

能動的音楽聴取インタフェースの作曲支援 IEC への取り込み

安藤 大地 稲田 雅彦 丹治 信 伊庭 斉志

dando, inada, tanji, iba@iba.k.u-tokyo.ac.jp

東京大学大学院新領域創成科学研究科基盤情報学専攻

アート作品の創作に対話型進化論的計算を適用する研究において、評価時のユーザ負担を軽減するため、何らかの評価支援システムを用いる手法は多く行われている。しかし、提示する個体の方向性を決め、それに沿った個体のみ提示するなどの手法は、実際のアート作品の創作に用いる場合、対話型進化論的計算を用いる利点である予想できない良い作品が生成される可能性を減少させてしまうという問題がある。

本論文では、著者らが開発した音楽創作支援のためのシステムのユーザインタフェースについて述べる。新たなインタフェースは、評価自体に楽しみを感じさせ評価に要するユーザ負担を減少させることを目的として、能動的音楽聴取ユーザインタフェースの概念を取り込んでいる。開発した新たなインタフェースを実際に複数人数に使用してもらった所、フィルタを用いなくても従来型のインタフェースに比べユーザが楽しみを覚え、評価負担が減るという結果を得ることが出来た。

キーワード: 対話型進化論的計算, 対話型インタフェース, 作曲支援, 能動的音楽聴取

Adopting Active Playback Interface into Composition-Aid IEC System

Daichi Ando Masahiko Inada Makoto Tanji Hitoshi Iba

dando, inada, tanji, iba@iba.k.u-tokyo.ac.jp

Dept. of Frontier Informatics, Graduate School of Frontier Sciences,
The University of Tokyo.

Filtering techniques for individual presentation in Interactive Evolutionary Computation(IEC) are very useful to reduce user's burden. On the other hand, the filtering techniques also reduce unexpected good artistic results when applying IEC into art creation. In this paper, we propose a new IEC interface which adopts active music playback interface for a IEC based musical composition-aid system. Using the new interface, the system motivates users, reducing user's burden, without any filtering techniques for individual presentation. We perform an experiment where subjects use the new interface to validate it. As a result of the experiment, we conclude the new interface is better to motivate users to compose with IEC system than the old interface.

Keywords: Interactive User Interface, Interactive EC, Composition-Aid, Active Playback

1 序論

著者らは、対話型進化論的計算 (Interactive Evolutionary Computation, IEC) を用いた音楽創作支援システム CACIE を構築してきた [安藤 05, 安藤 06].

CACIE の特徴として、以下のようなものがある。

1. 個体提示の際にフィルタを用いないので、予想外に良い個体の出現の機会を潰してしまうことがない。
2. クラシック音楽の作曲の際に用いる段階的作曲手法を取り込む事で、短いフレーズではなく、長い「曲」を生成する事が可能。
3. マルチフィールドユーザインタフェースにより、様々なバリエーションを生成するという作曲プロセスに適合した進化プロセスを用いる事が出

来る。

4. 染色体の直接編集や関数ノードのプログラミングにより、収束する前に作曲家のイメージをそのまま取り込み最終的な形にすることができる。

IEC の一番の問題として、ユーザが評価を行う際の負担があげられる。そこで、ユーザ負担の軽減を狙い、ユーザの過去の評価の傾向を蓄積しそれに適合した個体のみを提示するフィルタを用いたプレゼンテーションインタフェースが提案された。そのようなインタフェースは、主に創作の経験を持たないユーザ向けのシステムに導入され、高い評価を受けている [Biles 96, Takagi 96, Tokui 00].

