

ピアノ演奏に基づくマリオネットダンスの生成と表示

関口 博之[†] 崔 雄[†] 八村 広三郎[‡]

Generating Marionette Dance Based on the Piano Performance

HIROYUKI SEKIGUCHI[†] WOONG CHOI[†] KOZABURO HACHIMURA[‡]

1. はじめに

近年、電子楽器は極めて身近なものになった。特に電子ピアノなどは、価格が安くなっただけでなく、サンプリング音源の採用によって楽器音のクオリティも飛躍的に向上した。しかし、電子楽器がいくら安く高性能になっても、楽器の習得には依然として膨大な時間とコストが必要であることに変わりはない。特にピアノのような鍵盤楽器をマスターするには単調な繰り返し練習が必須となるため、長期間にわたってモチベーションを持続することは難しい。

我々は、ピアノの演奏や練習をより楽しく行うには、視覚情報の付加が有効であると考え、プレイヤーの演奏に応じて踊る、操り人形 CG を提示するシステムを構築した。図 1 に利用中の本システムを示す。



図1 使用中の本システム

本システムの最大の特徴は、プレイヤーが曲をアレンジしたり、アドリブを加えたりすることによって、演奏を行いながら、人形の動きをコントロールすることを可能にした点にある。すなわち本システム上では、

プレイヤーは演奏者であると同時に振付師になって、演奏をよりアクティブに楽しむことが可能である。アドリブ演奏が困難な初心者でも、自分の演奏に合わせて人形が踊るのを見て楽しむことができる。さらに、タッチやテンポの正確さを人形の踊りに反映させれば、演奏上の欠点を視覚的に把握することも可能になる。このように、本システムはエンターティメント性だけでなく、教育ツールとしても大きな可能性を持つ。

2. 操り人形 CG の提示

今日、音楽は音だけでなく、映像とともに楽しむことがごく一般的となっている。しかし、映像を持たない楽曲に対しては、曲のイメージ写真か、もしくは、幾何学模様様の動画を提示するしかなかった。演奏情報から CG を生成するシステムもいくつか報告されているが[1,2]、オフライン処理によるものであったり、楽器や演奏者の様子を表示するものであったりと、本システムのように、演奏中のプレイヤー自身が楽しむことを目的としたものは見当たらない。

本システムでは視覚による楽しさの提供という観点から、その表示内容を演奏とともに踊る人形とした。人形動作の生成手法もピアノの演奏手法に基づいたユニークなものとなっている。なお、表示オブジェクトにはリアルな人体モデルではなく、操り人形を選んでいるが、これは次の3つの理由からである。

1) 打鍵動作と操り人形操作の類似性

ピアノの打鍵動作と操り人形の吊上げ操作は、慣性を持つ物体（ピアノの場合はハンマー）に運動エネルギーを与えるという点で類似している。このため、操り人形の吊上げ操作をピアノの打鍵動作に置き換えても、操作者はそれほど違和感を覚えない。また、長年改良を加えられてきたピアノの鍵盤メカニズムは、極めて優れたタッチセンサでもあり、これをコントローラとして用いることで、吊り上げの速度や大きさをダイナミックかつ精妙に操作することが可能になる。

[†] 立命館大学衣笠総合研究機構

Kinugasa Research Organization, Shizuoka University

[‡] 立命館大学情報理工学部

School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

2) 人形操作の簡易性

人体モデルを構成するには、指関節を除いても、十数個のボディパーツが必要になる。これらの各パーツに対して位置と姿勢をコントロールするには、数十ものパラメータ（6自由度×パーツ数）を同時に決定しなければならない。一方、操り人形を操作するには、数本の吊り糸の端点座標を指定するだけでよい。

本来、人形の操作用ではないピアノ鍵盤でも、操作内容をこのように限定することで、人形操作のインターフェイスとしての利用が十分可能になる。

3) 操り人形動作のユニーク性

人体のリアルな動きをシミュレートするには、関節の可動範囲や筋力といった人体の運動学的な制約を考慮しなければならない。これに対して操り人形を表示対象とした場合、個々のボディパーツを物理法則のみに基づいて動かすだけで、操り人形独特のコミカルで、かつ、操り人形としてのリアルな動きを再現できる。こうした操り人形の動きは比較的単純な物理シミュレーションで実現できるため、ごく一般的な PC 上でもリアルタイムに CG 動画の生成が可能となる。

