

模擬育種法による作曲支援システムの試み - 多数パートへの拡張

畝見 達夫, 仙田 学*

創価大学 工学部 情報システム学科

模擬育種法に基づく作曲支援システムの設計について述べる。Sbeat2 と名付けられた我々のプロトタイプシステムでは、育種の単位である個体をソロ楽器 5 パート、ピアノ、ドラムス、パーカッションの計 8 パートからなる 16 拍の小節に対応させる。遺伝情報からある種の再帰アルゴリズムを用いて旋律を生成する。画面に譜面の形式で表示された個体の中から気に入ったものを選択し、音を確認し次世代集団を生成するための親とする。親の遺伝子に突然変異と交叉を加え子孫の遺伝情報を構成する。この世代交代をくり返すことによってユーザは徐々に気に入った音楽を得ることができる。テンポや音色など領域固有の操作機能を埋め込むことによって、初心者が簡単に気に入った音楽を作るための支援ツールを構成することができる。

* 2002 年 4 月よりコスモ・サイエンティフィック・システム 勤務

A Study on Building a Support System for Music Composition by Simulated Breeding Method - Extension to Multi-part

Tatsuo Unemi and Manabu Senda*

Department of Information Systems Science, Soka University

<http://www.intlab.soka.ac.jp/~unemi/>

This paper presents a design of support system for musical composition based on Simulated Breeding. In our prototype system named Sbeat2, each individual in the population is a bar of sixteen beats including eight parts, five solos, piano, drums, and percussion. The melody is generated by a type of recursive algorithm from genetic information. By selecting favorite pieces among scores displayed on the screen, the user certifies the sounds and selects them as parents for reproduction. The genetic codes of children are generated through mutation and crossover. Iterating this process, the user obtains better pieces gradually. Embedding some domain specific functions, such as changing tempo and selecting tones, we can build a useful tool to make it easier for a beginner to compose his/her favorite musical pieces.

* Working at Cosmos Scientific Systems, Inc. from April 2002.

1 はじめに

計算機を用いて音楽活動の幅を広げようとする試みは古くから行われてきた [1]. 中でも作曲については MIDI 技術 [2] の確立と共に商用の支援システムがいくつか開発され、軽音楽分野を中心に広く普及しつつある。しかし、それらはある程度の音楽知識と技能をもったユーザを前提に設計されており、自分独自の新たな旋律を思い浮かべることができない

初心者にとってはほとんど無用である。

我々是对話型進化計算法 [3, 4] を作曲支援に応用し、初心者でも手軽に個性的な音楽を生成できるシステムの構築を目標として、そのプロトタイプの設計を試みてきた [5, 6]. 対話型進化計算法は、計算機側から提示される複数の候補案の中からユーザ自身が気に入ったものを選択するという操作を中心としており、人間が思い浮かべなかつたデザインを生み出

すことも可能である。また、ユーザの主観的な評価基準による最適化のための有効な手法として、アートの他、福祉機器の調整、意匠設計、データ解析などの分野への応用も試みられてきた。各個体に対する適合度を事前に定義された評価関数によって計算する通常の進化的計算法とは異なり、対話型進化計算法ではユーザが直接的に各個体に評価を与える。対話型進化計算法の一種である模擬育種法 [7] では、ユーザが気に入った個体を直接選びだし、次世代の個体群を生成するための親とする。つまり、適合度は 1 または 0 である。この方法では親個体の確率的選択はなされないが、ユーザがすべての個体に適合度を割り当てる必要はなく、ユーザの操作量を軽減できるという利点がある。

模擬育種法の応用領域として成功をおさめた分野の 1 つに CG アートがある。芸術分野では作者あるいは鑑賞者の主観的な判断が最も重要な評価基準となるため、対話型進化計算法の恰好の応用領域とされ、多くの応用が試みられてきた。音楽や効果音の設計も同様に主観的評価が必要な領域である。画像の品種改良システム [8] では、コンピュータの画面に 1 度に 16~20 の候補画像を表示しても、ユーザは僅かな時間でそれらの優劣を判断することが可能であり、選択に時間を要することは少ない。しかし、音響情報そのものは同時に複数を 1 人のユーザに提示することは困難であり、各個体の評価には相応の時間が必要となる。このため、次世代の親の候補となる個体の集団サイズは画像の場合よりも小さくならざるを得ない。この点からも、集団内のすべての個体に適合度を割り当てる対話型遺伝的アルゴリズムよりも模擬育種法を用いる方が適切であろうと考えられる。

