

6U-4

伴奏者の自主性を考慮した自動伴奏システム*

— テンポ感と依存度を利用した伴奏制御 —

堀内 靖雄 スパワリー クリッサダー 田中 穂積[†](東京工業大学 工学部)[†]

1 はじめに

自動伴奏システムとは独奏者の演奏をリアルタイムで追跡し、その演奏に追従して伴奏パートを演奏するシステムである[1, 2, 3]。従来の自動伴奏システムの研究では、独奏者の演奏を追跡することに主眼がおかれていたため、実際に出力される伴奏パートの演奏の質はあまり考慮されていなかった。また伴奏は常に独奏者の演奏に追従して行なわれるため独奏者駆動型の伴奏となり、不自然な演奏になることが多かった。そこで本研究では、これらの問題点を改善し、アンサンブルの質の向上を目指すために、伴奏者の自主性を自動伴奏システムに導入し、そのモデル化を試みた。そこでまず(1)自動伴奏システムに独奏者と伴奏者のテンポ感を導入し、両者のテンポ感の相互作用に基づいて伴奏パートの演奏テンポを変化させ、自然な伴奏を行なえるようにした。次に(2)独奏者と伴奏者との依存関係を用いて伴奏を制御することにより、独奏者の演奏に影響され過ぎて不自然な演奏になることを避け、システムが自主的な演奏を行なえるようにした。

2 自主性を持つ自動伴奏システム

コンピュータで機械的に独奏者の演奏に合わせて演奏するだけでは人間の伴奏者の行なっているような優れた演奏はできないように思われる。人間同士のアンサンブルでは、お互いにまったく同じテンポで演奏するというのではなく、合わせるべきところはきちんと縦の線を揃えて演奏するが、それ以外は各自の持っているテンポ感に従って演奏を行ない、そのテンポ感がずれた時にお互いにそのずれを動的に修正すると考えられる。このように独奏者と伴奏者による演奏では、両者のテンポ感が相互に影響を及ぼし協調しながら演奏を行なう。そのため自動伴奏システムは、ただ単に独奏者に追従して演奏をするのではなく、独奏者との相互作用を考慮に入れ、システム内部に自分のテンポ感を持って演奏しなければ自然な伴奏を行なうことは難しい。そこで本研究では、自動伴奏システム内に独奏者のテンポ感と伴奏者のテンポ感を持たせ、伴奏者のテンポ感を独奏者のテンポ感の変化に従って動的に変化させていくことにより自然で人間的な伴奏を行なえるようにする。

また人間の良い伴奏者は独奏者に合わせて演奏できるということも言うまでもないが、さらに伴奏者自身も優れた音楽性を持ち音楽的に素晴らしい演奏をすることができる。独奏者と伴奏者による演奏では、全体的には独奏者が演奏の中心となるが、時として伴奏者が中心となりメロディを演奏し、独奏者がそれを伴奏するようなこともある。そのような時、人間の伴奏者ならば独奏者をリードし、伴奏者なりの演奏をすることができる。このような伴奏者をコンピュータで実現するためには、独奏者の演奏に追従するばかりでなく、状況に応じて独奏者をリードしながら演奏する能力も必要となる。もしこのように自主的に演奏する能力を持たないと、独奏者が伴奏者に合わせて演奏しようとしているときでも、伴奏者も独奏者に合わせようとするために両者の相互作用により演奏が発散し、アンサンブルが崩壊してしまう恐れがある。そこで伴奏者の演奏を独奏者の

演奏に比べてどの程度独立して演奏させるかという尺度として伴奏者の独奏者に対する依存度を導入することにより伴奏者の自主性を表現する。例えば独奏者がメロディを演奏する時は依存度を高くし、システムは独奏者のテンポ感に自分のテンポ感を近づけて演奏する。逆に伴奏者がメロディを演奏する時には依存度を低くし、あまり独奏者の演奏に影響を受けずに伴奏者の内部にあるテンポ感に従って自主的な演奏を行なう。しかし伴奏者が独奏者と独立して自分勝手に演奏するべきではないので、もし独奏者が伴奏者の演奏に追従できない場合には、システムの依存度を上げて独奏者が追従しやすい演奏を行なう。

3 システムの構成

本研究で開発している自動伴奏システムでは、楽譜は独奏パート、伴奏パートともにあらかじめ与えられている。演奏時には独奏者の演奏(MIDI信号)を入力として、それをリアルタイムに解析しながら、それに追従して伴奏パートの演奏(MIDI信号)を出力する。システムは二つの部分Listener部とPerformer部からなる。Listener部では独奏者の演奏を楽譜を参照しながら追跡し、独奏者が楽譜のどの部分をどのように演奏しているかを認識し、その演奏情報をPerformer部に出力する。Performer部ではListener部から受け取った独奏者の演奏情報と独奏者に対する依存度などを用いて伴奏パートの演奏を動的に変化させながら実際に演奏する。