しかし、このようなフィルタは、IEC を創作に用いる利点の一つであるユーザが思いもつかなかった良い結果を得ることができる可能性を減少させてしまうという欠点がある。そのため、IEC の利点を生かす必要がある実

際に創作に用いる事ができる創作支援システムには適さなかった。

そこで CACIE では、本格的に音楽創作支援に用いることができる IEC システム目標にして、個体提示の際にフィルタを用いずに、遺伝子表現そのものを工夫することで、フィルタを用いずに有用な個体のみを提示する方法をとった。

さらに、特徴 2, 3 のような過去の IEC のインタフェースの研究を改良し取り込んだことにより、CACIE はプロフェッショナルの創作において大きな効果をあげた。

しかしながら、CACIE はいくつかの問題点を持っていた。

1. 運用が難しく作曲作業を行う「やる気」をユーザに持たせることが出来ない。素人向けのエンタテイメント性がない。
2. 個体の識別が難しい。それに伴って、似ている曲の聴き比べをすることが出来ない。

CACIE は優れたプロフェッショナル向けのシステムとして構築された。従ってシステムを使う人間は作曲家として音楽構造や作曲法を理解し、音楽創作を行う意志の強い人間を想定している。そのため作曲の経験や音楽の知識がない一般ユーザが CACIE を使用するのには困難となった。アート創作の知識がないユーザが楽しんで容易にアート作品創作を行うことができるというのも、IEC を用いたアート創作支援の一つの利点であるが、CACIE はそれを満たしていない。

また、従来の CACIE では、個体は単なる文字列ストリングとして表示される。そのため、ユーザが個体の識別や個体間の類似などを見した状態では判別することが出来なかった。CACIE では、染色体ツリーを表示させる事で個体識別を行う事も出来るが、表示に大きな面積を使うため全ての個体を一度に表示できるわけではなく、あまり実用的ではなかった。

また、似ている個体同士を比較する事でユーザは点数付けを行うが、CACIE では類似個体をまとめて提示する方法は行っていないために、ユーザが聴き比べを行う際に個体の取り違えを行うなど、ユーザに負担を強いるものであった。

以上に述べてきた、個体の識別や類似している個体の提示の問題や、一般ユーザが楽しんで音楽創作を行えなかった問題を解決するため、新しい IEC インタフェースの構築を行った。新インタフェースの構築に際しては、元々の CACIE の利点を失わないために、提示個体のフィルタリングなどの手法を導入する事はせず、本格的なアート創作のためのシステムというコンセプトは継承した。

具体的には、近年研究が進んでいる能動的音楽聴取インタフェースの概念を取り込み、また対話型進化論的計算の特有の問題である評価方法の改良を行い、新たなインタフェースを構築した。改良における目標は以下の通りである。

1. 全体的にユーザの好奇心をあおり音楽創作を行いやすくするようなユーザインタフェース
2. 個体同士や個体の情報の識別がしやすい提示インタフェース

3. 直感的かつ負担を要しない評価値入力インタフェース
4. プロフェッショナル向けの機能の存続

2 研究の背景

2.1 対話型進化論的計算

2.1.1 IEC の概要と問題点

IEC は、生物の進化の過程をモチーフにした最適化手法である遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm, GA) や遺伝的プログラミング (Genetic Programming, GP) などの進化アルゴリズム (Evolutionary Algorithm, EA) の評価関数を人間に置き換えたものである。

アート創作に IEC を用いる場合、評価関数をせずにシステムを使うユーザが評価を直接行うことで、作品創作支援システムとして用いることが可能である。その場合、最初から収束ポイント、つまり作りたい作品の最終的な形が決まっているわけではなく、システムとの対話の中で変化していく [Kuriyama 98]。また、確率論的な要素を含む手法である IEC を用いることで、今までは思いもつかなかった作品を創作できる可能性がある。

IEC の大きな問題点の一つとして、ユーザの負担がある。

通常の EA の最適化の場合、評価は自動的に行われるので、100 万回の評価でも計算コストのみの問題となり、時間やプロセッシングパワーで解決できるが、人間が評価するとなると現実的には解決できない問題となってしまう。

2.2 IEC のインタフェースの工夫

対話型進化論的計算はユーザがそれぞれの個体を直接評価するシステムであるため、評価時のユーザの負担を考えると取り扱うことができる集団サイズを大きい値に設定することができない。工夫の一つとして、前述の、提示個体のフィルタリングを用いてユーザが評価する個体数を減らすという手法がある。また、聴取と評価生成された子集団が親集団を直接置き換えずに、別のウィンドウに表示されるマルチユーザインターフェイスという手法も提案されている [Unemi 98, Tokui 00]。さらに

