

一般研究課題 キーフレームを用いたロボットの動作生成法の研究
助成研究者 名城大学 高橋 友一



キーフレームを用いたロボットの動作生成法の研究 高橋 友一 (名城大学)

A Method of Robot Motion Generation based on Key Frames

Tomoichi Takahashi
(Meijo University)

Disaster rescue is one of the most serious social issues. Physical robotic agents for search and rescue, information infrastructures, and personal digital assistants have been investigated to rescue victims and to support rescues at disaster areas ¹⁾.

In these days, various pet robots and entertainment robots have been announced. They are low-cost programmable robots and designed to be used at home as one of digital consumer electronics in future. When earthquakes occur, we think it is good to use such robots for initial search for victims.

At Japan Open 2004, our team that consists of two AIBOs participated in Rescue Robot League ²⁾. Our team's interface was also programmed using Tekkotsu framework ³⁾. We noticed several problems in operating AIBOs using GUI that displays data from sensors. In this paper, we first present backgrounds of our research and what problems are. Next, we propose a method of sensing situations after robots actions. It discriminates AIBO's states that we encountered at Rescue fields using AIBO's accelerations sensor data.

キーワード：災害救助、ロボット操作インタフェース、センサ

1. はじめに

大震災などの非常時に救助活動をするには、まず被災者を探すことが要求される。そのために、瓦礫などの不整地で活動するレスキューロボットの研究が行われている⁴⁾。本研究では、将来家庭においてペットロボットが普及していると仮定して、災害時に家庭内にいるペットロボットを被災者の探索として活用することを検討する。

平常時の用途として、遊び、癒し、防犯などの幅広い応用面が検討されているペットロボットはネットワークやカメラなどのセンサ機能を有している。災害時にこれらの機能を使用してペットロボットを動くセンサに活用することを考える。その為に、平常時には想定されていない環境で、ペットロボットを動かすことが必要になる。ペットロボットの関節数は20個程度と工業用ロボットに比較して多い。又、瓦礫などがある不整地での移動である事から、普通の移動ロボットやマニピュレータの運動計画より次元数が多い上に、姿勢の安定性を考慮する必要がある。

本研究では、屋外から地震により小物などが散乱した室内にいるロボットを操作するインタフェースを以下の手順で検討した。

- (1) マスタースレーブ方式による簡易な教示方式。
- (2) 安定性を考慮したキーフレーム間の補間方法。
- (3) 動作再生時のセンサ情報を用いた状態識別法。

2. マスタースレーブ方式による動きの教示方法

四脚ロボットの関節数を n (使用したAIBOの場合は18)とすると、ある時点(k)のロボットの姿勢は n 次元ベクトル K_k で表現される。連続した動きは、 n 次元空間の軌跡で表現される。瓦礫の散乱する環境での移動や姿勢の変更などは、一般の移動ロボットよりも次元数が多い空間で姿勢の安定性などを考慮した複雑な経路計画問題になる。

本研究では、マスタースレーブ方式^{*1}を用い、1台のAIBOを手で操ることで、離れた場所にいるもう1台のAIBOを動かし、被災者を探索する方式を検討した。動作教示インタフェースとして、

1. 教示用ロボットを手足を動かして、移動姿勢の変化を必要とするポイントでキーとなるいくつか姿勢 ($K_k (k = 1, \dots, N)$) を教示し
2. キー間の姿勢をいくつかの要求や拘束条件を満たしながら、滑らかな動きを再現するためにキー間の動きを(例えば m 点の補間点 $K_i^1 = K_i, K_i^{m+1} = K_{i+1}$) で自動生成し、動作する

