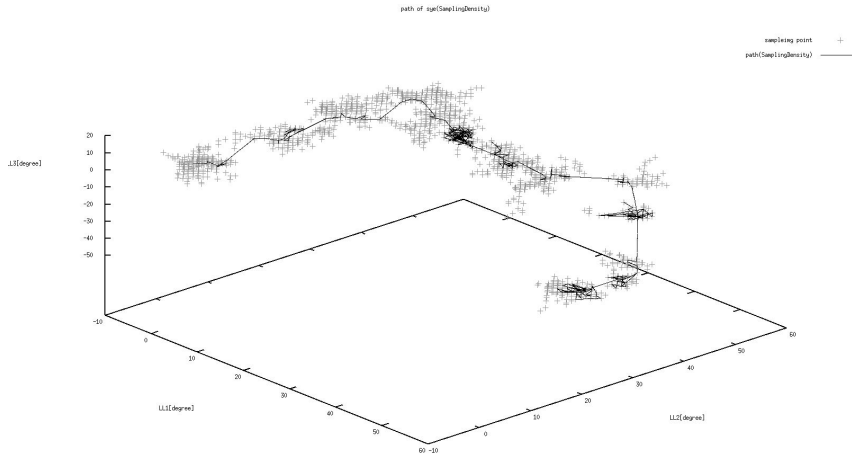


Figure 5: シェー行動の動作パス: 20次元から左腰、膝、足首の3次元に射影

Table 1: シェー行動のために準備したあいまい姿勢群

	あいまい姿勢の名前	姿勢点数
1	“直立”	109
2	“右足重心”	132
3	“左足上げ 1”	141
4	“左足上げ 2”	213
5	“左足上げ 3”	204
6	“足 4 の字 1”	202
7	“足 4 の字 2”	111
8	“足 4 の字 3”	208
9	“足 4 の字 4”	162
10	“足 4 の字 5”	77
11	“足 4 の字 6”	63
12	“足 4 の字 7”	52
13	“足 4 の字 8”	46
14	“足 4 の字 9”	30
15	“シェー 1”	136
16	“シェー 2”	1
17	“シェー 3”	1
18	“シェー 4”	1
19	“シェー 5”	1
20	“シェー 6”	1



Figure 6: シェー姿勢

に示すような片足を上げ他方の足と前後に交差し同時に腕も左右交互に曲げた複雑な姿勢を取るという、いわゆる「シェー」の姿勢とした。

シェー姿勢をとるため、表1に示した姿勢を定義し、このラベル系列で行動を行った。行動パスの探索結果を図5に示す。直立からシェーまで複雑な軌道の探索が実現できた。

5 まとめと今後の課題

人が指定した直感的なあいまい姿勢と行動を半自動的に探索・獲得・生成するエディタと、そのあいまい姿勢にもとづいて行動を実現するシステムを実装した。シェーを行う動作を実現し、人の直感に近いあいまい姿勢をもとに行動が可能となることを確かめた。

今回は静的安定性をもつ姿勢を繋ぎ、ゆっくりした運動だけを対象としたが、実用ではよりハイスピードな動きも求められる。速い動きにも対応できるよう動的な動きを構築・編集可能なシステムとすることが今後の課題である。

本研究に関連するシステムの開発と研究は、科学研究費補助金基盤研究 (C)19500187 によって行われた。

参考文献

- [LaV98] LaValle, S. M.: Rapidly-exploring random trees: A new tool for path planning, Technical Report TR 98-11, Computer Science Dept., Iowa State University, 1998.
- [梶田 05] 梶田 (編): ヒューノイドロボット, オーム社, 2005.
- [西野 08] 西野順二: このへんファジィとそのあたり, 知能と情報, Vol. 20, No. 5, pp. 776-784, 2008.

サンプリング密度法は、ひとつのあいまい姿勢を20次元空間上にちらばった点の密度を考慮する。あいまい姿勢は静的安定性をもつ状態であり、サンプリング密度が高いのはその中央部、ほそながい形状では骨格部となり、より安全な姿勢変化が期待できる。このため制御においても転倒しない良い結果に結びついていると考える。

4 シェー行動制御実験

以上のシステムの連携効果を一連の行動を行う実験により確認した。対象とする行動として、直立状態から、図6