3. 操り人形モデル

3.1 操り人形の構成

本システムの操り人形は、相互に連結された 12 個または 14 個の円筒から構成される。頭、腰はそれぞれ 1 個の円筒で表現しているが、胸腹部は形状が不自然にならないよう、女性体形（図 2 左）では 2 つ、男性体形（図 2 右）では 4 つの円筒を組み合わせる構成している。腕と足は関節を境にして上下に分かれ、左右合わせてそれぞれ 4 個の円筒からなる。

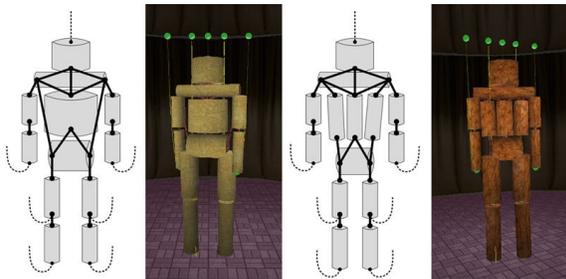


図2 操り人形の構成

円筒の端点には吊り糸が付けられており、これを引き上げることで円筒の糸側を持ち上げられるようになっている。吊り糸は基本的に自由端（頭頂部、左右の手、左右の足先）に付けるが、連結部である、肘、膝、首、肩などにも付けておくと、取り得るポーズが

増え、表現の幅が広がる。ただし、それに伴って操作も煩雑化するため、ここでは連結部への吊り糸装着は歩行動作の実現に必要な膝のみとしている。

3.2 操り人形の動力学

それぞれの円筒には、重力、周囲の円筒から引かれる力、吊り糸による張力の 3 種類の力が加わる。

（図 3）これらの力の合力は各瞬間における各円筒の重心位置を変化させ、重心のまわりに働くトルクは円筒の姿勢を変化させる。

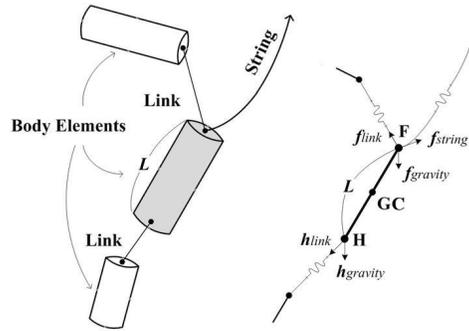


図3 円筒（ボディパーツ）に働く力

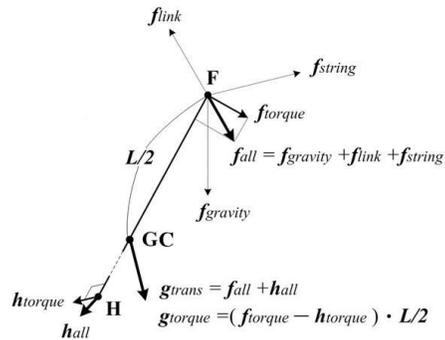


図4 円筒の端点に働く力

円筒間に働く力を計算するため、円筒間には仮想バネを設けている。糸で連結した時の挙動にするにはバネ定数の値を大きくすればよいが、ある値を超えると勝手に振動を始め、しまいに発散してしまうため、適当な値に調整する必要がある。振動や発散はダンピング係数を増やすことでも抑えられるが、係数の増加とともに人形の動きは緩慢になっていく。

各円筒の重心 GC (gravity center) まわりの合成トルク g_{torque} は、円筒の両端 F, H にかかる合力 f_{fall} , h_{hall} の慣性軸に対する垂直成分ベクトル f_{torque} , h_{torque} を求めた後、両者の差分に端点間の距離を乗じた量として求められる。（図 4）

円筒全体にかかる合力 g_{force} と、重心まわりのトル

ク g_{torque} が算出できたら、各々を質量、慣性モーメントで割ることで加速度と角加速度が得られる。ここでオイラー法を用いて速度と角速度を求め、ついで、重心座標と姿勢角を求める。こうして得られた重心位置と姿勢角からは、次の瞬間の合力とトルクが計算できる。全ての円筒に対してこの計算ループを繰り返すことにより、操り人形のアニメーションが実現される。

4. 演奏と人形動作との対応付け

ピアノには 88 もの鍵盤があり、これは各円筒の動きをコントロールするには十分な数である。しかし、人の手で同時に押さえられる鍵盤数は高々10個であり、指の届く範囲にも限界がある。また、各鍵盤に各円筒に対する特定の動き（移動や回転）を割り付けると、それらの操作は非常に複雑なものになる。本システムでは、演奏に支障のない範囲で人形の操作を可能にするために、「このような弾き方に対してはこのような動き」といったメタレベルの対応付けを行っている。以下、これらの対応付け手法を具体的に示す。