の2段階でロボットを動かす(図1)。

ロボットを動かすプログラムはAIBO側とコントローラ(PC)側に分かれており、AIBO側はOPEN-R、コントローラ側はJava及びCarnegie Mellon 大学のグループが開発したAIBOプログラムの開発環境であるTekkotsuを使用した³⁾。図2は、画面に表示されているロボットをマウスのドラッグによりロボットの姿勢を変化させる時に使用した画面をしめす。このGUIと実ロボットを用いロボットの姿勢を教示し、その時の関節情報でスレーブ側の実ロボットを動作することができる。

*1 マスタースレーブ方式は、2台のロボットを用い、1台のロボット(マスター)を動かし、その動きを他のロボット(スレーブ)に伝える方式である。

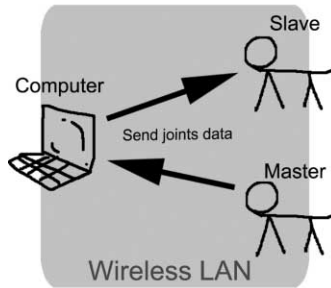


図1 マスタースレーブ方式による関節情報の教示



図2 AIBO 3D の実行画面

マスター側プログラム：関節情報とセンサ情報をネットワークで送信する機能を持つ。関節情報は18カ所、センサ情報は10カ所、ボタン情報は8カ所である。

スレーブ側プログラム：関節の角度情報をネットワークを通じてロボットへ送信する。送信された関節角度情報を基にロボットの関節を動かす。

3. 安定した動き

3.1 動作間の補間における安定性

キーフレーム間を補間する際に

隣接するキーフレームを直線的 $K_i^n = K_i^1 + \frac{n}{m} (K_i^m - K_i^1)$ (i はキーフレームに振られる数、 m はキーフレーム間の補間数、 n は補完した情報に振られる数)に補間する。

連続する4つのキーフレームをB-Spline曲線を用いて、滑らかな軌道で補完する。但し、この方法では、生成された軌道はキーフレームの点からずれを生じることがある。

などの方法が考えられる。ロボットの動きを構成する点列は、

(モータの出力内で)移動出来る

転倒せず移動するには、重心を考慮する必要がある。例えば、静歩行の時は、着地している足の構成する多角形中に重心があれば、ロボットは安定を保って移動することができる。

などの条件を満たしている必要がある。

3.2 動作中の状態認識の必要性

災害現場での操作では、「歩いている動作をしているにもかかわらず、実は脚に物が絡まっていて前進できていない」など教示時と異なる動きをする事がある。図3は、災害を想定したフィールドで被災者を探査能力、現場の地図作成能力を競うロボカップレスキュー実機リーグ(2004年「ロボカップジャパンオープン」)での写真である。ここでは、ロボットの操作者は、ロボットが動作するフィールドの状況を事前に知らず、ロボットから送信されてくるカメラ画像やセンサ情報をもとに、ロボットを操作して被災者発見を行う。図4は、実際に教示したデータをロボットへ送信し、段差を乗り越えている様子である。

この競技会で、操作者は瓦礫に躓く、足が絡まって前進できないなどの状態を、ロボットのカメラ画像のみで判断することは難しく、無駄な操作を繰り返している事が多々あった。その状態を分析すると、操作者は以下の5状態を区別できずに同じ状態として操作したことがわかった(図5)。



図3 遠隔操作により被災者を探査するロボットの操作インターフェース(左)、現場でのAIBOと被災者(右)【ロボカップジャパンオープン2004会場にて】



図4 教示したデータを再生した例

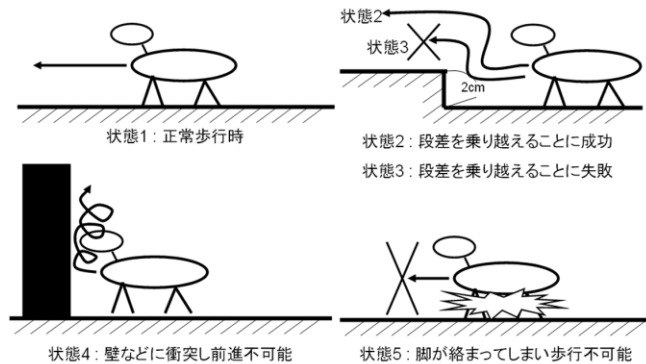


図5 ロボットの状態

- 状態1 正常歩行
- 状態2 2cmの段差を乗り越えることに成功
- 状態3 2cmの段差を乗り越えることに失敗
- 状態4 壁などに衝突して前進不可能
- 状態5 脚が絡まってしまい前進不可能