J. A. Biles は、音楽に固有の問題を解決するために独自の評価インタフェースを提案し、それを実装したシステム GenJam [9] を用いて、作曲および即興演奏エージェントの設計を行った。GenJam では集団内の各個体が交互に演奏を受け持ち、ユーザは演奏を聞きながら 'g' (= 良し) あるいは 'b' (= 悪し) のキーを押すことにより評価を入力する。ユーザは聞いているフレーズと個体の対応を認識する必要も、個体毎の評価を明示的に与える必要もない。

GenJam とは異なる枠組みとして G. L. Nelson の実験的なシステム Sonomorph [10, 11] がある。ピアノロール紙風の線分による表記を用いた視覚化により、短いフレーズを個体単位とする 9 個体からな

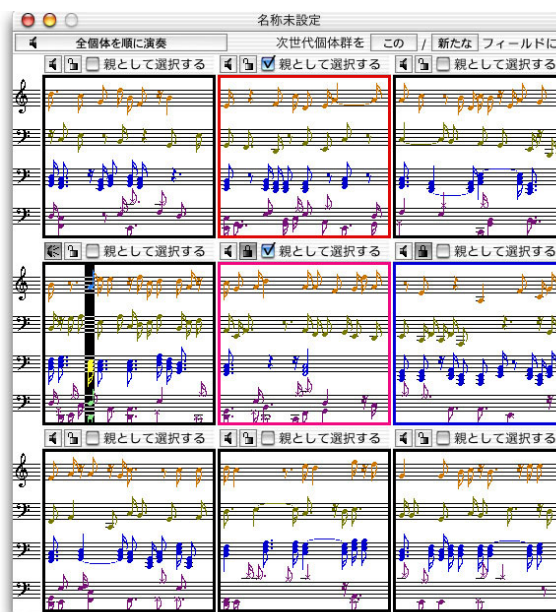


図 1: Sbeat2 の典型的なウィンドウ。初期集団として 9 つの個体が含まれている。

る集団の品種改良を可能としたものであり、模擬育種法の一種と位置付けることができる。本研究では、Sonomorph と同様に短いフレーズを個体とするシステムの設計を試みる。本論文では、ギター、ベース、ドラムスの 3 パートからなるフレーズを対象としたシステム Sbeat [5] を 8 パートに拡張した Sbeat2 について述べる。Sonomorph から拡張された機能として、遺伝型から表現型を生成する再帰アルゴリズムの採用、通常の楽譜に近い表現を用いた視覚化、演奏と選択のためのユーザインタフェースの改良、テンポや音色の選択のためのユーザインタフェース、マルチフィールドによる多様性の維持、などがある。

以下の節では、個体の表現型、遺伝型の構造、形態形成過程、ユーザインタフェースのそれぞれを順に説明する。

2 個体の表現型

ここでの表現型、つまり選択対象の単位は、8 つのパートからなる 16 拍分の長さの小節とする。集団サイズは 9 程度で、図 1 にあるようなウィンドウに各個体の譜面を表示する。3 × 3 に配置されたサブウィンドウの 1 つ 1 つが各個体に対応する。ただし、各サブウィンドウに 8 パートすべてを表示せず、ユーザが選択した 4 パートのみを表示する。1 小節を 1 個体とし、拍の最小単位を 16 分音符として

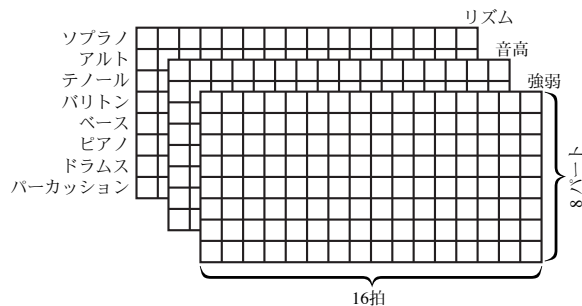


図 2: 遺伝型の構造

表示している。現在のところ 3 連符や 32 分音符は実装されていない。ユーザは、表示された譜面およびコンピュータに装備された General MIDI[2] 音源によって再生される音に基づいて次世代の親となるべき個体を選択する。