4.1 右・左手パートと手・足動作との対応付け

多くのピアノ演奏において、右手パートはメロディ（主旋律）とハーモニー（副旋律）を担当し、広い音域を自由に、拍子に縛られることなく動く。これに対し、ベースとコード（和音）を担当する左手パートの音域は比較的狭い範囲に限定され、打鍵のタイミングも拍子に合わせた規則的なものになる傾向がある。

ところで、この右手パートと左手パートの関係は、舞踊における手と足の動きの関係に類似している。すなわち、足（下半身）は身体を支えると同時にリズム保持の役目を負うことから、動作範囲が制限され、かつ、規則的な動きになる。一方、舞踊の表現部分を担う手（上半身）の動きは、ダイナミック、かつ、ユニークなものになることが多い。

以上の事実を踏まえ、本システムでは、右手で弾かれる高音部パートを人形の手の動きに対応させ、左手の低音部パートを足の動きに対応させている。

4.2 吊り糸端点の高さ

ピアノ曲において突然現れる高音域や低音域の音は一種の強調表現と考えられる。そこでこれらの音に応じて人形の動きにアクセントをつけるため、ピアノの中心（左手・右手パートの境界点）からの距離に応じて、吊り糸の位置が高くなるように設定した。すなわち、高い音を弾くほど、手はより高く上がり、足については、低い音を弾くほどより高く上がるようになっている。（図5、図6）

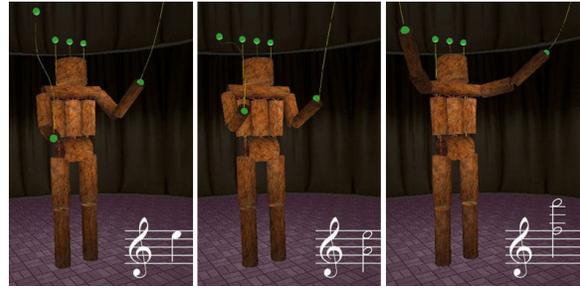


図5 右手による鍵盤打鍵に対応する人形の動作

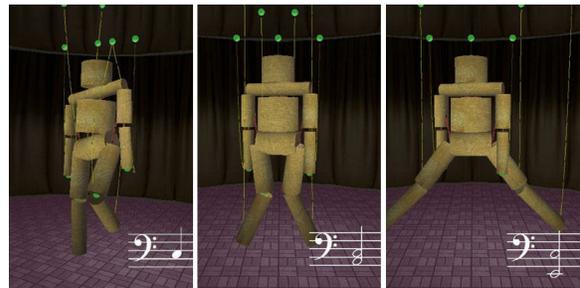


図6 左手による鍵盤打鍵に対応する人形の動作

4.3 吊り糸の引き点の前後左右位置の決定

人形の手足を、上下だけでなく、前後左右に動かすには、糸の引き点を持ち上げると同時に、水平面上で前後左右に動かす必要がある。本システムではその水平面上の座標を次のように定めている。

1) 単音弾きの場合

手に対しては、図7左に示すように、糸の引き点を体の正面方向に動かし、足に対しては、同図中左にあるように、膝は正面、足先は後に動かす。膝と足先とで動作方向を反対にしているのは、足を持ち上げた時、膝が自然に曲がった状態にするためである。

一般的な踊りでは手や足を左右交互に動かすことが多くみられることから、吊り上げる手と足の左右を1音ごとに切り替えるようにした。これにより単音を続けて弾いた場合、上半身は両手を交互に振り上げる動きとなり、下半身は足踏み動作を行うことになる。

2) 和音弾きの場合

和音を弾いた場合は、両手または両足をそれぞれ左右反対方向に同時に動かすようにしている。すなわち上半身は肘を曲げて腕を左右に広げた状態（図7中右）、下半身は足を左右に広げた状態（図7右）になる。腕と足の開き角は和音の音程差に応じて決まり、音程差が小さいときは開きを狭く、音程差が1オクターブのときに最大（180度）となるようにしている。

