

## 2G-08 実時間制御技術としての協調演奏システム\*

塩 雅之<sup>†</sup> 五十嵐 滋<sup>†</sup> 水谷 哲也<sup>†</sup> 國広 竜徳<sup>‡</sup> 永田 恵典<sup>‡</sup> 船田 宏聡<sup>‡</sup>  
山下 慎一郎<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>筑波大学 電子・情報工学系 <sup>‡</sup>筑波大学 第三学群 情報学類

### 1 はじめに

我々筑波大学人工知能研究室では15年以上にわたってPSYPHEと呼ばれる音楽情報処理研究を行ってきた。本論文ではPSYPHEプロジェクト[4]で行なわれている、人間と協調することで表情豊かな芸術的な演奏を行う協調演奏システムについて述べる。はじめに基本となるシステムについて述べ、それを応用したシステムとして、当研究室で開発されたドラム伴奏システム[3]、部分的な演奏に基づいて演奏を制御するシステム(これを「花摘み演奏システム」と呼ぶ)[1]、MIDI鍵盤を用いた速度・音量制御システムを紹介する。また、今後の開発環境の整備として、現在作成中のクラスライブラリについて述べる。

### 2 協調演奏システム

協調演奏システムでは、MIDI楽器で演奏された人間の演奏に対して、計算機が実時間で反応し演奏を合わせるという形で制御が行われる。プログラムは、出力部、入力部、タイマーに大きく分けられる。出力部と入力部が演奏終了時まで交互に繰り返され、タイマーは割り込み処理により実現している。

- 出力部  
タイマーが、次のMIDIイベントの出力予定時刻以上であればMIDIイベントを出力する。
- 入力部  
MIDI入力ポートに入力があった場合、一つのMIDIイベント分のデータを読み込む。
- タイマー  
タイマーの値を、割り込み処理により一定時間(ここでは4[ms])ごとにカウントアップする。

出力部、入力部ともに、必要であればその時点のタイマーの値をタイムスタンプとして記録する。また、次のイベントの時刻の計算が必要である場合はその計算も行う。ただし、出力部、入力部は交互に繰り返されるため、画面出力等の時間のかかる処理を追加することは追従性を下げる可能性がある。この件については、我々の研究グループで、実時間プログラム検証体系であるTence Arithmeticを用いて後述のドラム伴奏システムについて解析・検証を行っている。[2]

#### 2.1 ドラム伴奏システム

演奏者の演奏に合わせて計算機がドラム伴奏を追従させるシステムである。演奏者の演奏する曲の楽譜は用いないが、演奏する曲の拍子に合わせて、伴奏に使用する繰り返しのパターンを用意する。

演奏されている曲の拍を認識し、次の拍にあたる時刻よりも早く演奏者の打が早く来た場合は速度を上げ、逆に遅く来た場合は速度を落とすという考えに基づいて構成されている。認識した拍から演奏者の演奏する曲のテンポを計算測し、あらかじめ用意してある伴奏データの出力時間を計算して出力する。出力部で次拍の出力予想時刻の計算、入力部で拍の認識、次拍の予想時刻の修正を行う。

拍の認識には、人間の演奏の伴奏部分の音を用いる。ウインドウ(次の拍の予想時刻 $t$ に対して $[t-w, t+w]$ )内に最初に演奏された音を拍として認識する。ウインドウ内にトリガ情報が無かった場合には予想時刻ちょうどに音があったものとして判断する。ウインドウの幅( $w$ )については、前の拍の長さの $1/6$ とした。これは、演奏する曲の最も短い音符を16分音符としたときに、拍の直前の音と拍とを誤認するのを防ぐためである。

拍の予想時刻の計算は、現在の拍間隔とそれ以前の拍間隔を用いて行う。拍間隔を最新のものから古いものに向かって順に $p_0, p_1, p_2, \dots$ としたときに、 $\frac{p_1+p_0}{2}$ ,  $\frac{2p_1+p_0}{3}$ ,  $p_0 \times \frac{p_1+p_0}{p_2+p_1}$ 等のいろいろな計算方法が考えられるが、それを演奏される曲の拍子や、拍の変動によって使い分け、よりよく追従するシステムを目指している。

\*Automated Accompaniment Systems as a Realtime Control Technique

<sup>†</sup>Masayuki Shio, Shigeru Igarashi, Tetsuya Mizutani, Institute of Information Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-0006, Japan

<sup>‡</sup>Tatsuhiko Kunihiro, Keisuke Nagata, Hiroaki Funata, Shinichiro Yamashita, College of Information Sciences, Third Cluster of Colleges, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-0006, Japan

