

コンティグマッピング手法に基づく ポリフォニー音楽の声部分離と 色付け楽譜の生成

石垣麻子^{†1} 松原正樹^{†1} 斎藤博昭^{†1}

ピアノ演奏においては、複数の声部が重なり合うポリフォニー音楽に対し、各声部の役割を読み取り、声部ごとに表情付けを行いながら演奏することが求められる。しかし、初中級者には、複雑なポリフォニー音楽の楽譜から声部構造の読解と演奏を両立することが難しい。そこで本稿では、J.S. バッハのピアノ曲を対象に、MIDI ファイルの入力から、音高、音長の情報を用いて声部分離を自動的に行う手法を提案し、声部ごとに色付けされた楽譜を生成した。

提案手法では、まず Chew らのコンティグマッピング手法に基づき、楽曲をコンティグという単位に分割し、コンティグ内で声部分離を行う。次に、休符の出現による声部数の変化に着目し、声部数の小さいコンティグ、声部数の大きいコンティグの順に隣り合う場合のみ、2つのコンティグのどの声部とどの声部が同一の声部であるか、対応を求め結合する処理を行う。この繰り返しにより、全てのコンティグを声部数が最大となるコンティグと対応付け、楽曲全体の声部分離を完成させた。

実験では、J.S. バッハの Invention15 曲、Sinfonia15 曲、Fugue48 曲を対象に、声部分離の正解率を求めた。その結果、従来手法では精度の低かった4声、5声の楽曲に関しても、提案手法では8割を超える正解率で声部分離が行えることを示した。

Contig Mapping Based Voice Segregation in Polyphonic Music and Generation of Colored Score

ASAKO ISHIGAKI,^{†1} MASAKI MATSUBARA^{†1}
and HIROAKI SAITO^{†1}

To play the polyphonic music on the piano requires expressive performance of each voice based on the interpretation of the each voice's role.

For beginners and intermediate students of piano, however, it is a significant challenge to read complex polyphonic scores, comprehend the underlying multi-voice composition and play the music accordingly.

This paper proposes the technique of automatic voice segregation of J.S. Bach's piano pieces based upon pitch and length of sound from MIDI file input and generated colored scores.

In the technique proposed in this paper, following the "Contig Mapping Approach" by Chew, et al. a music piece is divided into the unit called "contig" first, and voices are segregated within the "contig".

Next, as the number of voices vary depending on rests, identical voices across two adjacent contigs were matched and the two contigs were combined, only when a contig with smaller number of voices and another contig with a larger number of voices were next to each other. The voice segregation of the entire music piece was completed by matching all the "contigs" to the "contigs" with the maximum number of voices.

Voice segregation accuracy was verified by experiments with 15 Inventions, 15 Sinfonias, and 48 Fugues of J.S. Bach. The experimental results of the proposed technique indicated more than 80 percent of voice segregation accuracy even with 4-voice or 5-voice music pieces, with which conventional techniques had lower levels of accuracy.

1. はじめに

音楽において、バンド、吹奏楽、オーケストラなど複数の楽器で構成される楽曲のうち、ホモフォニックな響きのする曲は、各楽器が音楽の三大要素であるメロディ、リズム、ハーモニーなどの役割を持って演奏していることが多い。それに対してポリフォニックな響きの音楽は各楽器が奏でる旋律が同じ比重で絡み合うことで楽曲を構成している。このような複数の楽器から構成される曲を一つの楽器のために書かれた曲も存在し、それぞれの音符列の流れをそれぞれの楽器に見立てて声部と呼び、分析のためや演奏支援のためにパートを分割することを声部分離という。ホモフォニー音楽では単純に楽器や役割を考慮することで声部を分離することが可能だが、ポリフォニー音楽では各声部が複雑に絡み合っているためこれまで多くの声部分離の研究がなされている。

声部の分離により、各声部をモノフォニックに扱うことで、ポリフォニー音楽に対しても既存の音楽情報検索技術を利用できるようになる。また、音楽構造分析や音楽認識に対する理解も深まるので、声部分離は重要な基礎研究である。