各ソロパートでは 1 つのパートで同時に複数の音をならすことはないが、ピアノパートでは、3 度ずつ離れた 3 つの音を同時に演奏する。演奏に使われる音色について、ユーザは 5 節で述べるパートオブションダイアログを使い General MIDI に用意された任意の音色に変更することがきる。ドラムとパーカッションのパートでは、それぞれに割り当てられた 16~32 種類の楽器から同時に 2 つを選んで演奏される。

3 遺伝型の構造

前節で述べた表現型を遺伝型としてコード化するには、パート数分の音符列の情報を遺伝型に含める必要がある。ここでは、各パートごとに旋律の特徴であるリズムと音高の情報を分離し、さらに強弱のゆらぎの情報を加え、3 種類の染色体を各個体に持たせる。各染色体は図 2 に示すとおり、各パートの各拍に関する情報を格納した 2 次元配列である。音高部分は音高そのものを直接表わすのではなく、4 節で述べる譜の生成手続きのためのパラメータとして用いられる。ただしドラムとパーカッションのパートでは音高ではなく楽器の種類を直接指定する情報とみなす。リズム部分は上位 4 ビットのみを用いて以下のように解釈する。

- (1) もし最上位ビットが 1 であれば、それまでの音を続ける。(継続)
- (2) もし上位 3 ビットが 011₂ であれば、音を鳴らさない。あるいは音を消す。(休符)
- (3) いずれでもなければ、音高情報に従って音を鳴

```
fill_notes(gene, width) begin
  w := (width + 1) / 2;
  if w ≤ 1 then k[0] := (gene[0] & 01112) + 4;
  else fill_notes(gene, w);
  i := w;
  while i < width do begin
    s := k[i - w] + delta(gene[i]);
    k[i] := min(max(s, 0), 15);
    i := i + 1
  end
end
end
```

図 3: 遺伝型から基本旋律を生成するための再帰アルゴリズム。 $k[i]$ は基本旋律を構成する $i + 1$ 番目の整数。関数 $\text{delta}(x)$ は、遺伝子 x 中の音高部分の値をもとに、 $[-2, 2]$ の範囲の整数を返す。

らす。すでに鳴っている音があれば、その音を消した後で新たに音を鳴らす。(演奏)

すなわちランダムに生成された遺伝型では、音の継続の確率は 50%，休符は 12.5%，演奏は 37.5% となる。これらに加え、比較的安定感のあるリズムパターンを生成するために、小節の最初および 8 拍目では継続を抑止し、休符の確率は 12.5% のままにし、演奏の確率が 87.5% となるようにした。

ドラムとパーカッションのパートには同一拍内に 2 種類の楽器を選択するために音高の染色体の要素を 4 ビットと 5 ビットの 2 つの整数と解釈し、あらかじめ用意した 16~32 種類の楽器の中から選択する。

世代交代時の遺伝操作にはビット反転による突然変異と 1 点交叉を用いる。各ビットの突然変異率は 5% とした。模擬育種法では、少ない個体数の中での多様性を確保するために比較的高い突然変異率を用いるほうがよい。交叉における分割の箇所は拍単位境界のみとし、1 から 15 の中からランダムに選んだ位置で前後に分割する。ユーザが 1 つの個体のみを選択した場合は突然変異のみが施される。2 つ以上の個体を選択した場合には交叉のみが行われる。いずれの場合でも、親個体は、次世代もそのまま残され、選択されなかった個体が新たに生成された子孫に置き換えられる。

4 遺伝型からの譜の生成

遺伝型から表現型を生成する発生過程は、ランダムに初期化された遺伝子から生成される初期集団あ

るいは突然変異によって生成される次世代集団の中に、より好ましい候補を生成するために重要な役割を果たすものである。ランダムに生成された個体の中から、その後の進化の種として適当なものを見つけられなければ、育種は困難なものとなる。