単音で弾くか複音で弾くか、メロディーとハーモニーの音程差をどの程度に取るかはアドリブで容易に

対応できる。すなわち、プレイヤーは演奏しながら人形の踊り方を自由にコントロールすることができる。

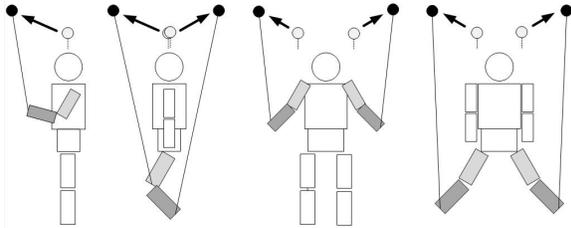


図7 吊り糸端点の水平位置と人形の形状

4.4 打鍵の強弱と人形の動き

糸の端点位置は打鍵する鍵盤によって一意に定まるが、この点は打鍵と同時にこの位置に移動するのではなく、打鍵の強弱（打鍵速度）に対応した速度で移動するようにしている。これにより、演奏者はタッチを介して人形の動きに緩急を付けることができる。

鍵盤を離れた瞬間から糸の吊り点は元の位置に向かって移動を開始する。ただし、通常のピアノ鍵盤では鍵盤の復帰速度は検出できないため、本システムでは打鍵時の速度で戻るようにしている。

4.5 体軸の動き

リズムに合わせて体を揺らすことで、いわゆるノリのある踊り方になる。頭頂部に付けた吊り糸を左右に振らすと首から下の慣性により体軸が左右に揺れることから、これを利用して踊りのノリを実現している。糸を振らせる大きさはランダムに変化させている。

4.6 人形の向き

人形がいつも正面を向いて踊っているのは映像としての面白みに欠ける。そこでここでは演奏データから抽出したコード（和音）に基づいて人形の向きに変化をつけている。コードは12種の円環状のデータなので、方向との対応付けを行うのに都合がよい。また、演奏者は演奏中に任意のコードを選択したり転調を行ったりすることで、演奏しながら人形の向きを変更することが可能である。演奏データからのコードの抽出手法については説明が長くなるため本稿では割愛する。

5. 実験と考察

「イパネマの娘」（トム・ジョービン作曲、1962）のピアノ演奏中の人形画像を図8に示す。この曲はA-B-Aの3部形式である。左手パートは全体を通じて分散和音の単音弾きとなっており、これを反映して、人形はリズムに合わせて左右交互に足踏み動作を行う。

Aの部分の右手パートは短いハネ音で軽快に弾か

れる。人形の動きも鍵盤の動きを反映し、きびきびとした挙動を示す。一方Bの部分の右手はAとは打って変わって、持続和音の連続となる。これを反映し、人形は両手を持ち上げてゆっくり閉じたり開いたりする動作を示す。このように、本システムでは弾き方の変化が人形の踊りに大きな変化を与える。なお、Bにおけるコード進行は音楽的に極めてユニークなものであるが、現時点では人形の踊りには全く反映されていない。この点は早急に改善したいと考えている。

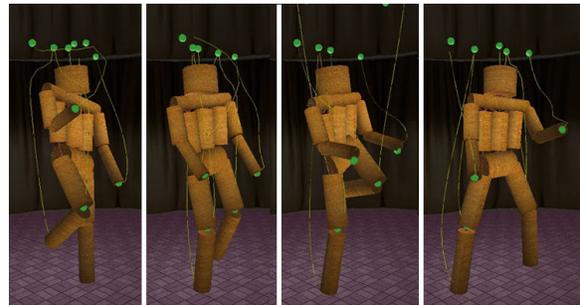


図8 「イパネマの娘」演奏中の人形の踊り

6. 結論

ピアノの演奏に応じて人形の踊りをリアルタイムに生成して表示するシステムを構築した。本システムでは、タッチを変えたり、ハーモニーを付加したり、オクターブの上げ下げといった単純なアドリブを行うことで、演奏しながら、人形を操ることが可能である。

ただし、音楽自体を理解して踊りを生成しているわけではないため、曲想が異なっても弾き方が同じである限り、動き方も同じになってしまうという問題がある。これについては演奏から抽出した和声の種類（例えばマイナーかメジャーか）やコード進行に基づいて動きや踊り方を変える手法を現在検討している。また、プレイヤーの振り付けに対する自由度は多少失われるが、曲想に合わせた基本的な踊りを、弾き方に応じて変化させるような手法も、踊り方のバリエーションを増やす上で有効と考えられる。曲想をいかに抽出するかなどの解決すべき問題は多いが、今後はこの手法の実装手法についても考えていきたい。

参考文献

- 1) 松本英明, 後藤真孝, 村岡洋一: 音楽演奏情報による仮想演奏者のCGアニメーション生成, 情報処理学会 グラフィクスとCAD 研究報告, IPSJ SIG Notes 98(16), pp.11-16 (1998).
- 2) 関口博之, 英保茂: 計算機によるピアノ演奏動作の生成と表示, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.6, pp.2827-2837 (1998).