

主旋律の特徴を生かした不干渉な対旋律の生成手法

伊藤 響[†], 小澤 玲子[†], 犬塚 信博[†], 伊藤 英則[†]

[†] 名古屋工業大学 知能情報システム学科
466-8555 名古屋市昭和区御器所町

本論文では、与えられた旋律とコードから、その旋律と共に対位法を構成する対旋律を自動的に生成する方法を提案する。対旋律は主旋律に対して従属的旋律であり、主旋律を引き立て、曲全体に厚みを出す効果を持つ。対旋律では、主旋律の一部を模倣したり、主旋律のリズムを補完する形式がしばしばとられる。我々の手法では、これらを模倣およびリズム補填と呼び、計算機アルゴリズムとして実現する。

対旋律は主旋律に干渉しないようにする必要がある。そのため、主旋律中の音符の密度を計算し、この密度に依存して、対旋律の音を配置する。密度の利用により、干渉を避けることができる。また、対旋律の生成のためにコードを利用することで、和声学的に効果のある対旋律を生成する。本論文では、4分の4拍子、ハ長調の曲を対象とした。

A Method to Generate Counterpoints Brinding Out Features of Melody without Interference

Hibiki Itoh[†], Reiko Ozawa[†], Nobuhiro Inuzuka[†], and Hidenori Itoh[†]

[†] Nagoya Institute of Technology,
Department of Intelligence and Computer Science
Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya 466-8555, Japan

This paper proposes a method that automatically composes counterpoints from given melodies and harmonies. A counterpoint is a subordinated melody which enriches texture of sounds and gives verve to music. A counterpoint sometimes imitates phrases of a main melody and makes up rhythm. Our method composes counterpoints using techniques of imitation and making up.

A counterpoint has to avoid interference with a main melody. The method measures the density of notes in each place of main melody and places sounds in a counterpoint depending on the density. By observing the density interference is avoided. In order to guide composition of counterpoints the method takes a harmony or sequence of chords.

This paper targets only music in four-four time and in the key of C major.

1 はじめに

与えられた1つの旋律を発展させ、多声の楽曲を得ることは、計算機を用いた自動作曲の1つのテーマである。旋律とは、楽曲の中で音の高低・長短が連続しており、まとめて意味のある音の流れとして認知されるものである。1つの楽曲の中で、同時に複数の旋律が進行する音楽技法は対位法と呼ばれ、よく研究されてきている [2, 3]。対位法では、複数の旋律が各々独立して旋律として認知できるのに対し、いくつかの音が同時に響くことで、和音を構成する技法を和声という。

本論文では、対位法に基づいた自動作曲のための計算機アルゴリズムを提案する。多声の音楽を作曲するための基礎として、1つの旋律からそれとともに対位法を構成するもう1つの旋律（これを対旋律という）を生成するための方法を与える。

複数の旋律が互いに独立して、かつ妨げとならずに進行するため次の点を考慮する。

1. 2つの旋律が快い響きとなるよう、和声の理論に従う。
2. 2つの旋律が独立した旋律として意味を持つよう、同時に進行するリズムの重なりを小さくする（干渉性）。

さらにここでは、次の点に従うことで旋律の互いに補い合う効果を期待する。

3. 対旋律は主旋律の特徴的なリズムを繰り返す。あるいは、
4. 対旋律は主旋律のリズムを補填する。

このことは、対旋律を全く作曲し直すのではなく、与えられた主旋律から作ることができるという利点も与える。

本論文では、上の4点に従うため、(1)与えられたコード（和音列）に矛盾しない旋律の生成法、(2)干渉度を小さくするため音の密度を計算する方法、(3)主旋律を活かすため、主旋律リズムを補填・模倣する方法を、組み合わせることで、対旋律を生成する方法を与える。



図1: 主旋律(1)のリズムを対旋律(2)が補填する例



図2: 主旋律(1)と主旋律を模倣した対旋律(2)

2 対旋律生成のための音楽技法

本研究で用いるリズム補填と模倣は、対位法において用いられる代表的な手法である [2, 3]。

リズム補填 リズム補填は、2つ以上の各旋律のリズムが互いに補い合う動き方をする技法である。即ち、各音のはじまりが2つの旋律で重ならず、2つの旋律を合わせて聴くことで、音が次々と現れる形式である。図1にリズム補填の例を示す。1と2では、拍子感がずれており、動きが止まらないで継続している。

