

## 間違いの認識による演奏習得支援システムの構築

†尾崎 昭剛, ‡原尾 政輝, 平田 耕一

†九州工業大学大学院情報工学研究科

‡九州工業大学情報工学部

楽曲の演奏を効率的に習得するには、演奏者が演奏上の誤りを正しく認識し、重点的に練習する必要がある。本研究は、演奏現在位置解析の手法を用いてシステムが演奏上の誤りを認識し、ユーザに指摘することで、演奏習得を支援するシステムの構築を目指す。

## Construction of the performance acquisition support system by recognition of a mistake

† Syougo Ozaki, ‡ Masateru Harao, Kouichi Hirata

† Graduate school of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of  
Technology

‡ Faculty of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology

In order to master the performance of a musical piece efficiently, a player needs to recognize the error on a performance correctly and needs to practice it preponderantly. This research is that a system points out the error on a performance to recognition and a user using the technique of performance present position analysis, and aims at construction of the environment which supports performance acquisition.

---

### 1 はじめに

近年の計算機の性能向上と普及は、DTM (DeskTopMusic) といった、実際の音楽が無くとも、机上で自由に作曲や演奏を行える

環境の提供や、逆に、演奏をMIDI信号に変換して計算機で処理できるようにする機材の開発も行われている。特に、誰もが音楽を楽しむことができるよう、機械がより知的に

振る舞い、人間に合わせて演奏を支援するようなシステムの開発が可能となっているが、これまで実用化されているシステムは、カラオケに代表されるように、人間がシステムに合わせる、いわゆる機械主導型のシステムが主流である。そこで、計算機に知的な処理を行わせることにより、より手軽に、より便利に誰もが器楽演奏を楽しめる、器楽演奏の練習環境の整備が求められている。

人間を支援するシステムとしては、演奏に合わせて適切な楽譜を表示する楽譜表示システム[1]、自動伴奏[2-7]といったものから、複数人数での協調的演奏を支援するアンサンブル支援などといったものまで考えられる。

しかし、曲を習得しようとする練習途上のユーザを対象とする際には、これらの支援とは違い、ユーザの演奏を解析して情報を提示する事で、練習の目安を与えるシステムの開発が望まれる。

このようなシステムとしては、演奏の採点機能を導入しているものもあるが[8]、より詳細に、曲のどの部分をどのように間違っただのか、どのようなフレーズを間違いやすいのか、といった情報を解析する事ができれば、ユーザがより効率的に曲演奏を習得できるようになる。

そこで本論文では、以前提案した演奏解析アルゴリズム[9]を応用し、MIDI キーボードを使用して入力される人間の演奏を解析して、演奏の間違った位置を提示する、演奏習得支援システムの構築を目指す。

## 2 演奏支援システムの概要

これまでに、自動伴奏システムが提案されている[2-6]。そこで用いられる一般的な概念ブロック図を図2.1に示す。

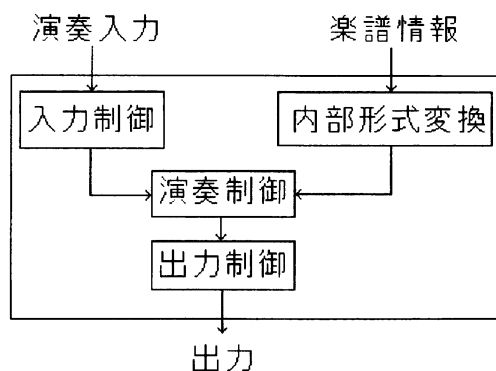


図2.1 演奏習得支援システム概念図

この概念図での処理の処理は以下の4つの手順で行う。

- (1) 楽譜情報は演奏開始前にあらかじめ内部形式変換部で処理に適したデータ形式に変換しておく
- (2) 演奏が開始されたら、ユーザの演奏情報を入力制御部を通して取り込み、その情報を演奏解析部へ送る
- (3) 演奏解析部では、演奏情報と楽譜情報との照合を行い、楽譜上での現在位置を特定する等の演奏解析を行う
- (4) 出力制御部では、解析された演奏情報を基に、楽譜表示や伴奏などの適切な出力を生成する

本研究で提案するシステムも基本的にはこれと同じ方式の下に設計する。ただし、練習過程の演奏では種々の誤りへの対処が重要であり、器楽演奏では和音への対処も問題となる。そのため、次の機能を持つ演奏習得支援システムの開発を目指す。