声部を分離することの必要性として演奏時における楽譜の可読性というものがある。例え

^{†1} 慶應義塾大学大学院 理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Keio University



図 1 3 声のポリフォニー音楽 (Sinfonia No.7 BWV793 一部)

ば、ピアノ演奏では、複数の声部が重なり合うポリフォニー音楽 (図 1) に対し、各声部の役割を読み取り、声部ごとに表情付けを行いながら演奏することが求められる。しかし、初中級者には、複雑なポリフォニー音楽の楽譜から声部構造の読解と演奏を両立することが難しい。その解決策として、声部ごとに色付けするという記譜法が挙げられるが、その際、声部分離は手作業により行われているのが現状である。

そこで本研究では、J.S. バッハのピアノ曲を対象に、楽譜情報のうち音高、音長の情報を用いて声部分離を行う手法を提案し、声部ごとに色付けされた楽譜を生成する。

声部分離の既存手法である Chew らのコンティグマッピング手法では、声部数が変化するタイミングで楽曲をコンティグという単位に分割し、コンティグ内で声部分離を行ったものを、声部数が最大のコンティグへ対応付け結合することで楽曲全体の声部分離を実現している。本研究では、コンティグを結合する際の順序と方向により声部の対応付けの精度が異なることに着目し、コンティグマッピング手法の改良を行う。声部数の小さいコンティグ、大きいコンティグの順に隣接する部分のみ対応付けを行い結合するという処理を繰り返し行うことで、全てのコンティグを声部数が最大となるコンティグと対応付け、楽曲全体の声部分離を行う手法を提案する。

2. 関連研究

これまで、ポリフォニー音楽の声部分離に関していくつかの手法が提案されてきた¹⁾⁻⁷⁾。Chew らのコンティグマッピングを用いた声部分離システム¹⁾は、楽曲を声部数の変化するタイミングで区切ることでコンティグという単位に断片化し、声部分離を行う。コンティグ内では声部数は一定となるため、声部が交差しないと仮定すると、各コンティグ内では、音高の順に各音符を声部に割り当てることで簡単に声部分離を行うことができる。そこで、

コンティグ内で声部分離を行ったものを、声部数が最大のコンティグと隣り合うコンティグとの声部の対応を求めながら次々に結合していく。声部の対応を求める際は、コンティグの境界の前後の音符について音程の合計が最小となる組み合わせを求める。このようにして楽曲全体がひとつのコンティグに結合されたとき、声部の対応付けが全て行われ、声部分離が完成する。

Kirlin らの声部分離システム VoiSe²⁾は、音高、リズムを特徴量に用いた決定木学習を利用して声部分離を行っている。まず、楽曲内の音符を 2 つずつ比較し、機械学習により各音符のペアが同一の声部に入るかどうかを決定する。その結果を用いて、各音符の声部へのマッピングを行う。

Madsen らの声部分離システム³⁾では、発音が同時である音符をグループ化し、分枝限定法を用いて声部分離を行っている。声部内の音高の変化、休符の発生、声部数の変化にコストを設定し、2 グループ先までのコストの合計が最小となる音符の組み合わせから声部分離を行う。

これらの手法は共通して、声部数の多い楽曲で正解率が低下する傾向にある。4 声や 5 声の楽曲では、休符が現れることで実質的に 2 声化、3 声化する部分が多く、その場合にそれらの声部が 4 声、5 声のうちのどの声部に対応するかを求めることが困難であるためだと考えられる。そこで本研究では、4 声、5 声の楽曲での正解率を改善するため、声部数が最大の部分と声部の対応付けが行われるようにすることで、この問題を解決する。

また、複雑な楽譜を初中級者に読みやすくする記譜法として、五線譜への色付けが挙げられる⁸⁾⁹⁾。松原らの ScoreIlluminator¹²⁾¹³⁾では、オーケストラなどのパート数の多いスコア (総譜) の可読性、理解を深めるために、色付け楽譜の生成を行っている。合奏において重要となる、リズム、響き、メロディ、和声を考慮した 4 つの特徴量からパート間の距離を定義し、k-means アルゴリズムを用いて、異なるパートの似た役割を持つフレーズをクラスタリングする。各クラスタに異なる色を割り当てて五線譜に色付けを行うことで、スコアリーディング支援を実現している。

