

ギターを入力インタフェースとするロボット操作方式に関する研究 -ポーズ選択に基づくモーション生成とその評価-

吉田 隼^{†1} 岩城 敏^{†1} 谷口 和弘^{†1}

生演奏のエレキギターの音に反応してロボットが踊るアミューズメントコンテンツの作成方法に関して論ずる。従来の音楽反応型ロボットとの違いは、生演奏とロボットモーションとのインタラクティブ性にある。すなわち、ロボットはギター演奏により運動が時々刻々変化し、逆に演奏者はロボットからの刺激を受けアドリブを変えていくことで、生のジャムセッションを楽しむことを狙いとしている。本論文では、スライド・ビブラート等ギター特有の奏法を推定する手法提案の後、演奏データから得られる演奏特徴量に基づき望ましいロボットモーション(ポーズ)を選択する手法を検討する。小型ヒューマノイドロボットによるパフォーマンス実験及び観衆による評価実験について紹介する。

A Robot Controlled by a Guitar — Generation of the Robot Motion Based on Pose Determination —

Hayato YOSHIDA^{†1} Satoshi IWAKI^{†1} Kazuhiro TANIGUCHI^{†1}

We have been studying how to create an amusement content using a dancing robot in sync with the live performance of the guitarist. Unlike the conventional music-based dancing robots, our proposed robot features the interactivity between the live guitar performance and the robot motion. Thus the robot's motion will change depending on the guitar performance and simultaneously the guitar player will change the adlib inspired by the robot motion. In this paper, we propose a method to determine the guitar playing method such as slide, vibrato, or so from the sound, and how to select an appropriate robot pause based on the guitar performance data. Performance experimental data using small humanoid robot with 22 DOF and the evaluation method are also described.

1. 序論

近年、音楽に反応して踊るロボットが数多く研究されている¹⁾²⁾。これらは主に楽曲全体の特徴量(音量・リズム・和音等)を事前に解析し、それらの特徴量とロボットモーションとを関係付けることで、音からモーションへのマッピングを実現している。しかしこれらの手法では、楽曲中全ての音源の特徴量に機械的に反応する単純動作の繰り返しとなり易く、特定フレーズや特定楽器に対応する意図的なモーションをデザインすることができない。従ってライブ感に乏しいモーションメディアコンテンツに陥りやすい。

そこで坂田ら³⁾はギターとロボットとの組み合わせに着目し、ギター演奏の盛り上がりに対応するインタラクティブコンテンツ作成手法を提案した。この手法では、盛り上がり度 $S_i(t)$ 、腕の各リンクへの動作反映の重み $k(t)$ を導入し、式(1)に示すように全ての関節が一様に音楽的特徴量で振幅変調された基本ビート正弦波で駆動される。

$$\theta_i(t) = S_i(t)k(t) \sin(2\pi t/T) + \theta_{i_0} \quad (1)$$

従って、ロボットが担当するリズム楽器の特徴とは無関係で単調なロボットモーションに陥りやすいという問題があった。本報告ではこの研究を発展させて、リズム楽器の操作形態に応じた典型的ポーズを予め複数準備しておき、それを音楽的特徴に基づき適切に選択することで、より生き生きとしたロボットモーションを生成する手法を検討する。

2. 本研究のアプローチ

本研究で想定する演奏形態としては、ドラムやパーカッション等リズムセクションを担当するロボットとギタリストとのジャムセッションをイメージし、ギタリストのアドリブソロとロボットのリズムングがお互いに刺激し合うアミューズメントコンテンツを目指す。まず予めリズムセクションプレイヤーの演奏動作に適した複数のポーズを準備しておき、ギターの音楽的特徴量に基づきそれらを逐次適切に選択することで、ロボットモーションを生成していく。音楽的特徴量は一般に、リズム・音程・音量・和音等があるが、本研究ではさらにギター独自の奏法に着目し、これをモーションに反映することを狙う。そこで次章で奏法推定手法について述べる。

3. 特殊奏法推定手法の検討

推定対象とするギター特殊奏法音の周波数および時系列的特徴を大まかにつかむために、スペクトログラム(SG)により可視化した(Fig1)。奏法は、slide, bending, vibrato, cuttingを推定対象とした。これらは、ギタリストの音楽的情感を繊細かつ情熱的に表現し得る一般的なギター奏法であり、ヒトの踊りにも強く刺激を与えている。これらの奏法に関しては、特殊奏法を演奏したときの振幅と周波数の両方の特徴量から推定を行う。