模倣 模倣は、旋律のある短い断片が、時間及び音高において隔たって他の旋律で反復される技法である。図2に示した例では、主旋律(2)の一部が1オクターヴ上昇して2拍ずれて模倣されている。主旋律の個性の強い部分が繰り返されることで、その曲の雰囲気強調される。

模倣は主旋律の特徴的モチーフを繰り返すことでその特徴を活かすが、リズム補填も主旋律のリズムを強調する効果があり、主旋律を引き立てる。しかしながら、これらの技法は効果的に適用してはじめて、こうした結果を得ることができる。本研究では、旋律間の干渉に注目し音の密度を評価することで、技法の適用箇所を選択する。

密度計算による干渉性の確保 主旋律の音符の密度の高い部分と対旋律の密度の高い部分がぶつからないようにし、リズム補填や模倣する位置を考慮することができる。これによりある程度の干渉を避けることができる。

音符								
点数	48	36	24	18	16	12	8	6

表 1: 密度計算のための各音符の点数

音符の密度を評価するため、各長さの音符に対し、表1に示される点数の平均を求める。これらの点数は、その音符を用いて、4拍分の1小節全体を満たすために必要な個数に相当する。ただし、整数化するため3倍の値を与えている。

3 対旋律の生成

本研究では、以下の条件を満たす曲を対象に、2章で述べた手法を用いたアルゴリズムを提案する。

- 4分の4拍子でハ長調である。
- 最初のコードがCである。
- 途中で休符がない。
- アウフタクト(小節の第1拍から始まらない形式)でない。

本手法では主旋律とコードから直接対旋律を生成するのではなく、まず始めにカウンターライン(CL; counter line)と呼ばれる対旋律の骨組みとなるものを生成する。カウンターラインは、対旋律の大まかな流れを表現したものであり、コードの構成音から主旋律の音と重ならない音を選ぶことで生成する。

図3に主旋律とそれに対応するカウンターラインを示す。本手法では、生成されたカウンターラインを主旋律の模倣やリズム補填などの技法を用いることで洗練させ、対旋律を完成させる。以下で、カウンターラインの生成および、それを用いた対旋律生成について述べる。

3.1 カウンターラインの生成

本研究では、与えられているコード即ち和音列を利用することでカウンターラインを生成する。和音は快い響きをもつ複数の音を同時に演奏するものであり、そこで使われる音を構成音という。次

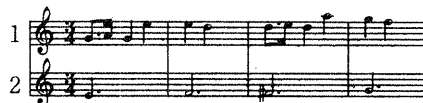


図 3: 主旋律(1)とカウンターライン(2)

主旋律の初音	ド(C)	ミ(E)	ソ(G)	その他
CLの初音	ミ(E)	ド(C)	ミ(E)	ド(C)

表 2: カウンターラインの最初の音の決定

の条件を満たす音の列として、カウンターラインを生成する。

- 音の開始位置：曲の先頭及び主旋律上で小節番号が変わった直後、およびコードの更新された位置に置く。
- 音の高さ：置く位置の主旋律の音及びカウンターラインの直前の音と異なり、直前(1つ前)のカウンターラインの音から最も近い音をコードの構成音から選ぶ。

以下にこれらの決定法を詳しく述べる。

(a) 曲の初音 アウフタクトでないことから、最初の小節の頭に置く。音高は、主旋律の初音によって、表2に従って選ぶ。表2は最初のコードがCであり、ハ長調であるという仮定のもとに与えた。

(b) 2つ目以降の音の位置 主旋律上で小節番号が変わった直後、あるいはコードが変化した位置に置く。

(c) 2つ目以降の音の音高 以下の条件に従って決定する。図4にその手続きを示す。

- コードの構成音である。
- カウンターラインの直前の音と音高が異なる。
- 主旋律の音と音高が異なる。
- 上を満たす範囲内で、音高の上昇・下降がなだらかとなる。

決定すべきカウンターラインの音を c , その一つ前の音を c' , 更に一つ前の音を c'' とする.