ポリフォニー音楽のピアノ楽譜においては、上下二段の五線譜に対し、3 声以上の声部が記される場合も多い。そのため、ポリフォニー音楽の楽譜に対する色付けは、声部ごとに音符に色付けをする記譜法が適切である¹⁰⁾。LilyPond¹¹⁾等の楽譜出力ツールには、音符や声部ごとの色付け機能が付いているが、これらのツールでは、どの音符がどの声部に属するかをデータの入力時に手動で指定する必要があり、ユーザにとってこのような作業は負担であると言える。

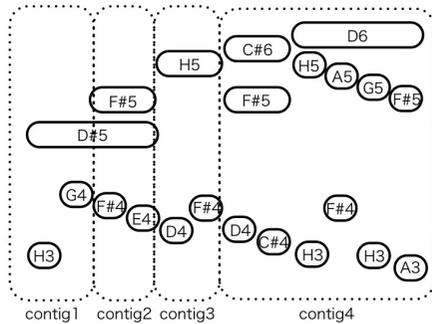


図2 コンティグへの分割 (Sinfonia No.7 BWV793 一部)

3. 提案手法

本稿では、コンティグマッピング手法を改良し、楽曲をコンティグという単位に分割し、コンティグ内で声部分離を行ったものをつなぎあわせることで楽曲全体の声部分離を完成させる手法を提案する。

入力はMIDIデータから各音符の音高、音長、発音タイミングの情報を抽出して用い、楽曲のコンティグへの分割、コンティグ内での声部分離、コンティグの結合、色付け楽譜の生成の順に処理を行う。

3.1 コンティグへの分割およびコンティグ内での声部分離

コンティグマッピング手法¹⁾は、まず、楽曲を声部数の変化するタイミングで区切ることで、コンティグという単位に分割する。

図1のような3声の楽曲のある1小節を例にとると、この小節の中では1拍目と2拍目で第1声部と第2声部にそれぞれ半拍ずつ休符が挿入されており、その間は実質的に2声化している。このとき、図2のようにコンティグへの分割を行う。

次に、コンティグ内での声部分離を行う。コンティグ内では声部数が一定になっているため、同時に鳴る音符に対し音高の順に声部に振り分けることで、声部分離が行える。

ここで、図2の例の場合、図3のように声部ラベルが与えられる。

3.2 コンティグの結合

コンティグ内で声部分離を行っただけでは、楽曲全体の声部分離は完成しない。図3のcontig1, contig3のように、3声の楽曲でも2声しかないコンティグでは①, ②のラベルし

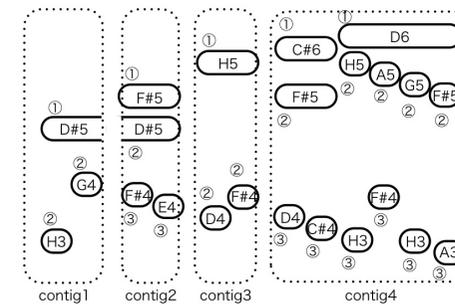


図3 コンティグ内の声部分離 (Sinfonia No.7 BWV793 一部)

か用いられていないため、3声のコンティグ内の声部①, ②, ③との対応を求める必要がある。本稿は、この段階を改良したことを主張するものである。以下にその対応付けの手法について述べる。

3.2.1 結合順

Chewらの手法では、声部数が最大となるコンティグとその前後のコンティグを比較し、音高の近い声部同士を次々に対応付けていくことで、それまでの声部分離手法よりも高い正解率を得た。しかし、楽曲内に声部数が最大のコンティグは複数存在するため、それぞれに隣り合うコンティグを順次結合していくとき、対応付けに矛盾が生じた際に、どの結合を優先するのかが明確にされていない。そこで、声部の対応付けを行う順序の工夫によって、さらなる正解率の向上が期待できる。