各種奏法の振幅の変化の例を Fig2 に示す。Fig2 より、特殊奏法を用いた場合の振幅は、cuttingを除き最初ピッキングしたときの振幅から漸近的に単調減衰するという特徴が

^{†1}、広島市立大学院
Hiroshima City University

見られる. この振幅の状態かつ周波数の変化の仕方が, 特殊奏法のいずれかの特徴と一致した場合, 各々の特殊奏法と推定する. 各種奏法の周波数の時間変化に関する特徴パターンを Fig3 に示す. Fig3 は, 基音の時系列であり, Fig1 の SG の振幅スペクトルの最も高い部分を 1, それ以外を 0 と 2 値化した. これより各特殊奏法に対して, 振幅と周波数の時間的変化に関する特徴を整理したものを Table1 に示す. 以上のことから, 特殊奏法の明示的条件分岐(ロジカルブランチ)を作成し, 実時間推定を行った. (Fig4, Fig5)

表 1 各種奏法の特徴

奏法名	奏法	振幅	周波数
slide	押弦した指を滑らせることで音高を変える	緩やかに単調減少	滑らかに上昇または減少
bending	押弦している指で弦を引っ張り音高を変える	緩やかに単調減少	滑らかに上昇した後上昇前の値に滑らかに減少
vibrato	押弦している指で弦を上下に引っ張り音高を変える	緩やかに単調減少	上昇と上昇前の値に減少するのを短い時間で繰り返す
cutting	弦に手が触れた状態でストロークして歯切れの良い音を出す	急激に減少	基音や倍音などは現れずノイズの含まれたように一様分布する