個体の判別や比較のための、個々の個体の提示についても、楽譜を表示する敵見 SBEAT システム [Unemi 02b, Unemi 02a] や、特徴量を抽出し 2 次元上にひもとして表示する Dahlsted の MutaSynth [Dahlstedt 04] いくつかの方法が模索されている。

2.3 能動的に情報に接するためのインタフェース

後藤らの "Musicream" [後藤 04] では、類似する楽曲を「くつつける」インタフェースにより、ユーザが次々と楽曲を切り替えて演奏することが可能になっている。この機能は音楽のザッピングと呼べるものであり、ユーザに未聴の楽曲に対する興味を強く持たせることに成功している。

Musicream では音楽という簡単には表現しづらい時系列データを扱うため、アーティスト名とタイトル名のみが書かれた水泡型のアイコンを用いる。

Musicream において特徴的であるのは、情報を表現

するアイコンが時間によって「動く」ことである。Musicream では、アイコンが半分開けた蛇口からしたたる水のように下に流れていく。ユーザは気に入ったアイコンを画面上でドラッグして類似の「くつつける」ことにより、水の流れに逆らうことができる。これはユーザに取って興奮をもたらし、能動的に音楽をザッピングする効果を上げることができたと後藤らは報告している。

このような先行研究より、情報アイコンという考え方や、情報アイコンが動くことによる注意の喚起と興味の引きつけ、情報アイコンをユーザが動かすことによりユーザの楽しみが増す可能性が高い、などの結果が得られる。また、渡邊らの Memorium[渡邊 02] など他の先行研究から、水をモチーフとしたユーザインタフェースが、システムを使用するユーザの心理面にいい影響を与える可能性があると考えられる。

3 実装した対話型インタフェース

3.1 概要

アート創作支援 IEC のプロセスの中でユーザが行う部分を図 1 に示す。

ユーザは個体が表現する音楽を聴きながら、各個体に対して点数を付けていく(図中 1)。評価が終わったらユーザはシステムに生殖を指示する。すると、各個体に与えられた点数に応じて新たな世代を作り出す親の選択が行われ(2)、新たな世代を作り出し(3)、親の世代を置き換える(4)。

これを繰り返す事で世代を減る度に、よりユーザの好みを反映した個体が生成される可能性が高まる。

CACIE においては図中(2)、(3)、(4)のプロセスは自動的に行われるため、ユーザが実際に行うのは、(1)のユーザが音楽を聴いて点数を付ける部分となる。

この点数を付けていく(1)部分は、個体を聴く(1-1)、点数を付ける(1-3)のみで構成されるのではなく、大体のユーザが評価の場合、他の個体と比較する(1-2)というプロセスが入る。この聴く、比較、点数付けという3つの動作は決まった順番で行われるわけではなく、状況によって様々な順番で行われる。他の個体との比較により一度決まった点数を再度動かすという場合もある。これらの順不同の動作をいかに容易に繰り返し行うことができるかが、ユーザ負担に大きな影響を与える。

(1-1) 個体を聴くという動作は、新インタフェースでは3.2で述べる部分に相当する。また、(1-2)他の個体と比較するという動作を補助する機能は3.3で述べる。(1-3)点数を付ける動作については3.4で述べる。

3.1.1 新インタフェースの概要

図2が、CACIEの新しいインタフェースの全景である。

画面右に位置する大きなウィンドウが個体提示を行うポピュレーションウィンドウである。下部には生殖を行うリプロダクションボタンが配置されている。このポピュレーションウィンドウで、図1中(2)の作業、即ちユーザが音楽を聴き点数を付ける作業を行う。