我々は、声部数が減少するところ、すなわち休符の現れるところは、フレーズの区切りとなっていることが多いことに注目し、声部数が増加するところ、つまり声部数の小さいコンティグ、大きいコンティグの順に隣接する部分のみ対応付けを行い結合することで、Chewらの手法と比較して正解率の改善を行った¹⁴⁾(以下、従来手法Aと呼ぶ)。例えば図4のように、contig1からcontig8の8つのコンティグを、声部数が増加する部分のみ対応を求め結合した結果、contig1', contig3', contig5', contig8'となる。このとき、contig1'は4声、contig3'は3声、contig5'は4声、contig8'は3声のコンティグとなり、対応付けに基づいて、contig1, contig3, contig5, contig6の声部ラベルが書き換えられる。

しかしこれでは、contig3', contig8'はまだ4声のコンティグに結合されていないため、対応付けが不十分である。そこで本研究では、さらなる改良として、この対応付け処理を繰

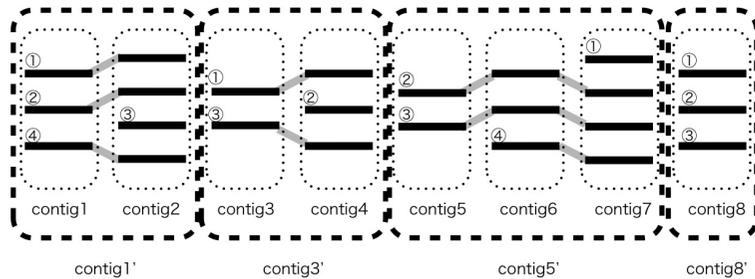


図4 コンティグの結合 (点線コンティグを結合して破線コンティグに)

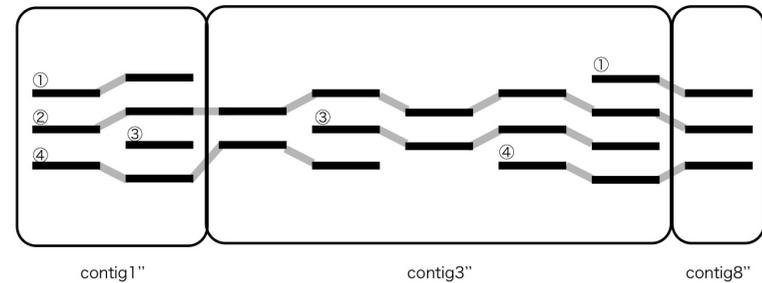


図6 コンティグの結合3回目 (実線コンティグを結合して全体が1つのコンティグに)

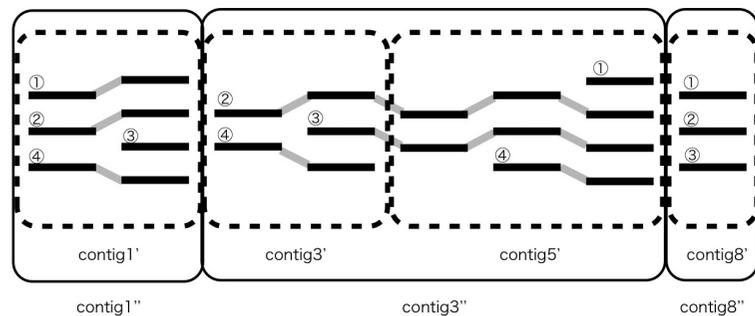


図5 コンティグの結合2回目 (破線コンティグを結合して実線コンティグに)

繰り返し適用することで、全コンティグを最大の声部数と対応付けることを提案する。例えば、図4から得られた contig1', contig3', contig5', contig8' に対し、同様の対応付けを行い、図5のようになるとすると、contig3' の声部ラベルが書き換えられ、4声の contig1'', 4声の contig3'', 3声の contig8'' が得られる。すると、最後に contig3'' と contig8'' の対応付けだけ行えば、全コンティグが4声に対応付けられることとなる (図6)。