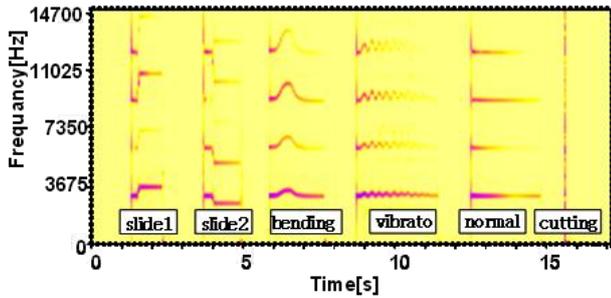


Fig.1 Spectrogram examples of some renditions

図 1 各種奏法のスペクトログラムの例

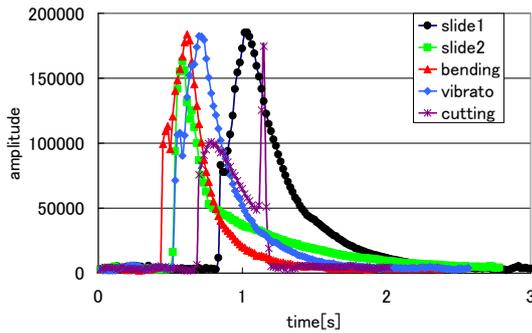


Fig.2 Changes in amplitude of some guitar sounds

図 2 各種奏法演奏時の振幅の変化

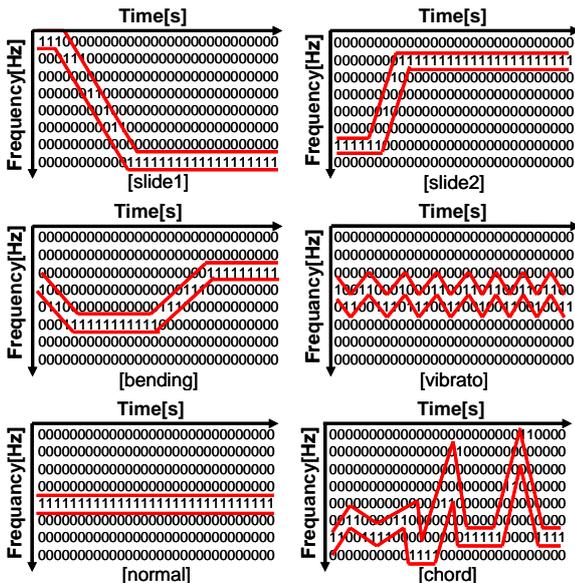


Fig.3 Changes in frequency of some guitar sounds

図 3 各種奏法演奏時の周波数の変化

Table.1 Qualitative characteristics of some guitar sounds

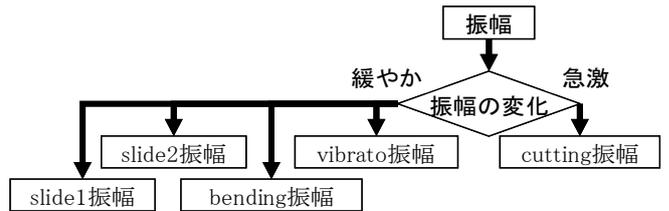


Fig.4 amplitude determination

図 4 振幅の条件分岐

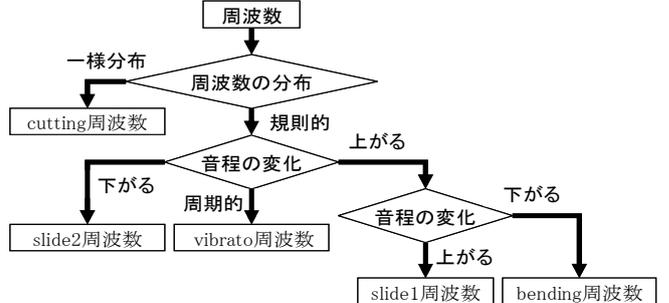


Fig.5 frequency determination

図 5 周波数の条件分岐

本アルゴリズムを PC 上に実装し明示的条件分岐でギター操作実験を行った結果, 全体で約 80%の精度で特殊奏法推定を行うことができた.

4. ポーズ決定のための要件

本研究ではこれ以降, 具体的な音楽ジャンル・スタイルとして, 主にスリーコード 12 小節の繰り返しで構成される一般的なブルースを, ギターとリズムセクションで合奏するスタイルを例題として議論を進める. このようなシンプルな音楽スタイルは, 初心者から上級者まで時代を超えて好んで演奏されており, ギタリストの感性と技術が明確に表現されるため, 本研究の狙いであるインタラクティブなギターコンテンツとして相応しいと考えた.

筆者らのこれまでのブルース演奏経験とプロの演奏の観察に基づき, リズムセクション(ドラムやパーカッション)とギター演奏の関係性を考察することにより, ロボットの取るべきポーズが満たす要件として以下を検討することとした.

4.1 リズム同期

ブルースに限らずすべての合奏に共通するが, 全ての演

奏者全員のリズムは正確に同期する必要がある、本来そのペースメーカーはドラムに代表されるリズムセクションである。本研究で演奏中のリズムは一定とするために、最初に設定したテンポをロボットにキープさせることとした。具体的には、演奏前に入力したカッティング音の波形の立ち上がり間隔の平均時間を基本周期に設定し、それを基本ビートとしてモーションを生成する。

4.2 直前の演奏盛り上がりに対する反応

人間同士のセッションでは、各種演奏のフレーズの良し悪しで演奏全体の盛り上がる度合いが決まる。ロボットでもギターフレーズの音楽的価値(盛り上がり度)を推定しモーションに反映させる事が望ましい。ここではビート毎の盛り上がり度 α_k を以下のように設定する。

$$\alpha_k = m_1 A + m_2 f \quad (2)$$

ここで k はビート番号、 A は入力ギター音の振幅ピーク値、 f は直前の音と現在の音との相対的な音程差、 m_1 、 m_2 はユーザの感性に基づく重みである。

4.3 演奏フレーズ履歴に対する反応

曲の盛り上がりは直前の音だけではなく、過去のコーラスにおけるフレーズ履歴にも影響を受ける。ギターフレーズは単音弾き以外にギター特殊奏法の組み合わせにより構成される為、各種奏法の出現頻度がその音楽的特徴を表現する一つの指標になり得る。

ここでは過去のコーラスにおけるフレーズ履歴として、ワンコーラス間の各特殊奏法の出現回数を $\beta_{(k,j)}$ とする。ここで k はビート番号、 j は特殊奏法の種類を表す番号である。

4.4 偶然性

ブルースは基本的にスリーコード進行の繰り返しで構成されるため、同じ様なフィルインの繰り返しでは単調なフレーズになりがちで飽きやすい。従って、ある種の偶然性に基づくポーズ選択を与えることで、ギタリストに予期しない音楽的刺激を与えることができると考える。