- ・演奏と楽譜のマッチングを正しく行える
- ・演奏ミスの認識を行える
- ・演奏後に解析結果を楽譜上に投影できる
- ・間違いにも対処できる伴奏を行う

### 3 現在位置解析アルゴリズムを用いた演奏解析

演奏上の誤りを指摘するためには、入力される演奏イベント1つ1つが、楽譜上のどの音符に対応するのかを解析する必要がある。

本システムでは、この演奏解析を、演奏の現在位置解析アルゴリズム[9]を用いて実現している。

演奏現在位置解析アルゴリズムは、演奏が入力されると、その演奏が楽譜上でどの位置に当たるのかを解析する手法である。本システムでは、その解析結果から、音符1個単位での演奏と楽譜の対応付けを行う。

#### 3-1. 従来の手法

演奏の、楽譜上の現在位置を解析するアルゴリズムとして、伴奏システムのために DP マッチングを用いた方法が考案されているが[2]。この方法では、和音の扱いが難しく、また、間違いが多いと誤認識を起こす、という問題があった。和音の扱いも研究されているが[3]。誤認識を起こすと、この方式では正しい演奏位置への復帰は不可能であることから、間違いの少ない演奏者向けであると言える。

そこで、間違いの多い演奏者への支援のための現在位置解析アルゴリズムとして、楽譜をある間隔に区切り、その区分の中を、順番を考慮しない音符の集合とみなす、という区分充填法を提案した[1]。

しかしこの方法は、和音の問題は解決できたが、演奏者がどの程度の間違いを犯すかを想定しなくてはならず、設定と実際の演奏の間違いがずれると、精度が悪くなるという特性があった。

そこで、本研究では、セル空間上に楽譜、演奏データを展開して解析を行う。間違いに対処でき、精度の高い現在位置解析アルゴリズムを考案した。

#### 3-2 楽譜のセル空間による表現

セル空間は2次元の格子配列である。楽譜や演奏データを、横軸を時間、縦軸を音の高さとして、セル空間上で表現する(図3. 1)。楽譜や演奏データを展開する際、音の長さは無視して、楽譜上の発音時刻のみに着目することで、リズム、テンポが不安定になりがちなユーザの演奏にも対応している。例えば、楽譜上のト音記号部を見てみると、最初のレの音がセル平面上部の(1, 1)と対応し、以下、ソ、ラ、シ、ドと進んでいくと、時間(横軸)が一律にずれていって、高さ(縦軸)が楽譜と対応する部分、すなわち(2, 8)(3, 6)(4, 4)(5, 3)のセルと対応していく。また、ヘ音記号部では、最初の和音ソ、シ、レの3つの音がセル平面下部の第1列に、つまり同時刻の部分にプロットされている。このように、本方式では、和音が容易に扱えることが分かる。

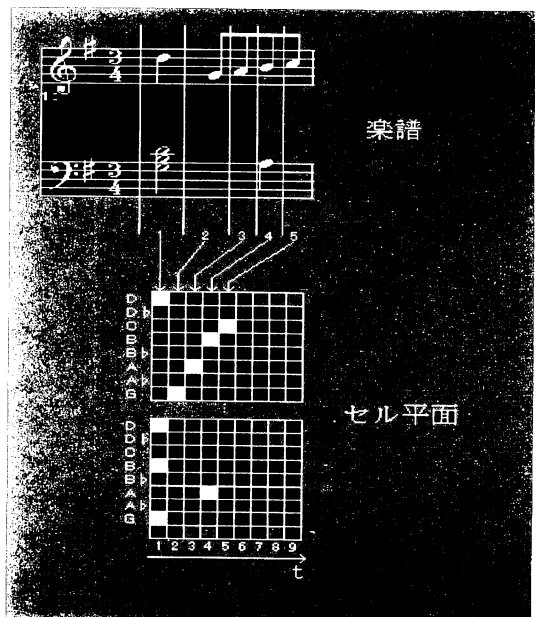


図3. 1 楽譜のセル空間への展開

演奏データを展開する場合は、演奏の時間的なずれがあることから、楽譜のように、一

律に発音時刻で区切ることができないが、テンポ四分音符 = 120 で連続した32部音符 (62.5ms) を区別する事を可能とするために、50msの時間幅で区切ることにより、セル平面に展開している。

### 3-3 現在位置解析アルゴリズム

現在位置の解析は、楽譜セル平面と演奏セル平面のマッチングによって行われる。概念的には、2つのセル平面を重ね合わせ、それぞれの平面状の音符同士が重なっているかどうかを調べていく (図3.2)。そして、平面を時間的 (横軸方向) にずらして、音符同士の重なりを最も多い時間を探していく。このような方法で、演奏が間違っていた場合にも、演奏の正しい部分と楽譜のマッチングの最も多い部分を探す事で、正しい現在位置を解析するようにしている。