このアルゴリズムを以下に示す。

- (1) コンティグ $C_0 \dots C_M$ に対し、各コンティグの声部数をそれぞれ $S_0 \dots S_M$ とする。
- (2) $M = 1$ のとき、 C_0 と C_1 を結合し、ステップ (9) に飛ぶ。
- (3) $M = 0$ のとき、ステップ (9) に飛ぶ。
- (4) $N \leftarrow 0$ とする。

- (5) $N = M$ のとき、ステップ (8) に飛ぶ。
- (6) $S_N \leq S_{N+1}$ のとき、 C_N と C_{N+1} を結合する。
- (7) $N \leftarrow N + 1$ とし、ステップ (5) に飛ぶ。
- (8) I 個の結合後のコンティグを $C_0 \dots C_I$ とし、 $M \leftarrow I - 1$ としてステップ (1) に飛ぶ。
- (9) 全てのコンティグが1つのコンティグに結合される。

3.2.2 コンティグの結合処理

隣り合う2つのコンティグを結合する際、音高の近い声部を求め対応付ける処理について述べる。

声部数を調べる 結合する2つのコンティグそれぞれについて、コンティグ内で用いられている声部ラベルの数を求め、コンティグごとに声部数を算出する。

結合できる組み合わせを求める 例えば3声のコンティグ1と4声のコンティグ2を結合する際、コンティグ1内の各声部の最後の音符 $P_0 \dots P_2$ とコンティグ2内の各声部の最初の音符 $N_0 \dots N_3$ (いずれも音高順にソートされている) の対応を求める必要がある。このとき、声部は交差しないと仮定すると、これらの組み合わせは表1のパターンが考えられる。ここで、例えばパターン2は、コンティグ1の第1, 3, 4声部にコンティグ2の第1, 2, 3声部がそれぞれ対応し、コンティグ1の第2声部はコンティグ2では休符になっていることを示している。

声部数は一般的にさほど多くないので、結合の度に声部数に応じてこのようなパターンを計算する。

組み合わせごとにコストを算出する 求められた全ての組み合わせに対し、MIDIデータの音高情報を用いて音程の和を求め、結合のコストとする。パターン2の例では、 N_0 と P_0, N_1

表 1 3 声と 4 声の結合の際の音符の対応

コンティグ 1 の最後の音符	コンティグ 2 の最初の音符			
	パターン 1	パターン 2	パターン 3	パターン 4
N_0	\emptyset	P_0	P_0	P_0
N_1	P_0	\emptyset	P_1	P_1
N_2	P_1	P_1	\emptyset	P_2
N_3	P_2	P_2	P_2	\emptyset

と \emptyset , N_2 と P_1 , N_3 と P_2 の音高の差の絶対値を取り、合計する。ただし、1つの音符が複数のコンティグに挿入されている場合があり、このとき同一の音符が含まれる声部は同一の声部として対応付けられる必要があるため、コンティグ 1 の最後の音符とコンティグ 2 の最初の音符の組み合わせが同一の音符である場合にはコストに負の値を加える。また、 \emptyset との音高差は 0 とした。

最小コストの組み合わせに基づき結合する 前節で求めたコストが最小となる結合の組み合わせを求め、その組み合わせに基づき、声部数が少ないコンティグの声部ラベルを書き換え、コンティグを結合する。このようにしてコンティグを全て結合すると、楽曲全体の声部分離が求められる。

3.3 色付け楽譜の生成

前節において求められた声部分離の結果をもとに、LilyPond を用いて色付け楽譜の生成を行う。各音符に与えられた声部ラベルに応じて、符頭の色を声部ごとにあらかじめ指定した色に出力する。

4. 実 験

提案手法による声部分離が、作曲者の意図した声部分離とどれだけ一致するかを確かめる実験を行う。

4.1 実験方法

J.S. バッハによるインベンション (2 声) 15 曲, シンフォニア (3 声) 15 曲, フーガ (2-5 声) 48 曲の MIDI データを用いて実験を行った。作曲者の意図する声部は、楽譜上に符尾の向きにより示されている。そこで、楽譜¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾に忠実に、正しい声部のラベルを各音符のチャンネル情報として与えた MIDI データを正解データとして用意した。