右上から一番目に位置するウィンドウは手動で染色体の修正を行うウィンドウである。右上から二番目に位置

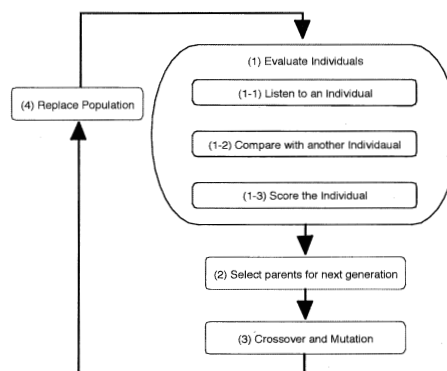


図1 Procedure to evaluate individuals.

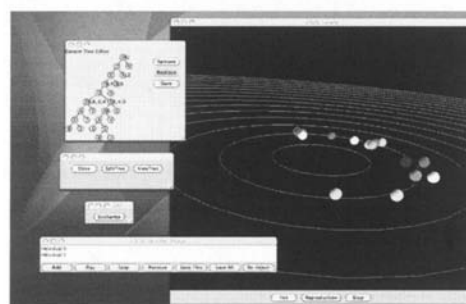


図2 Overview of the of new interface.

する個体に対して手動編集ウィンドウやテンポラリストレージへの移動を指示する機能を持ったウィンドウである。右上から三番目に位置するウィンドウは、手動で交配を行うウィンドウである。左下に位置するウィンドウはテンポラリストレージである。

3.2 個体の提示とプレイバック

図2の右側の大きなウィンドウが、個体を提示するポピュレーションウィンドウである。ポピュレーションウィンドウには、各個体が球状のオブジェクトとして提示されている。初期状態では個体は同一円周上に配置されている。各個体は、円周上をふわふわと周回している。

また、各個体にはそれぞれ違った色がついている。この色は、生殖の個体生成時に染色体や音列の特徴量を算出し、それに基づいて各個体に付けられた色である。そのため同じ集団内では同一色の個体は存在せず、ユニークなものとなっており、個体識別に利用できる。

個体が配置されている円周の傾きは、ユーザが自在にコントロールすることができる。またシステム側で何かしらの操作が行われて後には、傾きが変わる。

個体をクリックすると再生を開始する。再生は、個体が表現する旋律の再生が終了するか、他の個体をクリックするまで続く。再生中の個体は色がフラッシュ状態になり、球体が拍動するようなアニメーションが再生される。これにより、現在どの個体を再生しているのか、一

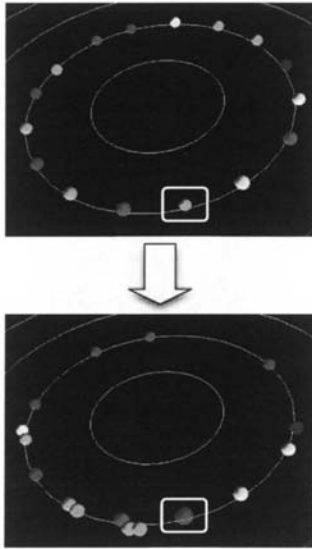


図3 Apport function to compare with similar individuals.

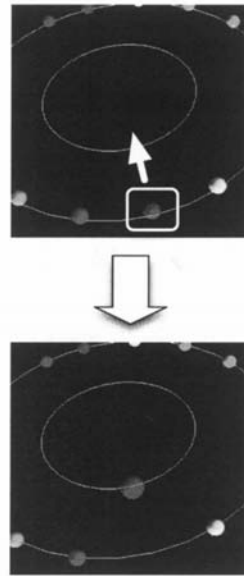


図4 Individual evaluating. Pick and Drag individual icon to evaluate.