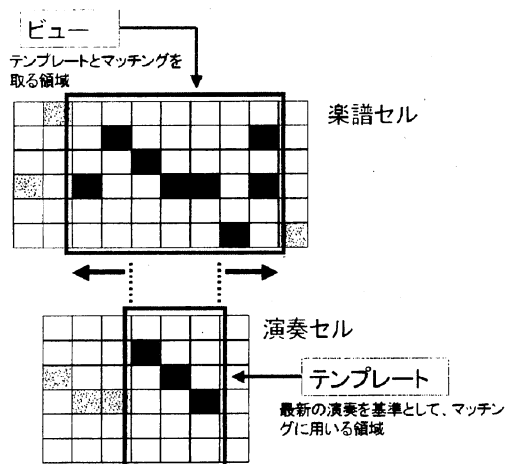


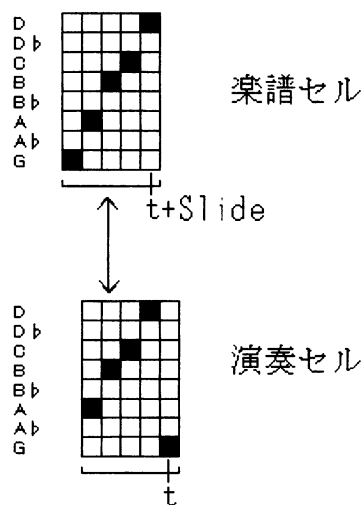
図3.2 楽譜と演奏の比較

具体的には、演奏セルの最新の演奏イベント  $n$  個からなるテンプレートと、楽譜セルの最新解析位置を基準として、 $m$  列のビューを用いる (図3.4)。そして、このテンプレートをビューの内部で時間的 (横軸方向) にずらして、音符同士が最もマッチする時刻を探す。このような方法で、演奏が間違っていた場合にも、演奏と楽譜の最もマッチする音

が多い部分を探す事で、正しい現在位置として認識する。また、最も良いマッチングができた時のテンプレートとビューの基準時刻の時間差、つまり、解析時の時間補正を Slide とする。

- (1) 新しい演奏が演奏セル時間  $t$  に入ってくる
- (2) 演奏セル側でマッチングに用いるのは最新のビューに含まれるセル
- (3) (2) のビューと、楽譜セルの時間  $t + \text{Slide}$  を基準としたテンプレートでマッチングを行う (図3.3)
- (4) (2) の演奏セルと、楽譜セル上のテンプレートの範囲内で、マッチングを行う (図3.4は時間  $t + \text{Slide} - 1$  を基準としたテンプレート長5の場合)
- (5) 最適なマッチングが得られた位置を、新しい Slide として更新

(図3.5では、+1の位置に Slide を更新)