正解データ上の各音符と、提案手法により出力された声部分離の結果の対応する音符に等しい声部ラベルが与えられている場合を正解とし、各曲について全音符に対する正解率を求

めた。

4.2 実験結果

従来手法 A¹⁴⁾, Chew らの手法¹⁾, Madsen らの手法³⁾ の正解率と提案手法の実験結果の比較を表 2 に示す。

表 2 声部分離の結果

	Invention	Sinfonia	Fugue	平均
提案手法	98.73%	95.27%	89.21%	92.21%
手法 A	99.02%	95.30%	86.43%	90.56%
Chew ら	99.29%	93.35%	84.39%	88.98%
Madsen ら	-	-	-	70.11%

また、Fugue は 2-5 声の曲を含むため、従来手法 A と提案手法における声部数ごとの正解率の比較を表 3, 図 7 に示す。

表 3 声部数ごとの正解率

	2 声	3 声	4 声	5 声
提案手法	98.81%	93.73%	84.05%	85.50%
従来手法 A	99.11%	93.65%	79.30%	67.68%

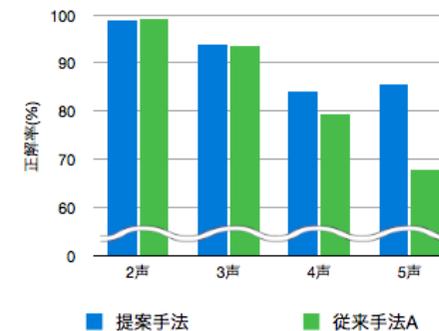


図 7 声部数ごとの正解率

実験結果より、従来手法では声部数が増えるほど精度は落ちるが、提案手法では4声、5声の楽曲に対しても80%を超える安定した正解率となった。

4.3 色付け楽譜の生成

提案手法により生成された色分け楽譜の例を図8に示す。



図8 色付け楽譜の出力例 (Sinfonia No.7 BWV793 一部)

5. 考 察

5.1 声部数の多い曲

従来手法において、声部数の多い曲で声部分離の正解率が低い主な原因として、4声や5声の楽曲では、長休符の出現により、長い範囲で声部数の少ないコンティグが続く場合が多



図9 声部数の多い曲 (従来手法 A・誤り) (J.S.Bach Fugue No.22 BWV867 一部)

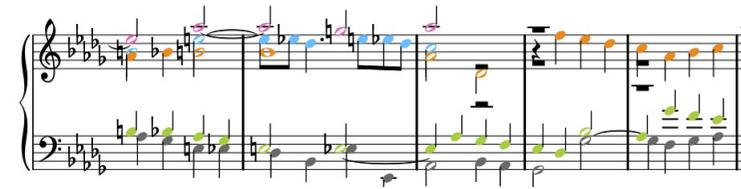


図10 声部数の多い曲 (提案手法・正解) (J.S.Bach Fugue No.22 BWV867 一部)

いことが挙げられる。このとき、コンティグを結合する過程において、声部の対応付けに矛盾が生じたり、図4の contig3', contig8' のように、最大声部数のコンティグと結合されないままのコンティグが存在したりすることで、長い範囲において誤ったラベル付けのままになってしまうことがある。

図9、図10は、5声の曲の途中で3声化する部分が長く続く例である。従来手法Aでは、図9赤丸部分のように、橙(第3声部)、緑(第4声部)、灰色(第5声部)に色付けされるべき部分が、前述の要因により、後に現れる4声のコンティグとは結合されているが、5声のコンティグとは結合されないままになっているために、ピンク(第1声部)、橙(第3声部)、緑(第4声部)の声部と認識されてしまう。

これに対し提案手法では、図9のような結果になった後、4声のコンティグとしか対応付けられていない赤丸部分のコンティグも、図5、図6の例のように最大声部数のコンティグと結合されるまで処理を繰り返したことで、図10のように正しい声部分離ができています。