- (1) 現在のコードの構成音の内, c' と異なり, c' へ最も近い音が1つある場合
その構成音を, c の音高とする
- (2) 現在のコードの構成音の内, c' と異なり, c' へ最も近い音が2つある場合
 - (a) c'' から c' へ上昇してきている場合
コードの2つの同距離の構成音中, 高い方を c の音高とする
 - (b) c'' から c' へ下降してきている場合
コードの2つの同距離の構成音中, 低い方を c の音高とする

図 4: カウンターラインの音高の決定方法

入力

M : 主旋律
 CL : カウンターライン
 CH : コード

出力

CM : 対旋律

M , CL , CH を各々基本区間長 l で分割し,

m_i, c_i, ch_i ($i = 1, \dots, n$) を得る

各々 i ($i = 1, \dots, n$) に対し,

$cm_i \leftarrow \text{generate-counter-melody}(m_i, c_i, ch_i)$

cm_i ($i = 1, \dots, n$) を連結し, 対旋律 CM を得る

図 5: 主旋律, コード, カウンターラインから対旋律を生成する手続き

3.2 補填と模倣による対旋律生成

次に, 主旋律を参照することで生成されたカウンターラインのリズムを補い, 対旋律に完成させる. 干渉性を保つため, 主旋律の音符の密度が平均以下の区間のみを新たなリズム生成の対象とし, それ以外はカウンターラインをそのまま対旋律とする. また, カウンターライン自身が2分音符以下の音で構成される場合も, 新たなリズムを生成しない.

図5に, 与えられた主旋律, カウンターライン,

主旋律のリズム	対旋律のリズム
♩. ♩. ♩.	♩. ♩. ♩.
♩. ♩. ♩.	♩. ♩. ♩.
♩. ♩.	♩. ♩.
1小節間にわたって ♩. ♩. ♩. } のとき ♩. ♩. ♩.	♩. ♩. ♩.

表 3: 本研究で用いた補填ルール

コードを用いて, 対旋律を生成する手続きを示す. この手続きでは, 基本区間長ごとに, 手続き `generate-counter-melody` を呼び出すことで, 対旋律を生成し, それらを連結することで結果を得ている. `generate-counter-melody` は, 次のような再帰的手続きである.

1. 基本的なリズムから構成される場合は, 補填ルールに従って対旋律を生成する.
2. 与えられた主旋律の音楽片を前半と後半に分け, それぞれ密度を計算する.
3. 前半・後半のどちらかが, 曲全体の密度以下であれば, 密度の高い方の主旋律を低い方に模倣する (密度が平均以上のときは, カウンターラインをそのまま対旋律とする).
4. 模倣されていない区間 (もとの区間の $1/2$ 長) について, 再帰的にこの手続きを繰り返す.

密度を単に区間内で比較するだけでなく, 曲全体の平均と比較することにより, 曲毎にもつ, 音の粗密に関する性質 (即ち, 曲相) を保つことができる. 上の1で用いる補填ルールは, 経験的規則として, 表3に示すものを用いた. アルゴリズムを図6に示す. リズムの定まった対旋律の音高は, 図4と同様な方法で決定する. しかし, 模倣の場合は, 初音以外の相対的音高は, 変化させない.

本研究で用いた模倣では, 次の通り制限されている. 即ち, 主旋律から対旋律への模倣は, (1) 基本区間内のみであり, その半分の長さを模倣の単位とする, (2) 模倣による音の相対的高さを変化させない, (3) 模倣される音の長さを変化させない.

generate-counter-melody(*m*, *cl*, *ch*)

入力

m : 主旋律の音楽片

cl : カウンターラインの音楽片

ch : コードの音楽片

出力

cm : 対旋律の音楽片

大域変数

d : 音符の平均密度

u : 最小単位長

if *m* に補填ルール (表3) を適用可 then

cm のリズムを補填ルールを用いて生成

コード *ch* を用いて *cm* の音高を決定

else

m, *cl*, *ch* をその中間点で各々, 2つの音楽片

*m*₁, *cl*₁, *ch*₁, および *m*₂, *cl*₂, *ch*₂ に分割

*d*₁ ← (*m*₁の密度); *d*₂ ← (*m*₂の密度)

*d*₁, *d*₂ の内, 小さい方を *d*_i, 他方を *d*_j とする

if *d*_i < *d* then

旋律 *m*_j を模倣して *cm*_i を生成

if *m*_i (*m*_j) の長さ = *u* then

*cm*_j ← *cl*_j (*cl*_j をそのままコピー)

else

*cm*_j ← generate-counter-melody
(*m*_j, *cl*_j, *ch*_j)

endif

cm ← (*cm*_i と *cm*_j を添字の順に連結)

else

cm ← *cl* (*cl* をそのままコピー)

endif

endif

図 6: 基本区間長の対旋律を生成するアルゴリズム

4 対旋律の生成実験と評価

3章で述べた4つの条件を満たす10曲を用いて, 対旋律の生成実験を行った. 表4に, 基本区間長および最小単位長を共に1小節とした場合の結果を示す. この条件では, generate-counter-melody は再帰的な呼び出しせず, 1小節内でのリズム補填, 模倣のみを行う. 表では, リズム補填と模倣

の回数を示した.