4 未知の不整地での動作教示方法

震災直後は、未知の不整地の環境でロボットを操作するためには、ロボットのカメラ画像^{*2}の他に、ロボットが自分でどのような状況にあるかを判断し、動作教示に活かす必要がある。二足歩行ロボットに付属している加速度センサを利用し、床の素材を識別する研究報告がある⁶⁾。

以下で、加速度センサから上記の状態を識別できるかを検討した。

*2 AIBOの頭部にあるカメラは、機構的な制約から自分の脚元の映像をとることができない。ASIMOも同様に、頭部のカメラの他に脚元をみることができない。ASIMOは、脚元用に別カメラをもっている。

4.1 動作再生時のセンサ情報を用いた状態識別法

教示から加速度センサ情報の周波数領域変換までの一連の手順を示す。

1. 動作ユニットの教示 教示された動作ユニットの一連の関節データを $P_i (i = 1, \dots, n)$ 生成する。
2. 実行 P_i をある一定時間間隔 (Δt) でコンピュータからロボットへ送信する。
3. 記録 ロボットから送信されてくる関節情報とセンサ情報を $R_i (i = 1, \dots, s)$ として記録する。
4. 動作確認 ある動作ユニットに対する $\{R_i | i = 1, \dots, s\}$ を、時間に対し等間隔にした時系列データ $\{R_i | i = 1, \dots, 2N\}$ とする。それを周波数領域へ変換する。

2番目の実行と3番目の記録は別のスレッドで実行するため、ロボットに送信するデータ数 n をロボットから受信するデータ数 s は等しくない。また、 R_i と R_{i+1} のデータを受信する間隔は一定でない。4番目で動作確認では、受信データを補間し等間隔にした後に周波数領域への変換を行った。

周波数領域で、主成分分析と最短距離法を用いて状態判別をする実験を行った。

AIBOに搭載されている x 、 y 、 z 方向の各加速度センサの値を周波数領域に変換し、主成分分析を行う。

各加速度センサにおける、累積寄与率80%までの主成分結果を使用して、Nearest Neighbor法を用いて状態識別を行う。

4.2 実験結果

AIBOの加速度センサは、ロボットに対して重力可速度がどちらの方向を向いているかを計測する。その出力は x 軸を左右、 y 軸を前後、そして z 軸を上下方向とし、各方向と各軸のなす角度に対応している。この値は、AIBOの動き方（もし、AIBOに乗っているなら、乗心地）に対応し、平坦なところではリズムをもって変化すると想定できる。そして、不整地ではそのリズムは乱れる。

4.2.1 周波数領域での解析

図6は、一連の時系列 R_k から等間隔に補間した256点を用いて周波数変換した状態1と5の時の z 方向の周波数スペクトル $\{C_i\}$ をしめす。図は、パターンの相違から整地歩行の状態1と脚に何か絡まっている状態5を判別できることを示している。

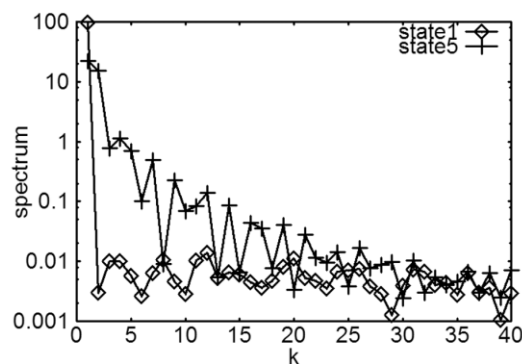


図6 状態1と5の周波数スペクトル

4.2.2 主成分分析

図5の各状態に対して4ケース、計20ケースの $\{R_i\}$ のデータを用いて主成分分析した結果を表1に示す。表は、累積寄与率が0.8を超えるまでの各方向の寄与率をしめす。表から以下のことがいえる。

