

# 計算機処理による鍵盤楽器演奏動作の自動生成

4M-4

楠元 佳紀 関口 博之 英保 茂

京都大学 工学研究科 応用システム科学教室

## 1 はじめに

本研究では音符列データと手の形状データのみから鍵盤楽器演奏時の手指動作を生成し、3D-CGによる動画表示を行うシステムの開発を行っている。このシステムは具体的な演奏動作の手本として利用したり、個人の手や動作特性を反映した演奏法の解析などに利用することが考えられる [1][2]。鍵盤演奏の際の指の動きのパターンは無数に存在し、これらを全てテーブル化して動作を生成することは不可能である。そこで手の移動速度や指の姿勢の負担の大きさに着目して演奏動作をモデル化し、これにより最適な打鍵指を選択し、自然な動きを生成する。

## 2 システムの概要

図1にシステムの概略図を示す。演奏動作生成部では鍵盤・手寸法・指の動作特性データをもとに与えられた音符列データに対する手の動作データを生成する。動作データは手の位置・向き・各関節角の計26個のパラメータの時間毎の値である。演奏動作表示部ではこの動作データから、仮想空間内の手と鍵盤オブジェクトによる演奏動作が提示される。

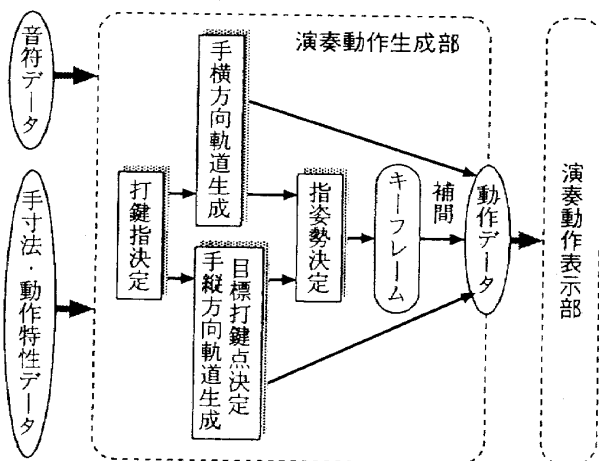


図1: システムの構成・処理の流れ

Automatic Generation Algorithm of the Optimal Hand-Finger Movements in Playing Keyboards  
 Yoshinori Kusumoto, Hiroyuki Sekiguchi, Shigeru Eiho  
 Division of Applied Systems Science,  
 Kyoto University, Gokasho, Uji, 611, Japan

## 3 演奏動作生成

演奏動作生成の処理について以下順に述べる。

### 3.1 打鍵指決定

打鍵指決定の際には打鍵指選択による手・指への負担の差を大まかに比較出来れば良い。この負担をコストとしたグラフの最短経路を求めることで最適な打鍵指選択を行う。図2においてノードaからノードbへの枝は、時刻 $t_1$ の音を親指で弾き、時刻 $t_2$ の音を人指し指で弾くことを表す。このときの手の移動量が $x$ であるとする。この移動量は手が基準姿勢を保ったままの状態であるとして求める。この間手が等速運動すると仮定した時の速さ $|x/(t_2 - t_1)|$ をこの枝のコストに用いる。このように作成されたグラフにおいて、演奏開始時刻のノードから演奏終了時刻のノードに至る最短経路が打鍵指選択結果となる。

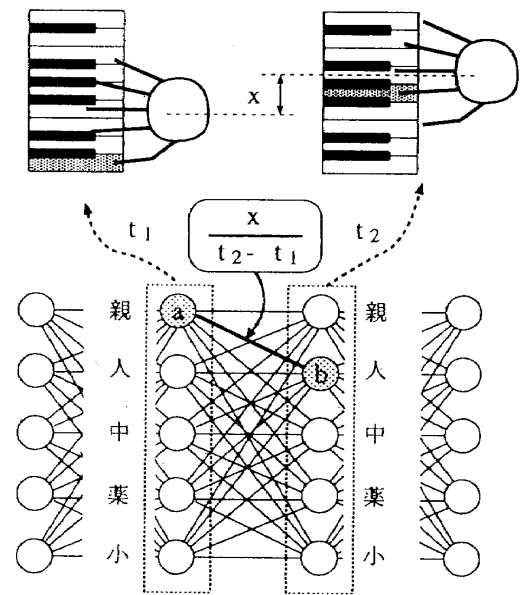


図2: 打鍵指選択グラフ

上で求めた最短経路は指のコストが反映されていない。例えば音が上昇している時、中指から小指への移行は容易であるが人指し指への移行は困難である。このような指の遷移の難易の傾向に従って枝のコストにバイアスをかけることで、必要な箇所では親指への移行(指くぐり)を行うよう指選択が行われる。

### 3.2 手の軌道決定

ある鍵盤を、割り当てられた打鍵指で弾くときには、指開き角の限界角から手の存在すべき範囲が決定する。手の横方向の軌道は、全ての音についての手の存在すべき範囲内を通るよう定めたスプライン曲線として生成する [2]。

ある鍵盤を打鍵する時の手の前後位置の存在範囲は、指ごとに設定したその指の理想打鍵点と鍵盤上の縦方向打鍵可能範囲から定まる。横方向の軌道と同様にして、この範囲内を通るよう手の縦方向の軌道を生成する。これと同時に各音の打鍵点も定まる。