3.1 Listener部

Listener部では独奏者の演奏を楽譜と比較しながら追跡し、独奏者が現時点で演奏している楽譜上の位置とそのダイナミクスなどの情報をPerformer部へと出力する。しかし独奏者は人間であり演奏を間違えることもある。そのようなとき人間の伴奏者なら独奏者がどのような間違いを犯したのかを推測し、伴奏パートをそれに合わせて演奏することができる。コンピュータによる自動伴奏システムでもこのような間違いを検出できなければならない。しかし独奏者がある音符を間違えて楽譜に書かれているより長く演奏してしまった場合など、これが間違いなのか音楽表現上の楽譜からの逸脱(芸術的逸脱)なのかを区別することは困難である。そこで本研究では独奏者の演奏ミスは楽譜からの大きな逸脱としてとらえる。すなわち楽譜からの逸脱と演奏ミスとはその逸脱の度合いが異なるだけで、ともに楽譜からの逸脱と考え両者を同じ枠組で取り扱う。その楽譜からの逸脱を許した場合、独奏者が楽譜のどこを演奏しているのかということ演奏データからリアルタイムで一意に正しく決定することは不可能である。そこでListener部では各時点ごとに入力と楽譜とのマッチングを行ない、可能性のある解釈を複数保持しながら独奏者の演奏を追跡する。それらの解釈はその可能性の高さに応じてスコアが付けられており、その中で最もスコアの高い解釈を現在の独奏者の演奏であると仮定し、その解釈に基づきテンポ情報を出力する。出力する情報は一拍ごとに楽譜上の位置と演奏の時刻との対応関係とそのときのマッチングの確からしさを表すスコアである。すなわちListener部の内部ではできるだけ細かく独奏者の演奏を追跡するが、実際の伴奏制御に利用する出力情報は、拍の頭を示す情報だけである。これは人間の感じるテンポ感をモデル化したものである。このようにすることにより独奏者の演奏の一拍の中の細かい揺らぎ(例えば4つ並んだ十六分音符の最初の音符は長めに演奏されるetc.)に影響を受けることなく独奏者のテンポ感を認識できる。

*A Computer Accompaniment System Considering Independence of Accompanist

[†]Yasuo Horiuchi, Krisda Supawaree and Hozumi Tanaka[†]Dept. of Computer Science, Tokyo Inst. of Tech.

本研究では独奏者の演奏を楽譜と比較しながら追跡するために、音声認識分野でよく用いられる DP マッチングをリアルタイムに適用する。独奏者の演奏は MIDI 信号からなる演奏イベントの時系列であり、楽譜情報も MIDI 信号からなる楽譜イベントの時系列とする。もし独奏者が楽譜通りに演奏を行えば、これら二つのイベントの配列は同じものである。このような二つの時系列を適当に時間軸を伸縮させる時間変換関数により、それら二つの時系列が最も近くなるように対応付ける手段として DP マッチングがある。DP マッチングを用いると、演奏にテンポの揺らぎやミスがあっても最適な時間変換関数を求めることができる。しかし本システムはリアルタイムシステムなので、演奏イベントは時間の経過に従って順番に与えられ、それをういてリアルタイムに時間変換関数を作成していかなければならない。このようなリアルタイム処理では、その時点で現在の演奏と楽譜とを正しく一意に対応させることは不可能であり、独奏者の演奏の解釈には複数の候補が考えられる。そこで複数の解釈が可能なのは、それらのすべての解釈を保持する。これら複数の解釈にはマッチングの確からしさに応じてスコアが付けられる。そのときスコアの一番高い解釈を現在の独奏者の演奏であると仮定する。このスコアは新しい入力により時々刻々変化し、確からしいものはより確からしくスコアが高くなって行き、確からしくないものはスコアが下がって行く。スコアが下がり閾値以下になったらその解釈を捨てる。これは解釈の組合せ爆発を防ぐためである。もし最もスコアの高い解釈が間違っているとしても、時間の経過とともにそのスコアが下がり新たな正しい解釈の方のスコアが上がり、解釈の変更が起こる。このように解釈の変更が起こった時テンポマップ [4] は不連続となるが、解釈の変更の前後ではそれら二つの解釈のスコアは低くなっているため、後に述べるように Performer 部では、その変更にあまり影響を受けずに伴奏を行なうことができる。

3.2 Performer 部

Performer 部は Listener 部で認識された独奏者のテンポ感やダイナミクス情報などをもとにして実際に伴奏パートの演奏を行なう。人間的で自然な演奏を可能にするため、実際に演奏を始める前にテンポやダイナミクスを含む演奏内部データをシステムにあらかじめ与えておく。これらは例えば実際に演奏して入力をしたり [9]、あるいは自動演奏システムの生成規則などにより楽譜から演奏データを計算することによって得られる。またリハーサルによって学習することも可能である [9]。これがデフォルトの演奏データである。実行時にシステムは、このデフォルトの演奏データに従って演奏を行なうが、独奏者の演奏に合わせて演奏データをリアルタイムに変化させる。独奏者のテンポ感は Listener 部から受け取る情報により認識することができる。この独奏者のテンポ感と伴奏者のテンポ感との間にずれが生じたら、その差を減らすようにシステムは伴奏のテンポをデフォルトのテンポから変化させる。このとき Listener 部から受けとるテンポ情報のスコアに応じて修正の速度を決定する。すなわちスコアが高いほど修正速度を早くし、独奏者の演奏に素早く反応する。またスコアが低い時は、Listener 部で独奏者のミスなどにより追跡に失敗している可能性があるため、テンポの修正はゆっくりと行ない独奏者の演奏に徐々に近づけていく。