目で分かるようになっていいる。

また、再生時の個体の情報、つまり染色体のツリー状プログラムや楽譜などが別にウィンドウに表示される。

3.3 類似個体の引き寄せ

個体を右クリックすると、選択した個体に類似した個体を選択した個体の周辺に引き寄せる効果が発生する。この類似個体の引き寄せ機能と個体の識別機能により、ユーザは簡易に各個体を聴き比べることができ、気分的な高揚を保ったまま効率的な評価を行うことが可能になる。

図3に類似個体引き寄せを示す。上の画像で四角で囲った個体に対して引き寄せアクションを適用すると、下の画像の様に、似ている個体を近くに引き寄せる。この場合は、下の画像の枠で囲った左側に似た色の個体が二つ寄ってきているが、これが選択した個体と遺伝的に近い個体である。

3.4 評価値の与え方

評価値は、個体の円の中心からの距離で与えられる。中心に近い状態で適応度が高く、遠い状態だと適応度が低くなる。初期状態ではちょうど中間となっている。

また、中心に近づくに連れ、個体を表現する球体は大きくなる。

3.5 個体特徴量の算出

前述の通り、各個体の色づけや引き寄せの動作は、複数の個体の染色体間の距離を算出した数値に依存している。

今回のインタフェースにおいては、染色体の特徴の抽出のために Levinshtein 距離を用いた。Levingshtein 距離は、木構造や文字列において、一つの染色体からもう一つの染色体に変換するために必要となる基本的な操作（ノードやセルの追加、削除など）を適用する総数として

定義されたものである。

3.6 待ち時間アニメーション

IEC のユーザ負担の一つに、システムが処理している間の待ち時間におけるユーザのストレスがある。

新しいインタフェースでは、生殖や Ontogeny の処理を行っている間にアニメーションを行うことにより作業意欲の喚起を試みた。例えば、生殖作業の待ち時間では、次に世代の集団の出現に対して、ユーザを「わくわく」させ、評価の意欲を喚起するよう効果を出さなければならない。また、評価を付け終わって一つの集団が「用済み」になる時には、「お疲れさま」の表現と何らかのユーザに対する報酬を感じさせるようなアニメーションが望ましい。実際には様々なアニメーションパターンが実装されている。

4 検証実験

4.1 実験設定

実験は、本格的な音楽創作の経験がない一般参加者を被験者として、16 人に対して行った。

実験の手順を以下に示す。

1. 旧インタフェースで 3 世代分評価を行う。途中によい個体があれば Genome Storage に保管する。
 2. 古いインタフェースについてのアンケートを行う。
 3. 新インタフェースで同様の手順を行う。
- アンケートに用いた設問内容を表以下に示す。
1. どの玉がどの曲かはっきり分からなくなることがある

表 1 Results of questionnaire

設問	新 UI	同じ	旧 UI
1. 曲ごとの判別が つかなくなる	6	4	6
2. 聞き比べが 簡単である	13	2	1
3. 点数が付けやすい	6	4	6
4. 待ち時間に対して ストレスを感じる	3	11	2
5. 作曲作業が, 楽しく感じる	10	5	1
6. このシステムを 使って音楽創作を してみたい	7	6	1

2. 似ている曲が分かりやすい
3. 点数が付けやすい
4. 計算する待ち時間が退屈だと感じる
5. 操作が楽しく、ストレスなく提示する音楽を聴ける
6. このシステムで音楽を創作してみたい

被験者は、各設問に対し、1. 当てはまる、2. やや当てはまる、3. どちらとも言えない、4. やや当てはまらない、5. 当てはまらない、の5段階で解答する。

比較するために用いた旧インタフェースは、CACIEの旧型インタフェースに、条件を合わせるためマルチフィールドユーザインタフェースの一部分を撤去した改造を行ったものである。

4.2 結果

表 1 に、実験の結果を示す。表の各数値は、旧インタフェースでの評価と新インタフェースを比較して、それぞれの UI で評価が高くなった人数を人数を表している。

設問 1 と 4 に関しては、他の設問とは違い解答の数値が低い方が評価が高いため、逆転させ提示している。

なお、CACIE の遺伝子型や作曲プロセスについては、音楽や音楽研究、音楽情報科学の専門家に対してアンケートを取った所、妥当であるという意見が多く出ている。そのため、今回はユーザインタフェースに限った実験とした。