### 3.3 指の姿勢決定

指  $i$  ( $i = 1, 2, 3, 4, 5$ ) の関節角  $j$  ( $j = 0, 1, 2, 3$ ) を  $\theta_{ij}$  とする。 $\theta_{i0}$  は指の開き、そのほかは屈伸に関する関節角である (図 3)。人間の手は構造上の特性から指の姿勢に制約が生じる。各指の運動には独立性が少なく、指を屈曲させたときには各指は内転し、各指を外転したときは指は伸ばされる傾向がある。一つの指のみの外転・内転は困難である。また  $\theta_{i2}$  と  $\theta_{i3}$  については比例して変化する傾向がある。

以上を考慮したうえで、打鍵瞬間の各指の関節角を次のように決定する。まず打鍵指  $i$  の姿勢を決定する。打鍵時の指の基準座標と打鍵目標点は既に求められているが、この条件だけでは打鍵指の全ての関節角は決定できない。そこで次のような評価関数を設定し、これを最小にするという条件を加えて打鍵指の姿勢を決定する。

$$f(\theta_{i2}^*, \theta_{i3}^*) = (\theta_{i2}^* - \theta_{i3}^*)^2$$

$\theta_{ij}^*$  は  $\theta_{ij}$  を 0 から 1 に正規化した値である。非打鍵指は打鍵指に追従するよう姿勢を定められる。まず打鍵指の  $\theta_{i0}^*$  の平均値  $\bar{\theta}_0^*$  を求める。この  $\bar{\theta}_0^*$  をパラメータとして各関節角を次のように定める。

$$\theta_{kj} = b_{kj} \{ \bar{\theta}_0^* \times \theta_{kj}^{\min} + (1 - \bar{\theta}_0^*) \times \theta_{kj}^{\max} \} + (1 - b_{kj}) \rho_{kj}$$

$\theta_{kj}^{\max}, \theta_{kj}^{\min}$  は自然に全指を外転・内転させたときの指  $k$  の関節  $j$  の最大・最小角である。また  $\rho_{kj}$  は基準姿勢での関節角であり、係数  $b_{kj}$  ( $0 \leq b_{kj} \leq 1$ ) の値によりどの程度基準姿勢を保つかが調節される。

このようにして求めた姿勢よりキーフレームを作成する。キーフレームは各音ごとに発音開始・終了と、その前後の指が移動を開始・終了する時刻の 4 箇所において作成し、この間のコマでの姿勢はキーフレーム間の関節角の補間により生成する。

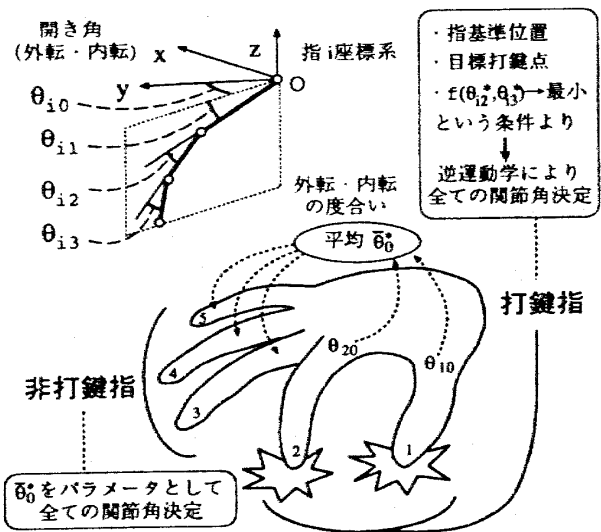


図 3: 指の姿勢決定

## 4 結果

図 4 に演奏動作生成例を示す。適切に打鍵指の割り当てが行われ、必要な箇所では指くぐりも行われた。打鍵していない指も全体の姿勢のバランスをとるように動き、自然な動作が得られた。今後はさらに実演奏に即したモデル化により、自然な動作の生成を目指す。

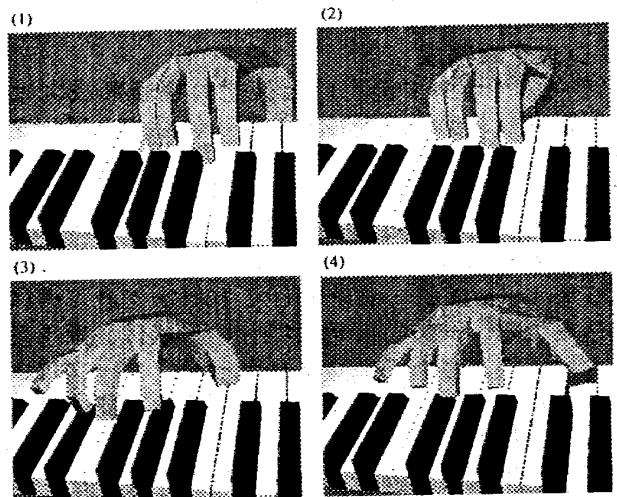


図 4: 動作生成例

## 参考文献

- [1] 関口, 英保: 3D-CG を利用した鍵盤楽器演奏シミュレーション, '97 信学全大 (H9 春期) A-15-31
- [2] 関口, 英保: 計算機処理による理想的な鍵盤楽器演奏動作の生成と表示, 第 55 回情報処理学会全国大会論文集 分冊 2 pp.2-6 ~ 7 (1997).
- [3] 亀井, 佐藤, 片寄, 井口: 実画像の編集と手の 3 次元モデルによる人の動作アニメーションの生成, 情報処理学会論文誌 Vol.36, No.2, pp.374-382, (1995).