1つの有用な方法は表現型に含まれる特徴の発現確率を調整することである。受け入れ可能な解候補についての統計的性質が分かっているならば、遺伝型から表現型への変換手続きの中に、適切な確率分布を埋め込むことができる。上に述べた遺伝型の設計にはこのような考え方が反映されている。

もう1つ考慮すべき点は候補の類似性という視点からとらえた表現型の構造である。他の分野と同様に音楽の領域でもコード、メロディ、テンポ、リズムというように1つの音楽を特徴付ける複数の属性がある。すなわち、候補間の類似性は多次元空間を構成する。突然変異体と元の個体とのある程度の類似性を保証するには、遺伝型の構造およびそれを解釈する発生手続きが表現型の構造を反映するものであることが望ましい。この考え方に基いて、遺伝型から基本となる旋律を生成するための再帰アルゴリズムを設計した。これにより、遺伝型の類似性と聞き手の曲の類似性についての感覚をある程度一致させることができる。人間が作曲した多くの音楽には曲組、コード進行、フレーズといった多重階層構造がある。ここでは、そのような構造を表現型に内包させる仕組みとして、再帰アルゴリズムによる譜面の生成を取り入れる。

図3にアルゴリズムの詳細を示す。基本旋律は個体の拍数(ここでは16)個の整数で表現される音高の列である。 i 番目の整数 k_i は i 番目の拍に対応する遺伝子から得られる値 g_i と、 $(i-w/2)$ 番目の整数 $k_{i-w/2}$ の和とする。ここで、 w は j を任意の整数としたときの i よりも小さな最大の 2^j の値である。すなわち $k_1 = g_1, k_2 = k_1 + g_2 = g_1 + g_2, k_3 = k_1 + g_3 = g_1 + g_3, k_4 = k_2 + g_4 = g_1 + g_2 + g_4$ といった具合に、 g_1 はすべての音高の基礎となり、 g_2 は1拍おきに加算され、 g_3 は3拍目から始まる4拍ごとに加算され、 g_4 は4拍目から始まる4拍ごとに加算される。以下、 g_i は i 拍目から始まる 2^j 拍ごとに加算される。ここで 2^j は、 j を整数としたときの i よりも小さくない最小の整数である。例えば、 $g_1 \sim g_8$ が、5, 2, -2, 1, -1, 0, -2, -1であるとすると、生成される整数 $k_2 \sim k_8$ は、 $5 + 2 = 7, 5 - 2 = 3, 7 + 1 = 8, 5 - 1 = 4, 7 + 0 = 7, 3 - 2 = 1, 8 - 1 = 7$

となり、結果的に $k_1 \sim k_8$ は5, 7, 3, 8, 4, 7, 1, 7となる。このアルゴリズムは生成すべき譜の長さが2の冪乗でない場合でも、譜を前後2つに分割することで適用可能である。長さが奇数の場合には前半を1拍長めにすれば良い。これとは別の方法として、割り切れる最小の素数を用いて分割することも考えられる。

生成されたそれぞれの整数は、平均律の半音単位(1オクターブ=12音)ではなく、長調(あるいは短調)の1オクターブ8音の音階に対応させる。半音単位の音階に対応させた方が生成される旋律の幅は広がるが、ここでは初心者にとって受け入れやすい旋律を生成することを考え、例えばハ長調あるいはイ短調でのピアノの白鍵に対応する音階に限定した。なお、整数値の範囲を0から15に制限していることで、音域は2オクターブと3度となる。

ピアノパートの譜は上記の基本旋律とリズム情報の組み合わせを元に、リズム情報が「演奏」である拍に対応する音を基本旋律の対応する位置の整数から求めることにより生成する。対応するリズム情報が継続あるいは休符である場合には、基本旋律情報は無視される。基本旋律の音と同時に3度上および3度下の音も演奏される。

染色体上には8パートに対応する情報が保持されているが、5節で述べる遺伝子/パート間対応ダイアログを用いて、複数のパート間で遺伝情報を共有させ、その他の部分を無視することもできる。共有されたパート間では同期したフレーズが生成される。ソロパートの音高は、基本旋律、あるいは、そこから ± 3 度ずらした音とする。基本旋律との差は対応する拍の音高部分の遺伝情報から決定する。