## 2.2 花摘み演奏システム

曲の任意のパートを、もしくはパートの一部分を局所的に人間が演奏することによって、人間が弾かなかったパートを含め、全パートを計算機によって演奏させるシステムである。人間が演奏した部分の局所速度、タイミング、音量等からその後の音の出力を計算し、人間が演奏した部分に合わせた演奏を行う。これにより、あるパートしか演奏できない人があたかも自分で全パートを演奏しているように演奏を楽しむことや、連弾の曲を一人で弾くこともできる。花摘み演奏システムでは演奏計画と呼ばれる楽譜と演奏する予定の時刻を合わせたデータを用意する。

入力部では、演奏された音が楽譜上のどの音であるか、演奏計画の現在演奏が行なわれている付近のある範囲を検索する。この操作をマッチングという。マッチングがとれた音の局所速度、タイミング、音量ずれ等から、今後の演奏計画を変更していく。

## 2.3 MIDI 鍵盤速度・音量制御システム

MIDI 鍵盤を用いて、実際に演奏を行うことができない人でも、速度や音量を制御することにより表情豊かな芸術的演奏ができるシステムである。MIDI 鍵盤を用いる利点として、制御に用いるための分割数(鍵盤数)が多いことや、任意の鍵を押すことで突然の変化に対応でき、なおかつグリッサンドの技法により鍵を連続的に押すことでなめらかな変化にも対応できることがあげられる。以下のシステムを開発した。

### ● 二段鍵盤システム

MIDI 鍵盤 2 台を用いて速度と音量を制御するシステムである。片方の鍵盤を速度の制御に、他方の鍵盤を音量の制御に使用する。

入力部では、入力された鍵盤の音高をもとに次音からの速度、音量を計算する。

出力部では、入力部で得られた速度・音量を基に次音の出力時刻を計算する。

### ● 一段鍵盤システム

二段鍵盤システムを MIDI 鍵盤 1 台でも制御できるように、

- ・ 鍵の半分づつを速度・音量の制御に用いる
  - ・ 音量の強さは打鍵の強さで制御する
- 等のインターフェイスの変更を行った。

また、スフォルツァンドのようにその音だけ音量を変化させるような制御をするためにキーボードの一部をそのために割り当てる改良を行った。

さらに、楽曲構造間の際のタイミングを演奏者の指示があるまで停止して待つようなシステムも作成

されている。このシステムを上記システムに組み込むことにより、声楽の伴奏システムとして利用することも可能である。

## 3 開発環境の整備

当研究室では過去に多くの自動演奏システム・協調演奏システムなどが作られてきたが、それらのうち、多くのプログラムが個別に作られているために共通のライブラリといった形での利用ができず、拡張・再利用が難しいといった問題がある。そこで、より効率的に開発を進めるために、これらの問題の解決を提供するオブジェクト指向を用いた共有資源、クラスライブラリの作成を提案する。本研究ではその準備段階として、より汎用性のある MIDI インターフェイスの制御を行うクラス及び実時間処理において重要なファクターであるタイマーの高精度での取得・利用を行うクラスの開発を行った。MIDI デバイス制御クラスは、認識されている使用可能な MIDI デバイスの列挙、選択されたデバイスのオープン・クローズ、デバイスを介した MIDI メッセージの送受信等の機能を実装する。タイマー制御クラスは、精度の取得、タイマーの開始・終了、タイマーによるコールバック関数の呼び出し、仮想関数による導出クラスへのタイマーの提供等の機能を実装する。

## 4 まとめ

実時間制御技術としての協調演奏システムについて述べ、具体的なアプリケーションを紹介した。また、開発環境の整備として、現在作成中のクラスライブラリを提案した。本論文では演奏を出力する楽器には MIDI シンセサイザによるものを想定しているが、MIDI アコースティックピアノの発音に 0.5[s] の遅れを伴うものの制御をする研究も行っている。その場合、遅れを考慮した制御になるため、より高度な予測が必要となる。

## 参考文献

- [1] 五十嵐滋, 辻尚史, 千葉大春, 松下昌弘, 小川大典, 彌富あかね, 清野桂子: 演奏表情の表現と重奏システムへの応用, 第 36 回プログラミング・シンポジウム報告集 (1995), pp. 47-56.
- [2] 五十嵐滋, 水谷哲也, 塩雅之: Tense Arithmetic による実時間知的プログラムの解析 1999 年度応用数学 合同研究会報告集 (1999), pp. 43-46.
- [3] 小野秀行, 五十嵐滋: 打楽器演奏の解析とその応用 - 計算機重奏システムへの応用, 情報処理学会第 50 回 (平成 7 年前期) 全国大会講演論文集 (1995), 第 1 分冊, pp. 357-358.
- [4] Hiraga, R. and Igarashi, S.: Psyche: Computer Music Project, University of Tsukuba, *International Computer Music Conference* (1997), pp. 297-300.