5 考察

本章では、導入で述べた目標が達成されたかを議論する。

目標 1 の「全体的にユーザの好奇心をあおり音楽制作を行いやすくするようなユーザインタフェース」については、設問 4、5、6 に対する結果が表している。

設問 4 は、システムに感じるストレスという、音楽制作を行う際のデメリットがどれぐらいのものなのかを計

る設問である。設問 4 の結果からは、元々 CACIE の操作において、それほどストレスが発生していなかった事が読み取れる。

設問 5 と 6 は、システムがユーザの好奇心を煽り、作曲作業に対するモチベーションを与えられるかどうかを計る設問である。

設問 5 の結果として、新ユーザインタフェースの評価が高かった被験者が 10 人であり、旧ユーザインタフェースの評価を高くした被験者はほぼいなかった。また設問 6 の結果でも、旧ユーザインタフェースの方が良いとした被験者はごく少数である。

このことから、新インタフェースは旧インタフェースに比べ、ユーザに対して作業を楽しく感じさせ、音楽創作をしてみたいと思わせる効果が強いことが分かる。従って、目標 1 は達成されていると考えられる。

目標 2 の「個体同士や個体の情報の識別がしやすい提示インタフェース」については、設問 1 と 2 に対する結果が表している。

設問 1 では、新インタフェースと旧インタフェースの評価が大きく分かれ、新インタフェースに高い点数を付けた被験者と旧インタフェースに高い点数を付けた被験者が同数であり、合計で同じ点数付けをした被験者の人数を大幅に上回った。

旧インタフェースの方が優れていると感じた被験者が一定数いた理由は、旧インタフェースは個体の並び替えは一切なくで上から順番に評価していく分にはさほど取り違えはないこと、新インタフェースでの引き寄せを行った後どこまで評価したのか分からなくなる、という二つの原因があると考えられる。その反面、後述する聴き比べを旧インタフェースで行おうとした場合、どこまで評価したかが分かりにくいと感じる被験者もいたことが、実験中の被験者のコメントから判明している。そのため旧インタフェースと新インタフェースで評価が分かれたと考えられる。

設問 2 に関しては、旧ユーザインタフェースには聴き比べの機能がなかったため、新インタフェースが大幅に優れていると評価されたことは自然である。

以上のように、目標 2 に対しては、ユーザによっては個体判別を間違ってしまう可能性があるものの、聴き比べの機能を追加した事で、ある程度は達成できたと考えられる。

目標 3 の「直感的かつ負担を要しない評価値入力インタフェース」に関しては、設問 3 がこれを計ると考えられる。この設問に対する結果は、新インタフェースが良いと答えた被験者の人数が旧インタフェースが良いとする被験者の人数と同じになっている。

この点から、個体そのものの位置によって評価値を入力する方法には馴染みづらく、旧型インタフェースのフェーダを用いた方が入力しやすいとするユーザも相当数存在する事が分かった。これには 3D 表示にしたためカーソルポイントの移動方向と個体の移動方向が一致しないことがあるという実装上の問題もあると考えられる。それに関わらず、一方新入力方式を評価するユーザも多い。

2.3 章で述べた通り、情報アイコンの移動アニメシヨ

ンはユーザの意識の喚起を促し、楽しみを高める効果があると推測されている。これをふまえ、より良い改良を考案することが課題となる。

また、設問 1 と 3 に関しては、被験者から、子供の音楽教育用途としては新インタフェースの方が優れているが、音楽を作る目的を明確に持った大人には旧インタフェースの方が優れている、とのコメントが得られた。

目標 4 の「プロフェッショナル向けの機能の存続」ことについては、提示個体の制限のためのフィルタなどを付け加えたわけではないので、達成されている。

また、全ての設問に対する解答において、旧ユーザインタフェースを高く評価した被験者は、全体の約 3 分の 1 以下である。この事は、被験者の好みもあるものの、今回の改良が改悪にはなっていないことを表していると考えられる。