5 ユーザインタフェース

図1に示したとおり、ここでは集団サイズを9個体とした。9という数はシステムの試作をとおしていくつかのサイズを試した経験から決めたものである。経験的には12個程度が限界と思われる。

SBARTに取り入れられたマルチフィールドインターフェース[12]を導入する。これは複数の個体集団を同時に独立に育種する方法であり、コピー & ペースト、および、ドラッグ & ドロップ操作による集団間の個体の移住を利用することで、生物進化における島モデルのように、多様性の維持をはかるというものである。特に集団サイズが小さい場合には効果は大きい。



図 4: パートオプションダイアログ



図 5: 遺伝子/パート間対応ダイアログ

個体をクリックすると、その個体がくり返し演奏される。高木らの実験結果 [13] にもあるとおり、個体を選択すべきかどうかを判断するために、全ての個体を順に演奏させることも有効である。これを実現するため、図 1 のとおり、フィールドウィンドウの左上部分に「全個体を順に演奏」するボタンを設けた。

ユーザは図 4 に示すダイアログウィンドウを使って、パート毎の付加的な属性を変更することができる。「長さ」と書かれた桁のポップアップメニューによって小節内のフレーズを 2 回あるいは 4 回のくり返しパターンに変更することができる。この場合、前半 1/2 あるいは 1/4 の遺伝情報のみが使われ残りは無視されることになる。音色と書かれた桁のポップアップメニューで楽器の種類を指定することができる。右端の桁は演奏時の効果を制御するためである。右上端のポップアップメニューは制御すべき効果の種類を選ぶためのものであり、その下にパートごとに並べられたスライダーは、対応するパートの制御パラメータを指定するためのものである。制御対象となる効果には、パン (左右バランス)、ボリューム、リバーブ、コーラス、セレステを用意している。

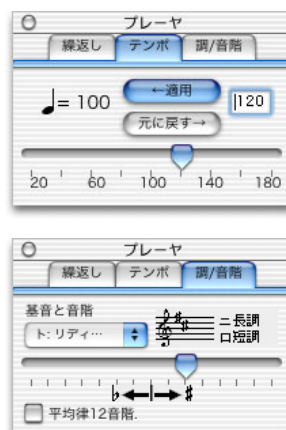


図 6: プレーヤダイアログ

これらの効果に関するパラメータの他に、そのパートの演奏音をオクターブ単位にシフトする機能も追加した。これにより、任意の楽器を選択した際の音域の調節が可能になる。

図 4 に示すダイアログウィンドウを使って染色体上の遺伝情報とパートとの対応を変更することができる。パートオプションダイアログの「演奏」と「表示」のボタンとこの遺伝子/パート間対応ダイアログの「保護」ボタンの組み合わせにより、パート毎に独立した育種が可能となる。

また、ユーザは図 6 に示すダイアログウィンドウを使い演奏のテンポやスケールを変更することもできる。テンポについては 1 分当りの 4 分音符の個数を 20~180 の間の任意の整数値に設定する。

品種改良によって出来上がった 1 小節分の譜面を組み合わせ何小節かにわたる曲を構成するために個体あるいは個体を構成するパートをコピー&ペーストの操作により移動する機能、および、統合用に用意された別のウィンドウにペーストする機能も用意した。また、出来上がった音符データを別のデスクトップミュージック (DTM) 用のアプリケーションソフトウェアに入力できるよう、MIDI データをファイルに格納するための標準フォーマットである標準 MIDI ファイル (SMF) の形式に保存する機能も用意している。SMF 形式のファイルには、テンポ、音程およびパートオプションダイアログで指定された音色や効果の情報も保存される。このファイルをウェブページに埋め込むことで、一般に普及しているウェブブラウザを用いて再生することも可能である。

6 おわりに

模擬育種法を用いて短い音楽を作成するシステムの設計について述べてきた。パート数を3から8に増やすことで、小編成の合奏曲を作成することが可能になった。

上で述べたシステムでは、1小節を16拍としたが、3/4拍子や5/8拍子、あるいは32分音符や3連符なども扱えるようにすれば、作曲の幅を広げることができよう。

同時に扱えるパート数をさらに16パート程度まで増やし、ソロパートの増設や打楽器について詳細な設定を可能とすれば、ラテン音楽やオーケストラのように複数の打楽器奏者が想定される音楽も作成しやすくなると思われる。