基本的にはこのようにして伴奏パートを演奏するが、さらに先に述べた伴奏者の独奏者に対する依存度を導入する。この依存度は基本的には静的なものであらかじめ決めておくことができ、人間が与えたり楽譜から計算したりすることにより求める。これをデフォルトの依存度とする。実際に演奏を行なう時、依存度が高い状況では、独奏者のテンポ変化に対する追従性を良くするためにテンポ感のずれの修正速度を早くする。逆に伴奏者がメロディを奏するような状況では依存度が低く、独奏者のテンポ変化にあまり影響を受けずに自分なりの演奏を行なうため、テンポ感のずれの修正速度を遅くす

る。また楽譜上で独奏者の演奏と縦の線を合わせたいような時には、その音符の依存度を他の音符に比べて高くすることにより実現できる。しかし依存度によりテンポ制御を行なう場合に注意しなければならないのは、依存度が低い時に伴奏者のテンポ変化に独奏者が追従せず、テンポ感のずれがなかなか縮まらないか、あるいは広がってしまう状況である。これは独奏者が伴奏者の演奏に追従しづらい状況であると考えられるので、デフォルトのものより依存度を上げることににより独奏者が追従しやすくする。

4 おわりに

本研究では自動伴奏システムにおいて伴奏者の自主性を考慮に入れるため、その最初の試みとして独奏者と伴奏者のテンポ感の相互関係と伴奏者の依存度を利用した。ここでは伴奏パートのテンポ制御について中心的に述べてきたが、ダイナミクスの変化も独奏者の演奏に応じて変化させるべきである [7]。そこでテンポ変化と同様に、ダイナミクスの変化も独奏者の演奏の変化に従って動的に変化させる。そのときダイナミクスに関しても伴奏者の依存度を用いて独奏者とのバランスの取れたダイナミクス変化で演奏を行なう。

さらに入力がポリフォニックな場合 [8, 9] や、核音やトリルが存在した場合 [10] については触れていないが、これらも DP マッチングアルゴリズムを拡張することにより取り扱う予定である。

また、テンポ感や依存度を用いて伴奏を制御する際に、テンポ感をどのように変化させるかの度合をパラメータで表現しておくことアンサンブルの状況に応じてそのパラメータを変更することにより様々なバリエーションを考えることができる。

自動伴奏システムは、コンピュータによる自動演奏システムと同様にその客観的な評価法がない。すなわち、どのような伴奏が良い伴奏であるのかを決める尺度がないのである。結局何が良いのかを決定するのは人間なので、独奏者が評価を行なうのが最も良いと思われる。しかし主観的な評価では意味がないので、客観的に独奏者が行なえる評価を考察中である。

参考文献

- [1] Roger B. Dannenberg. An On-Line Algorithm for Real-Time Accompaniment. In Proc. of ICMC, pp. 193-198, 1984.
- [2] Barry Vercoe. The Synthetic Performer in the Context of Live Performance. In Proc. of ICMC, pp. 199-200, 1984.
- [3] Bridget Baird, Donald Blevins, and Noel Zahler. The Artificially Intelligent Computer Performer on the Macintosh II and a Pattern Matching Algorithm for Real-time Interactive Performance. In Proc. of ICMC, pp. 13-16, 1989.
- [4] David A. Jaffe. Ensemble Timing in Computer Music. In Proc. of ICMC, pp. 185-191, 1984.
- [5] 直井邦彰, 大照完, 橋本周司. 実時間拍検出機能を用いた自動伴奏システム. 日本音楽学会 講演論文集, pp. 465-466, March 1989.
- [6] Barry Vercoe and Miller Puckette. Synthetic Rehearsal: Training the Synthetic Performer. In Proc. of ICMC, pp. 275-278, 1985.
- [7] 竹内庸博, 才田直樹, 井口征士. リアルタイム性を考慮した自動伴奏システム. 音楽情報科学研究会会報, Vol. 38, pp. 24-25, August 1991. 夏のシンポジウム '91.
- [8] Joshua J. Bloch and Roger B. Dannenberg. Real-Time Computer Accompaniment of Keyboard Performances. In Proc. of ICMC, pp. 279-289, 1985.
- [9] Barry Vercoe and David Cumming. Connection Machine Tracking of Polyphonic Audio. In Proc. of ICMC, pp. 211-217, 1988.
- [10] Roger B. Dannenberg and Hirofumi Mukaino. New Techniques for Enhanced Quality of Computer Accompaniment. In Proc. of ICMC, pp. 243-249, 1988.
- [11] 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, March 1992.