このように、声部数の多い曲において、長休符が用いられることにより声部数の減少しているコンティグについて、声部数が最大となるコンティグと確実に結合されるよう処理を繰り返したことで、4声、5声の楽曲に対する正解率が大幅に改善できた。

5.2 休符の多い曲

声部数の多くない曲においても、休符が多く現れることで楽曲が細かいコンティグに分割されると、従来手法では最大声部数のコンティグと結合されないコンティグが残り、正しく声部分離が行われない場合がある。

図11、図12は、3声の曲であるが、短い休符が多用されることによって、従来手法Aでは正しく声部分離が行われなかった例である。図11のように、従来手法Aでは、5.1節の場合と同様に、赤丸部分の1声、2声のコンティグが、3声のコンティグと結合されないままになっているために、1小節目において水色(第2声部)、オレンジ色(第3声部)に色付けされるべき音符が、ピンク色(第1声部)、水色(第2声部)の色付けになってしまっ



図 11 休符の多い曲 (従来手法 A・誤り) (J.S.Bach Sinfonia No.9 BWV795 一部)

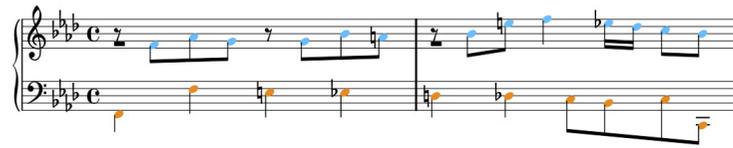


図 12 休符の多い曲 (提案手法・正解) (J.S.Bach Sinfonia No.9 BWV795 一部)

ている。これに対し提案手法では、最大声部数のコンティグと結合されるまで処理を繰り返したことで、2小節目の3声のコンティグの水色(第2声部)、オレンジ色(第3声部)の声部と対応付けられ、図12のように、正しく声部分離ができています。

このように、従来手法では誤った結果になっていた休符の多い曲で、提案手法では正しく声部分離が行えるようになった部分がいくつかあった。

5.3 交差と入れ替わり

本稿では、声部の交差はないものと仮定して声部分離を行っているが、ポリフォニー音楽において声部の交差は稀に存在する。

このとき、図13のように、一方の音符が交差の前から続いていれば、途中から誤ることはなく正しく声部分離を行うことができる。しかし、同じ音長の音符による交差や長い区間での交差は、図14、図15のように誤ってしまう。

また、コンティグマッピング手法では、声部数の変化で楽曲を断片化しているが、図16、

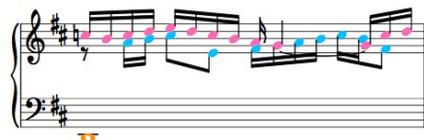


図 13 音符の交差 (提案手法・正解) (J.S.Bach Sinfonia No.3 BWV789 一部)



図 14 音符の交差 (正解) (J.S.Bach Sinfonia No.2 BWV788 一部)



図 15 音符の交差 (提案手法・誤り) (J.S.Bach Sinfonia No.2 BWV788 一部)

図17のように、声部数に変化せずに声部が入れ替わる場合がある。このようなときには、声部が入れ替わる境目でコンティグへの分割が行われなため、入れ替わる2つの声部が同一の声部と認識されてしまう問題点がある。

これらの問題の解決は、単に音高や音長から行う声部分離では限界があり、旋律の分析を行う等、音楽構造を大きく考慮する必要がある。

6. 今後の展望

ポリフォニー音楽では、楽曲は主題が各声部に交互に繰り返し現れることで展開していく。そこで、繰り返し現れる旋律を抽出し用いることで、声部の交差等、各音符の音高、音長情報からだけでは対応できない音楽構造も考慮することができると考えられる。

また、声部分離は、ポリフォニー音楽以外のピアノ曲に対して、音楽構造の分析や編曲に応用することができる。

色付け楽譜の生成に関しても、インタフェースの改善により、ピアノの練習支援に役立てられる。

7. まとめ

本稿では、Chewらのコンティグマッピング手法に基づき改良を行い、コンティグという



図 16 声部の入れ替わり (正解) (J.S.Bach Fugue No.12 BWV857 一部)