突然変異によって親個体から様々なバリエーションが生成される。短いフレーズのバリエーションの連続という構成自身も、曲の構成方法の1つとして有用である。また、表現型に当たる楽譜から遺伝型への逆変換の機能を備えれば、ある意味での編曲支援が可能となり、作曲の熟練者にも有用なツールとなる可能性もある。

曲全体の創作支援システムへと発展させるには、コード進行、曲組など、上位の曲構造の育種 [14] と組み合わせる必要がある。その実現にはレベル毎の育種の方法や、階層化された集団構造などの導入を検討する必要がある。また、リズム [15] や音色 [16] の品種改良との融合も考えられる。

今後は、様々なタイプのユーザを想定し、使い勝手についての調査も行いながら、応用範囲を拡大していきたい。

参考文献

- [1] Roads, C.: *The Computer Music Tutorial*, MIT Press (1996).
- [2] Midi Manufacturers Association: *The Complete MIDI 1.0 Detailed Specification*, La Habra, CA (1995).
- [3] 高木英行, 畝見達夫, 寺野隆雄: 対話型進化計算法の研究動向, *人工知能学会誌*, Vol. 13, No. 5, pp. 692-703 (1998).
- [4] Takagi, H.: Interactive Evolutionary Computation: Fusion of the Capacities of EC Optimization and Human Evaluation, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 89, No. 9, pp. 1275-1296 (2001).
- [5] Unemi, T. and Nakada, E.: A Tool for Composing Short Music Pieces by Means of Breeding, *SMC '2001. Proceedings of the IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Tucson, AZ, USA, pp. 3458-3463 (2001).
- [6] Unemi, T. and Senda, M.: A New Musical Tool for Composition and Play Based on Simulated Breeding, *Proceedings of Second Iteration* (Dorin, A.(ed.)), Clayton, Victoria, Australia, pp. 100-109 (2001).
- [7] 畝見達夫: 人工生命が作ったアートの世界 - 人工生命とコンピュータグラフィックス, 人工生命の近未来 - 新たな生を作るテクノロジー (柴田崇徳, 福田敏男(編)), 時事通信社 (1994).
- [8] Unemi, T.: SBART2.4: Breeding 2D CG Images and Movies, and Creating a type of Collage, *KES '99. Proceedings of The Third International Conference on Knowledge-based Intelligent Information Engineering Systems*, Adelaide, Australia, pp. 288-291 (1999).
- [9] Biles, J. A., Anderson, P. G. and Loggi, L. W.: Neural Network Fitness Functions for a Musical IGA, *IIA '96/SOCO '96 International ICSC Symposium on Intelligent Industrial Automation And Soft Computing*, Vol. B, pp. 39-44 (1996).
- [10] Nelson, G. L.: Sonomorphs: An Application of Genetic Algorithms to Growth and Development of Musical Organisms, *Proceedings of the Fourth Biennial Art & Technology Symposium*, Connecticut College, pp. 155-169 (1993).
- [11] Nelson, G. L.: Further Adventures of the Sonomorphs, *Proceedings of the Fifth Biennial Art & Technology Symposium*, Connecticut College, pp. 51-64 (1995).
- [12] Unemi, T.: A Design of Multi-Field User Interface for Simulated Breeding, *Proceedings of the third Asian Fuzzy Systems Symposium*, Masan, Korea, pp. 489-494 (1998).
- [13] Takagi, H. and Ohsaki, M.: IEC-based Hearing Aid Fitting, *SMC '99. Proceedings of the IEEE Conference on System, Man and Cybernetics*, pp. 657-662 (1999).
- [14] Unehara, M. and Onisawa, T.: Composition of Music Using Human Evaluation, *Proceedings of 2001 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, Melbourne, Victoria, Australia (2001).
- [15] Tokui, N. and Iba, H.: Music Composition with Interactive Evolutionary Computation, *GA2000. Proceedings of the third International Conference on Generative Art*, Milan, Italy (2000).
- [16] 岩井政佳: 遺伝的アルゴリズムによるFM音源パラメータの調整, 夏のプログラム・シンポジウム「娯楽とコンピュータ」(1994).