

複数の人間と協調して演奏するシステム

A Performance System Cooperating with Several Human Players

20-6

藤井 敦 堀内 靖雄 田中 穂積
Atsushi Fujii Yasuo Horiuchi Hozumi Tanaka

東京工業大学
Tokyo Institute of Technology

In this paper we introduce a performance system which can play with several live (human) players. Normally, it is impossible for the system to adjust its tempo to all human players, as there are natural differences in timing for each human player. In order to create a natural-sounding ensemble, we introduce the "independence rate" and the "time of the ensemble." The "independence rate" is a weight corresponding to the musical importance of each player, including the system itself. When the system's "independence rate" is high, it can perform independently of the human players. The "time of the ensemble" is the average of the times of each player (including the system) weighted by the "independence rate." The system changes its tempo dynamically in order to match its time to the "time of the ensemble." Thus, the system is able to create a more natural-sounding ensemble with several human players.

1 はじめに

本研究で我々は、複数の人間のライブ演奏者と協調して演奏する新しい演奏システムを提案する。一人の人間に合わせて伴奏を行なうものは、伴奏システムとしてすでに研究されている [1, 2]。しかし複数の人間と一緒に演奏を行なうシステムの研究はほとんど行なわれておらず、従来のシステム [3] では、複数の演奏者の中で最も重要であると思われる演奏者一人を決定し、その演奏者のみに合わせる (本質的には伴奏システムと同じ) 演奏しか行なえなかった。一般に、複数の人間の演奏には、ずれが生じている。良いアンサンブルを実現するためにはアンサンブルをリードしている演奏者に合わせるのと同時に、それ以外の全ての演奏者の演奏も考慮すべきである。また曲の音楽的な状況によっては、システムがメロディーを演奏し、他の演奏者をリードすべき状況も起こり得る。このような状況では従来のように単に人間の演奏者に追従するだけでは不十分であり、システムが自主

的な演奏を行なうことが望ましい。そこで、本研究ではこれらの問題点を解決するために「独立度」「アンサンブルの演奏時刻」の考え [4] を導入する。

「独立度」とは、各演奏者のアンサンブルにおける重要性和定義する。これは、演奏するメロディーラインなどによって決定され、システムには自分を含むすべての演奏者ごとの独立度があらかじめ与えられている。独立度は一曲を通して常に同じではなく楽譜上の位置によってそれぞれ異なる値をとる。アンサンブル全体をリードする演奏者は独立度が高く、システムの演奏に与える影響が大きい。それに対して、独立度の低い演奏者はシステムに与える影響が少ないが、システムに完全に無視されることはない。また、システムの独立度が人間の演奏者よりも高い場合、システムは自主的な演奏を行う。

各演奏者のずれのある演奏時刻をそれぞれの独立度に応じて考慮し、アンサンブル全体のつり合いのとれた演奏時刻を計算する。これを「アンサンブルの演奏時刻」と呼ぶ。これは独立度の高い

演奏者のものに近づく。システムは自分自身の演奏時刻をアンサンブルの演奏時刻に揃えるようにテンポを制御する。またシステムの独立度が高い場合、アンサンブルの演奏時刻はシステムの演奏時刻に近づくため、他の演奏者の影響をあまり受けずに自主的な演奏を行なえる。

以上の方法によって、複数の人間の演奏すべてを考慮した自然なアンサンブルを行なえるシステムを実現した。

2 システムの構成

システムは二つのモジュール Listener 部と Performer 部から成る。Listener 部には、すべての人間の演奏者の楽譜情報が与えられており、複数の人間の演奏 (MIDI 信号) を入力とし、それぞれの演奏者が楽譜上のどの位置を演奏しているのかを追跡し、その情報を Performer 部に出力する。このとき通信には MIDI 信号を用いている。Performer 部にはあらかじめシステムのパートの楽譜情報、演奏プラン及び各演奏者の独立度を与えておく。そしてこれらの情報と Listener 部から送られる人間の演奏者の演奏情報を用いてシステムの演奏を決定し MIDI 信号として出力する。人間の演奏者が二人の場合のシステム構成を図 1 に示す。