そこで乱数に基づく偶然度 γ_k を導入し、ポーズ番号選択を絞り込む際に反映する。

5. 人間の感性評価に基づくポーズ決定

以上3つの指標(盛り上がり度、演奏履歴、偶然度)を入力としてポーズ番号を指定されたビート毎に出力するポーズ決定関数の決定が主たる設計問題となるが、生き生きとしたモーションを実現するポーズ選択は究極的には感性に帰着する。

本研究では、まずバンド経験が豊富なギタリストの感性によりヒューリスティックに関数を決定し、パフォーマンスの観察を行った後ビート毎に被験者が点数評価し、それらのデータを基に上記関数に反映することで望ましいポーズ決定関数を設計する。

5.1 ヒューリスティック関数によるコンテンツ作成

これまでに試みたヒューリスティックな選択関数を以

下に示す(Fig7)。スタンダードな3コード進行のスローブルースを演奏した時のギター特徴量データベースの例をTable2に示す。まず $\beta_{(k,j)}$ を参照し、ワンコーラス間の特殊奏法の回数が多い場合、特定のポーズデータを選択する。次に α_k より、盛り上がりに応じて関節各の大きさによって予め分類されたポーズデータ群を選択し、その後偶然度 γ_k によってポーズデータ群の中からポーズを選択した。

作成した選択関数を22自由度ロボットシステムに実装し(Fig6)、パフォーマンスの観察により設計通りの動作を確認した後にコンテストに出展した4)。

Table.2 Qualitative characteristics of some guitar sounds

表2 ギター特徴量データベースの例

k :ビート番号	1	2	3	...	
α_k :盛り上がり度	41	74	136	...	
$\beta_{k,j}$:フレーズ履歴 (j :特殊奏法番号)	$j=1$	0	1	1	...
	$j=2$	0	0	1	...

	$j=6$	0	0	0	...
γ_k :偶然度	1	0	1	...	

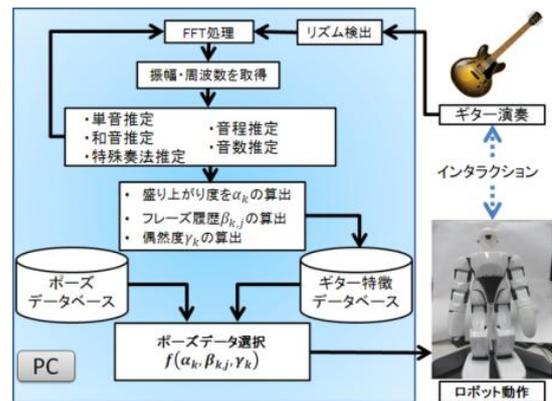


Fig.6 Flow chart of the proposed system

図6 処理システムフロー

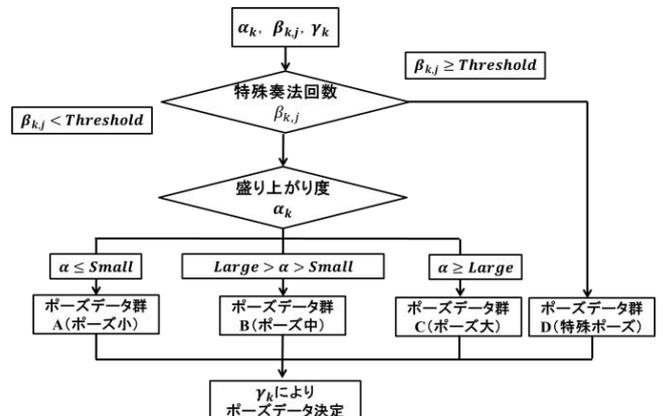


Fig.7 Function example based on the bands experience

図7 バンド演奏経験に基づくヒューリスティック関数の例

5.2 パフォーマンス観察・評価実験

ダンス・体操・フィギュアスケート等、ヒトが音楽に同期して行う運動パフォーマンスの価値の客観評価は非常に

難しい。フィギュアスケートを例にとると、芸術点・技術という異なる側面から審査員による厳密な評価が行われる。そこでのスコアは必ずしも観衆の評価とは一致しないものの長年の実績でその妥当性は認められている。本研究でのロボットのパフォーマンスの価値も究極的には観衆そしてギター演奏者の感性に帰着すべきものである。このような考察から、上記のヒューリスティック関数の改善には観衆の評価を反映することが重要であると考えた。本論文ではその初期検討として、上記のヒューリスティック関数によるパフォーマンスを被験者に視聴してもらい、面白さの観点で価値が高いポーズを抽出してもらい観察評価実験を行い、そこでの上記4パラメータとの関連性を探ることとした。