また, 対旋律と主旋律が干渉する度合を調べるため, 次の式で計算される不干渉度を求めた.

$$\text{不干渉度}(\%) = \frac{\left(\frac{\text{対旋律と同時に演奏されない主旋律の音符数}}{\text{主旋律の全音符数}} \right) + \left(\frac{\text{主旋律と同時に演奏されない対旋律の音符数}}{\text{対旋律の全音符数}} \right)}{\left(\frac{\text{主旋律の全音符数}}{\text{主旋律の全音符数}} \right) + \left(\frac{\text{対旋律の全音符数}}{\text{対旋律の全音符数}} \right)} \times 100$$

ここで, 同時に演奏されない音符とは, その音符の開始位置で, もう一方の旋律のある音が開始されることがないことをいう. 不干渉度が100%であれば, どの主旋律の音も, また対旋律の音も, 他と開始位置が同じでないことを示す. また0%であれば, 主旋律だけで, また対旋律だけで開始する音が曲全体を通して1つもないことを示す. 不干渉度の大きい対旋律を生成することは, 本手法の意図である.

表4には更に主観的な評価を含めた. 主観的评价は自動演奏された曲を聴き, 旋律の独立性, メロディーの自然さ, 和音の整合性の点から, 満足の可否を判定した.

この実験では, リズム補填に比べて, 模倣が効果的に用いられたことが分かる. また, 主観的评价において成功した事例では, 不干渉度が比較的高く, この点で, 干渉の度合が曲の良し悪しに影響することも確認できる. また, 不干渉度の値は, 本手法が干渉度の低い対旋律の生成において, 効果のあることを示す.

主観的评价において, 2, 3, 6番の曲は失敗と評価された. このうち2は, 曲が単調なリズムで構成されているため, 主旋律の特徴がうまく活かせなかった. また, 不干渉度も低い. また3は多くの模倣が起きているが, 主旋律の音の動きが比較的多く, 干渉が起きてしまった. 6は, 対旋律の音高が常識的範囲を越えて配置され, 曲として不自然なものとなった.

図7に, 基本区間長を2小節(最小区間長は1小節)とした場合の結果を示す. 比較のため, 基本区間長1小節の結果も並記してある. 第4小節において, 第3小節のメロディーが主旋律から模倣されている. 基本区間長を1小節とした場合は, このような小節を越えた模倣は起きない. メロディーのフレーズが長く, 曲の緩急が激しい場合, 基本区間長を長くすることは有効であると考えられる.

1:主旋律, 2:コード, 3:カウンターライン, 4, 5:生成された対旋律(4は基本区間長=1小節, 5は基本区間長=2小節)

図 7: 本手法を用いて生成した対旋律の例

曲番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
補填(回)	4	0	0	4	0	2	0	0	0	0	1.0
模倣(回)	3	5	7	3	7	6	6	2	7	4	5.0
干渉度(%)	64	46	54	72	57	73	50	55	68	57	61.1
主観評価	○	×	×	○	○	×	○	○	○	○	

表 4: 10曲の評価の平均

5 おわりに

本研究で、主旋律とコードを与え、そこから主旋律の特徴を生かした不干渉な対旋律を生成する手法を示した。本研究では10曲の事例を扱い、そのうち7曲が満足な結果が得られた。対旋律の生成でうまくいかなかった事例をいくつか挙げる。

- 曲全体がほぼ同一の密度を保っているために主旋律の特徴が生かされない
- カウンターラインが生成された時点で常識を逸する範囲まで音の高さが拡大した(コードの構成音の範囲を制限して対処した)
- 模倣した部分が不協和音として聞こえてしまう(区間の最初以外の音のほとんどがコードの構成音と半音などで異なる)
- 区間の最初以外の音が主旋律の音と音の高さや演奏するタイミングが同じ(干渉している)

曲の客観的評価法、多様な曲相の曲への適用について今後研究したい。

参考文献

- [1] 伊藤 響, 犬塚信博, 成瀬雅代, 伊藤英則: 「主旋律の特徴を生かした不干渉な対旋律の生成手法」, 情報処理学会第58回全国大会1998.
- [2] 村井嗣児: 「新総合音楽講座3-複旋律作法」, 財団法人ヤマハ音楽振興会, 1990
- [3] 岡田昌大: 「実用的2声対位法-理論および実習と応用」, 音楽之友社, 1996.