図 17 声部の入れ替わり (誤り) (J.S.Bach Fugue No.12 BWV857 一部)

分割した楽曲に対し、声部数の小さいコンティグ、大きいコンティグの順に隣接する部分のみ対応付けを行い結合するという処理を繰り返すことにより、全てのコンティグを声部数が最大となるコンティグと対応付け、楽曲全体の声部分離を行う手法を提案した。

提案手法により、従来手法では正解率の低かった、声部数の多い曲や、短い休符が多用される曲において、安定した正解率で声部分離を行うことができ、その有効性が示された。

しかし、声部の交差や入れ替わり等には未だ対応できておらず、今後は旋律等を考慮することで、これらの複雑な声部構造にも対応できるようになると考えられる。

また、声部分離技術は、音楽構造の分析や編曲、ポリフォニー音楽以外のジャンルの扱いへの応用が期待される。

参 考 文 献

- 1) Chew, E. and Wu, X.: Separating voices in polyphonic music: A contig mapping approach, *Computer Music Modeling and Retrieval*, Second International Symposium, pp.1-20 (2004).
- 2) Kirilin, P. and Utgoff, P.: VoiSe: Learning to segregate voices in explicit and implicit polyphony, *International Conference on Music Information Retrieval*, London(2005).
- 3) Madsen, S. and Widmer, G.: Separating voices in MIDI, *International Conference*

- 4) Jordanous, A.: Voice separation in polyphonic music: A data-driven approach, *Proceedings of the International Computer Music Conference(ICMC)*, Belfast(2008).
- 5) Cambouropoulos, E.: Voice and Stream: Perceptual and Computational Modeling of Voice Separation, *Music Perception*, Vol.26, No.1, pp.75-94(2008).
- 6) Karydis, I., Nanopoulos, A., Papadopoulos, A. and Cambouropoulos, E.: VISA: The Voice Integration/Segregation Algorithm, *Proceedings of the International Conference on Music Information Retrieval (ISMIR07)*, Vienna(2007).
- 7) Kilian, J. and Hoos, H.: Voice Separation - A Local Optimisation Approach, *Proceedings of the Fourth Annual International Symposium on Music Information Retrieval*, pp.89-96(2003).
- 8) 原島 愛一郎: 記譜法及びその楽譜, 特開 2005-283980(2005).
- 9) 廣瀬 宣道: パターンごとに色分けされた楽譜, 特開 2005-031619(2005).
- 10) 細野 綾子: 声部によって色分けする記譜法およびその楽譜, 特開 2008-281747(2008).
- 11) Han-Wen Nienhuys, Jan Nieuwenhuizen: LilyPond, <http://lilypond.org>.
- 12) 松原正樹, 岡本紘幸, 佐野智久, 鈴木宏哉, 延澤志保 and 斎藤博昭: Scoreilluminator: スコア色付けによるオーケストラスコアリーダー支援システム, *情報処理学会論文誌*, Vol.50, No.12, pp.2937-3948 (2009).
- 13) Masaki Matsubara, Hiroyuki Okamoto, Tomohisa Sano, Hiroya Susuki, Shiho Hoshi Nobesawa and Hiroaki Saito: Scoreilluminator: Automatic illumination of orchestra scores for readability improvement, *The 2009 International Computer Music Conference (ICMC 2009)* (2009).
- 14) 石垣麻子, 松原正樹 and 斎藤博昭: 声部分離を用いたスコアリーダー支援のための色付け楽譜の生成, *情報処理学会第 72 回全国大会* (2010).
- 15) J.S.Bach: Inventions and Sinfonias BWV772-801 原典版, Henle(1979).
- 16) J.S.Bach: Well-Tempered Clavier - Part I BWV846-869 原典版, Henle(2007).
- 17) J.S.Bach: Well-Tempered Clavier - Part II BWV870-893 原典版, Henle(2007).