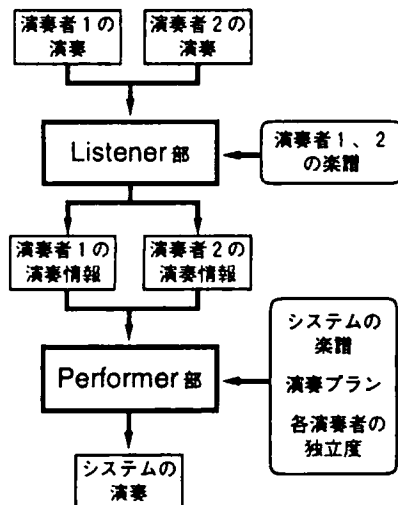


図 1: システム構成

3 Listener 部

Listener 部には、各演奏者の演奏 (MIDI 信号) がマージされて1つの信号として入力される。本システムでは、その中の Note On 信号のみを用いている。Note On 信号は Note On であることを示すステータス、演奏された音符の音程を表すノートナンバー、音量を表すヴェロシティから成る。またステータスには MIDI のチャンネル番号が含まれており、このチャンネル番号によって各演奏者の演奏を識別する。そこで Listener 部は、チャンネル番号、ノートナンバー及び MIDI 信号が送られてきた時刻を用いて、各演奏者がどの時刻に楽譜上のどの位置を演奏しているのかを追跡する。このとき、人間の演奏者のテンポ揺らぎによる非線形な時間軸の伸縮や演奏ミスなどを許容しながら人間の演奏を追跡するために、音声認識などに用いられる DP マッチングをリアルタイムに適応している [5, 6]。そして抽出した情報を演奏の確からしさを示すマッチングのスコアとともに Performer 部に送る。

4 Performer 部

Performer 部には、システムの楽譜情報、演奏プラン、独立度があらかじめ与えられている。これらの情報と Listener 部から送られる各演奏者の演奏情報を用いてアンサンブルの演奏時刻を計算し、システムの演奏をその時刻に揃えるようテンポを動的に変化させながら演奏を行なう。

4.1 演奏プラン

「演奏プラン」とは、システムにあらかじめ与えておくもので、これにはテンポのゆらぎ、ダイナミクス変化などの音楽表現のための情報が含まれている。人間の演奏者の影響をあまり受けない (システムが自主的な演奏を行なう) 場合には、システムは演奏プランに従って演奏を行なう。

4.2 独立度

「独立度」とは、各演奏者のアンサンブルにおける重要性を表す尺度と定義する。先ほども述べたように複数の人間の演奏には、ずれが生じる。

そのためシステムの演奏をすべての演奏者の演奏に完全に揃えることは不可能である。そこで、システムは各演奏者の演奏をこの独立度に応じて考慮し、システムの演奏を制御する。独立度は次の二つの要因から決定する。

(1) 静的な独立度

各演奏者の独立度は演奏する曲の楽譜情報から、あらかじめ決定してシステムに与えておく(メロディーを演奏するパートは伴奏パートよりも高く、細かい音符を演奏するパートは長い音符を演奏するパートよりも高くするなど)。独立度は一曲を通して一定ではなく、楽譜時間の関数である。

(2) 演奏の確からしさ

システムは基本的にはあらかじめ与えられた独立度を参照しながら演奏を行なう。しかし実際の演奏において、人間の演奏者は演奏ミスをする事が考えられる。このときは、そのミスによってシステムの演奏が不安定にならないように、ミスをした演奏者の独立度を、再び正しい演奏が行なわれるまで動的に低くする。

独立度の決定方法を表1に示す。

表1: 独立度の決定

低い	⇔	高い
伴奏		メロディー
長い音符		細かい音符
休み	静的に設定	一人で演奏
演奏ミス	動的に変化	正しい演奏

4.3 アンサンブルの演奏時刻によるテンポ制御

人間同士の演奏のずれのために、楽譜上では同時に演奏されるべき音符が各演奏者ごとに異なる時刻に演奏される。そこで全てのパート(人間とシステム)の間のつり合いのとれた演奏時刻を考え、これを「アンサンブルの演奏時刻」と呼ぶ。具体的には、各演奏者の演奏時刻を独立度で重み付けして、その平均を計算する。

n人の人間の演奏者とシステムとのアンサンブルを考える。各演奏者の番号を1~nとし、システムをn+1とする。システムが今、拍時刻S-1にいるとしたとき拍時刻Sを演奏する場合のテンポ決定について説明する。拍時刻Sにおけるアンサンブルの演奏時刻は、各演奏者の演奏時刻が独立度に応じて反映され、式(1)で定義される。

$$T_{ens}(S) = \frac{\sum_{i=1}^{n+1} Indep_i(S)T_i(S)}{\sum_{j=1}^{n+1} Indep_j(S)} \quad (1)$$