マッチングした音の数: 0

図3.3 セル同士のマッチング1

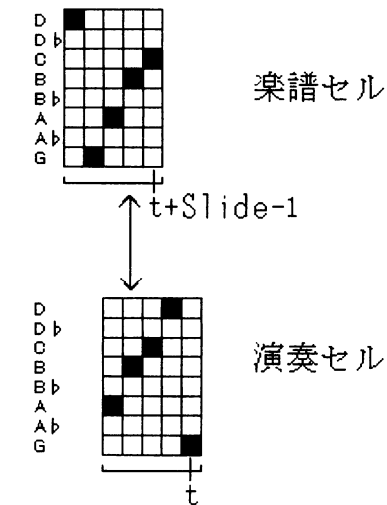


図3. 4 セル同士のマッチング2

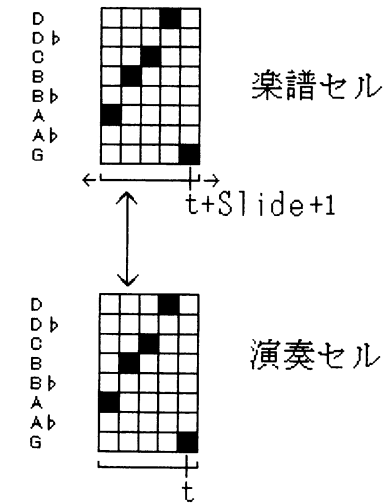


図3. 5 セル同士のマッチング3

### 3-4. 演奏イベントの楽譜への割当

前節で述べたアルゴリズムにより、マッチングが取れる場合は演奏イベント1つ1つに対して、楽譜上の現在位置が確定する。

しかし、楽譜通りに演奏されていない場合には、現在位置の割当ができない。本システ

ムでは、このようなイベントを「演奏ミス」として扱っている。

## 4 実装, 実験結果

### 4-1 システムの実装

以前開発した楽譜表示システム[1]を拡張する事で、図.4.1のようなシステムを実装した。

本システムは、楽譜、演奏情報を、音符、ピアノロールウィンドウの2つの手法で視覚的に演奏情報を掘めるように表示する。

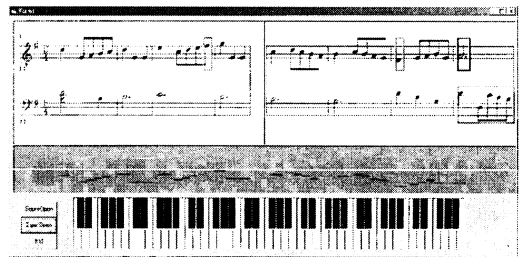


図4. 1 システムの実行画面

### 4-2 実験結果

「バッハ ピアノ小品集(全音楽譜出版社)」の前半6曲を用いて、次の条件で実験を行った。

- ・ 演奏入力はコンピュータで行う
- ・ 全演奏イベントに対して15%の割合で演奏ミスが発生
- ・ テンプレート幅、ビュー幅を変化させ、演奏の楽譜への割当て、どの程度誤認識が起きるか調べる

また、この実験では演奏ミスとして、

- ・ 音抜け (楽譜上の音が演奏されない)
- ・ 音追加 (楽譜上に無い音が演奏される)
- ・ 音間違い (楽譜上の音の前後の音が演奏される)
- ・ 演奏順序変更 (楽譜上の前後の音が演奏される)

という4つを等確率で発生させた。

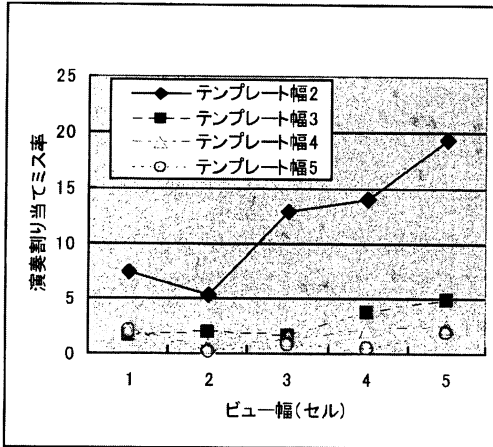


図4. 2 演奏に対する楽譜への割当ミス率の推移

#### 4-3 考察

テンプレート幅が広がることで、マッチングに用いる演奏イベント数が増加し、正確な割当ができています。

しかし、ビュー幅が広がると、一度はミス率が低下するものの、それ以降、ミス率が増加する傾向がある。これは、楽譜上での検索範囲が広がることで、近隣の類似したフレーズと誤認識されているためである。

また、割当ミス率が最小となるビュー幅は、テンプレート幅、曲によって異なってくるために、今後は、使用する前に最適な設定を自動的に検索するような技法が有効であると思われる。

#### 5 まとめ

本論文ではセル空間を使った効率的なアルゴリズムを用い、演奏習得支援システムへ実装した。現在位置解析アルゴリズムにより、誤認識1%未満という、高精度の演奏イベントの楽譜への割当が実現できたことから、誤りの認識が行えることが確認できた。

今後は、このアルゴリズムを基に、リズムの認識（時間的ずれの認識）、伴奏部分は実装を目指していきたい。

#### 参考文献

- [1] 尾崎昭剛, 平田耕一, 原尾政輝: 自動追従型楽譜表示システムに関する研究, 平成 13 年度電気関係学会九州支部連合大会 (第 54 回連合大会) 講演論文集, pp537, 2001
- [2] R.B.Dannenberg: An On-Line Algorithm for Real-Time Accompaniment. Proc.of ICMC, pp.193-198, 1984
- [3] Bloch, J.J. and Dannenberg, T.B.: Real-Time Computer Accompaniment of Keyboard Performances. In Proc. Of ICMC, pp.279-289, 1985
- [4] B.Vercoe: The synthetic performer in the context of live performance. Proc of ICMC, pp.199-200, 1984
- [5] 日高 伊佐夫, 後藤 真孝, 村岡 洋一: ジャズの独奏の変化に対応する自動伴奏システム, 情報処理学会 音楽情報科学研究会 研究報告 95-MUS-9-2, Vol.95, No.19, February 1995.
- [6] 堀内靖雄, スパワリークリッサダー, 田中徳積: 伴奏者の自主性を考慮した自動伴奏システム, 情報処理学会第 4 4 回全国大会講演論文集, pp.1,405-1,406, 1992
- [7] 後藤真孝, 日高伊佐夫, 松本英明, 黒田洋介, 村岡洋一, : すべてのプレーヤーが対等なジャズセッションシステム I, システムの全体構想と分散環境での実装, 情報処理学会研究報告, 96-MUS-14, Vol.96, No.19, pp.21-28, 1996
- [8] YAMAHA: ネットでひいチャオ, <http://www.music-eclub.com/ciao/>
- [9] 尾崎昭剛, 原尾政輝, 平田耕一: 演奏習得支援システムのための効率的な演奏現在位置解析アルゴリズム, エンタテインメントコンピューティング 2003 論文集, pp.41-46, 2003