具体的な実験手順を以下に示す。まず予めリズム楽器（ここではマラカス）演奏に相応しいポーズを4つ準備し (Fig8), 試行錯誤的に決定した関数を用いて、E・A・B7から構成されるブルース2コーラス分を演奏した時のギター音とロボットモーションを録画した。次に、その動画を複数の被験者に繰り返し3回視聴してもらい、ギター演奏とロボットモーションの両者の観点から主観的な評価を依頼した。具体的には、2コーラス分96拍分の演奏の中から、ギター演奏とモーションとの組み合わせとして面白と感じた拍番号を5つ選択してもらった。集計結果を、横軸を拍番号とするヒストグラムにより可視化した。(Fig9)

これより、聴衆の評価は決してランダムではなく、ブルース進行のサブドミナントからドミナントコードへ移る部分から最後のトニックに戻るターンアラウンド部分までの範囲に高評価が集まる傾向が見取れる。これは、ギタリストの演奏の盛り上がり度がロボットモーションに反映され、その音楽とモーションとの相互的活性が聴衆にも伝わった可能性が指摘できる。もしこの仮説が真であれば、この時のギター特徴量（盛り上がり度 α_k 、演奏履歴 $\beta_{(k,j)}$ 、偶然度 γ_k ）とロボットポーズ番号との対応関係を深く分析することで、聴衆から高評価を得るためのポーズ選択自動化の可能性が期待できる。

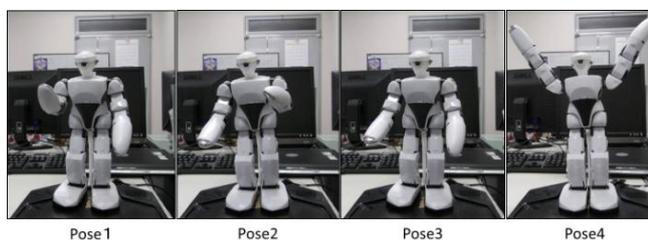


Fig.8 Pose data example
図8 ポーズデータ例

6. 結論

ギター演奏の盛り上がり反応するインタラクティブコンテンツの作成手法を提案し、明示的条件分岐を用いた特

殊奏法推定手法を提案し、その妥当性を検証した。

得られた奏法情報より、ポーズ選択に基づくモーション生成のための決定要件を提案し、それらを基にポーズ選択関数を検討した。また実際のパフォーマンスを行い被験者による初期評価を得た。今後は得られた被験者評価データに基づき、ポーズ選択関数のパラメータを学習させる手法を検討する。

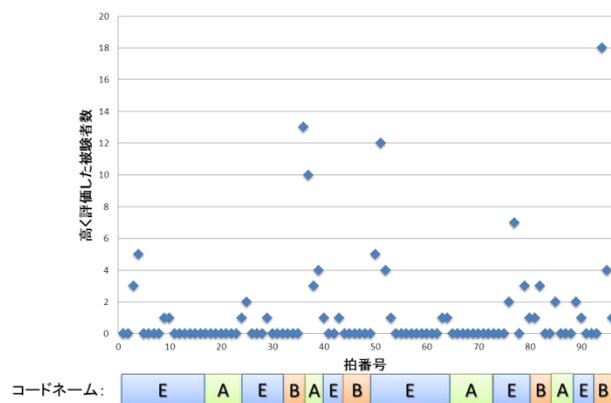


Fig.9 Performance experimental results

図9 パフォーマンス観察実験結果

参考文献

- 1) SONY: "Rolly", <http://www.sony.jp/rolly/>, 2008.
- 2) タカラトミー: "フラワーロック 2.0", (URL) <http://www.takaratomy.co.jp/products/flower-rock/>, 2008.
- 3) 坂田翔平, 岩城敏: "ギターを入力インターフェースとするロボット操作方式に関する研究", 電気・情報関連学会, 2009
- 4) 吉田 隼: "ジャムセッションパートナーII", 計測自動制御学会モーションメディアコンテスト, 2011 (優秀賞)
- 5) 金森巨洋, 森山剛, 小沢慎治: "ギター単旋律における特殊奏法のTAB譜自動生成", 社団法人情報処理学会研究報告, 2005
- 6) 二宮啓, 中澤篤志, 竹村治雄: "音楽に合った舞踊動作の自動生成", 社団法人情報処理学会研究報告, 2009