1. 上下に対応する z 方向が、他の方向よりも影響がある。
2. z 方向の第一成分が一番の影響力がある。

主成分	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	累積主成分
x 方向	0.2979	0.1541	0.1052	0.0805	0.0766	0.0657	0.0523	0.8325
y 方向	0.3330	0.1310	0.1251	0.0971	0.0890	0.0592	-	0.8347
z 方向	0.4702	0.1363	0.1045	0.0724	0.0644	-	-	0.8477

表1 C_i に対する主成分分析結果

4.2.3 状態識別結果

表2は、累積主成分が0.8までの主成分(x 方向で7成分、 y 方向で6成分、 z 方法で5成分の18個)を特徴ベクトルとして、各状態のプロトタイプとして平均ベクトルを用いnearest neighbor法で状態識別を行った結果を示す。

各状態10ケースに合計50ケースに対して、40ケースは正しく識別できている。動いて前に進んでいる状態(1、2)と動けない状態(3、4、5)でみると、動いているのに動けない状態にしたのが20ケース中の2ケース、逆に動けない状態を動いている識別したのが30ケース中の4ケースであった。

状態		正しく認識した数	誤認識状態
1	正常歩行	9	4
2	2cm 段差乗り越え成功	9	5
3	2cm 段差乗り越え失敗	6	2、2、2、4
4	壁に衝突	7	2、5、5
5	脚が絡んでいる	9	4

表2 状態識別結果

5. まとめ

AIBOを使用して、マスタースレーブ方式で動作の教示を行うことを示すことができた。そして、ロボットに内蔵されている加速度センサの値を周波数領域に変換することで、ロボットが動作している状況にある程度識別でき、その結果を不整地におけるロボットの動作教示に活用できる事を示す事ができた。

今後は、この結果をもとに周波数領域での解析結果をもとに、より安定な動作を作成する時間領域でキーフレーム間の軌道補間方法を検討する。

最後に、本研究を進めるにあたって支援を頂いた日比科学技術振興財団に感謝します。

参考文献

- 1) T.Takahashi, S.Tadokoro; Working with Robots in Disasters - RoboCupRescue: A Multi-Agent Approach to Disaster Simulation, IEEE Robotics & Automation Magazine, Vol. 9, No. 3, p.34-39, 2002 (Sep.)
- 2) S.Tejada, A.Cristina, P.Goodwyne, E.Normand, R.O'Hara, and S.Tarapore; Virtual Synergy: A Human-Robot Interface for Urban Search and Rescue. In the Proceedings of the AAAI 2003 Robot
- 3) Tekkotsu Development Framework for AIBO Robots, Carnegie Mellon University
<http://www-2.cs.cmu.edu/tekkotsu/>
- 4) “ <特集> 大都市大震災軽減化特別プロジェクト-レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発 ” 日本ロボット学会誌 Vol.22 No.5, 2004
- 5) 河村、高橋：“ ペットロボット用レスキュー探索活動の生成インタフェース ” ロボティクス・メカトロニクス講演会 2004, 2A1-H-44, 2004
- 6) 宮下、今川、石黒：“ センサ履歴に基づく多自由ロボットの環境に適した行動選択 ” 人工知能学会第19回SIG-Challenge研究会 2004, pp 16-21, 2004
- 7) 蒲野、河村、高橋：“ 安定した動作を生成する姿勢検出方法の検討 ” 情報処理学会 第67回全国大会2005, 1X-86z