$Indep_i(S)$, $T_i(S)$ はそれぞれ拍時刻Sにおける演奏者iの独立度及び予測演奏時刻を表す。人間の演奏者の予測演奏時刻は、各演奏者の過去の演奏から予測によって求める。またシステムの予測演奏時刻 $T_{n+1}(S)$ とは、演奏プランに従って演奏した場合の演奏時刻である。 $T_{ens}(S)$ とS-1のシステムの演奏時刻 $T_{n+1}(S-1)$ を用いることで、システムのSにおける演奏テンポ $V_{n+1}(S)$ を式(2)のように決定することができる。

$$V_{n+1}(S) = \frac{1}{T_{ens}(S) - T_{n+1}(S-1)} \quad (2)$$

この様子を図2に示す。ここでは人間を二人としているが三人以上の場合も同様である。

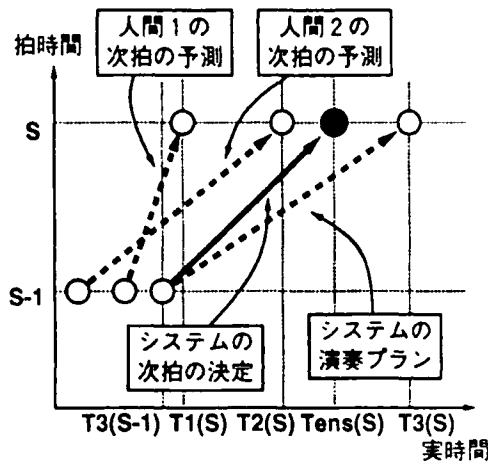


図2: アンサンブルの演奏時刻によるテンポ制御

式(1)からわかるようにアンサンブルの演奏時刻は独立度の高い演奏者の予測演奏時刻に、より近づく。またシステムの独立度が高い場合は、ア

ンサンプルの演奏時刻は $T_{n+1}(S)$ に、より近づくためシステムは演奏プランに従って自主的な演奏を行なう。もしシステム以外の演奏者の独立度がすべて0ならば、システムは他の演奏者の影響を全く受けずに独立した演奏を行なうことができる。

4.4 テンポ制御の例外

アンサンプルの演奏時刻によるテンポ制御について述べたが、ここではそれ以外の例外的な状況について考える。

(1) システムがアンサンプルの演奏時刻を越えている場合

独立度が高い演奏者が急にテンポを速くするなどして、計算によって求めたアンサンプルの演奏時刻がシステムの演奏時刻よりも小さな値になってしまうことがある。このとき式(2)に従って計算すると、テンポがマイナスになってしまう。そこでこのような場合は、他の演奏者の演奏が進み、アンサンプルの演奏時刻がシステムの演奏時刻を越えるまで、システムは演奏を待つ。

(2) 縦の線を揃える場合

曲によっては、楽譜上のある位置ですべてのパートの演奏位置(縦の線)を揃えたい場合がある。このときシステムが飛び出したり遅れたりしないようにする必要がある。そこで、システムの演奏が進んでいる場合は、他の演奏者が揃える音符を演奏するまで待ち、逆にシステムの演奏が遅れている場合は演奏位置を先へジャンプさせて揃える。しかし、すべての人間の演奏者と縦の線を揃えることは不可能なので、揃えるべき位置に最初に到達した演奏者に合わせて(厳密にはその直後に)出力する。

5 おわりに

本研究では、伴奏システム[4]の「独立度」「アンサンプルの演奏時刻」の考えを拡張することにより、複数の人間の演奏者と自然なアンサンブルを行なう方法を提案した。また、この方法を用いたシステムを Listener 部、Performer 部に相当する二台の Macintosh 上にインプリメントした。二

台の MIDI キーボードを入力として、二人の人間の演奏者との自然なアンサンブルを行なうことができた。本研究では人間の演奏者のテンポ変化のみを考慮しているが、今後はダイナミクスの変化などを考慮する方法やシステムの評価法についても考える予定である。

参考文献

- [1] Roger B. Dannenberg. An On-Line Algorithm for Real-Time Accompaniment. In *Proceedings of International Computer Music Conference*, pp. 193-198, 1984.
- [2] Barry Vercoe. THE SYNTHETIC PERFORMER IN THE CONTEXT OF LIVE PERFORMANCE. In *Proceedings of International Computer Music Conference*, pp. 199-200, 1984.
- [3] Bridget Baird. The Artificially Intelligent Computer Performer and Parallel Processing. In *Proceedings of International Computer Music Conference*, pp. 340-343, 1991.
- [4] Yasuo Horiuchi and Tanaka Hozumi. A Computer Accompaniment System Considering the Independence of the Accompanist. In *Proceedings presented at the International Computer Music Conference*, 1993.
- [5] 堀内靖雄. 知的自動伴奏システムに関する研究. Master's thesis, Tokyo Institute of Technology, February 1992.
- [6] Krisda Supawaree. リアルタイム DP マッチングを用いた演奏者情報の抽出. 東京工業大学工学部 卒業論文, February 1992.