以上のように、改良の目標としてあげた点はほぼ達成できている。達成できなかった 3 分の 1 の被験者で見られた個体アイコン認識の混同をどのように解消していくかが、これからの課題となる。

6 結論

本論文では、IEC を作曲支援に応用した際にフィルタを用いずにユーザ負担を軽減するための、能動的音楽聴取インタフェースの概念を取り込んだ IEC インタフェースの構築について報告した。新たに構築したインタフェースと従来型の IEC インタフェースの比較実験を行った所、新インタフェースが従来型インタフェースに比べ、ユーザの「やる気」を引き出していることが分かった。

今後の展開として、個体識別の問題のより良い方向での解決や、3D 表示を活かし過去のポビューレーションに簡単にさかのぼり個体の移行を行う手法を考えている。また、ユーザが楽しみを覚えるアニメーションを伴ったアイコンの移動という作業をもっと活用できるような新たな IEC プロセスやインタフェースを考案している。

参考文献

- [Biles 96] Biles, J., Anderson, P. G., and Loggi, L. W.: Neural Network Fitness Functions for a Musical IGA, in *Proceedings of IIA'96/SOCO'96. Int'l ICSC Symposia on Intelligent Industrial Automation And Soft Computing, Reading, UK*, pp. B39-44 (1996)
- [Dahlstedt 04] Dahlstedt, P.: A MutaSynth in parameter space: interactive composition through evolution, *Organized Sound*, Vol. 6, pp. 121-124 (2004)
- [Kuriyama 98] Kuriyama, K., Terano, T., and Numao, M.: Authoring support by interactive genetic algorithm and case base retrieval, in *Proceedings of the IEEE 2nd Int. conf. on Conventional and Knowledge-based Intelligent Electronic Systems(KENS'98)*, pp. 485-488IEEE (1998)
- [Takagi 96] Takagi, H.: Interactive GA for System Optimization: Problems and Solution, in *Proceedings of 4th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing (EUFIT'96)*, pp. 1440-1444, Aachen, Germany (1996)
- [Tokui 00] Tokui, N. and Iba, H.: Music Composition with Interactive Evolutionary Computation, in *Proceedings of 3rd International Conference on Generative Art (GA2000)* (2000)
- [Unemi 98] Unemi, T.: A Design of Multi-Field User Interface for Simulated Breeding, in *Proceedings of 3rd Asian Fuzzy System Symposium: The Korea Fuzzy Logic and Intelligent Systems* (1998)
- [Unemi 02a] Unemi, T.: A design of genetic encoding for breeding short musical pieces, in Bilotta, E. e. a. ed., *ALife VIII Workshops, ALMMA II*, pp. 25-29, University of New South Wales, Sydney, australia (2002)
- [Unemi 02b] Unemi, T.: SBEAT3: A Tool for Multi-part Music Composition by Simulated Breeding, in *Proceedings of the 8th International Conference on Artificial Life (A-Life VIII)*, pp. 410-413, Sydney, NSW, Australia (2002), MIT Press
- [安藤 05] 安藤 大地, Dahlstedt, P., Nordahl, M. G., 伊庭 斉志: 対話型 GP を用いたクラシック音楽のための作曲支援システム, *芸術科学会論文誌*, Vol. 4, No. 2, pp. 77-86 (2005)
- [安藤 06] 安藤 大地, 丹治 信, 伊庭 斉志: EC を用いた作曲支援システムと作曲モデルの客観的評価手法, 第 68 回情報処理学会音楽情報科学研究会, pp. 29-34 (2006)
- [後藤 04] 後藤 孝行, 後藤 真孝: Musecream: 楽曲を流してくっつけて並べて思い出す事のできる新たな音楽再生インタフェース, 第 12 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ WISS2004 論文集, pp. 53-58 日本ソフトウェア科学会 (2004)
- [渡邊 02] 渡邊 恵太, 安村 通晃: Memorium: 眺めるインタフェースの提案とその試作, 第 10 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ WISS2002 論文集, pp. 99-104 日本ソフトウェア科学会 (2002)