

インタラクティブEC：創造支援から工学応用へ

高木，英行
九州芸術工科大学音響学科

青木，研
九州芸術工科大学大学院

<https://hdl.handle.net/2324/4481597>

出版情報：pp.1-6, 1998-03
バージョン：
権利関係：



インタラクティブ EC : 創造支援から工学応用へ Interactive Evolutionary Computation: from creativity support to engineering applications

高木 英行[†] 青木 研[‡]

Hideyuki TAKAGI[†] Ken AOKI[‡]

九州芸術工科大学 [†] 音響設計学科, [‡] 大学院

Kyushu Institute of Design, [†] Dept. of Acoustic Design, [‡] Graduate School

815-8540 福岡市南区塩原 4 丁目 9 - 1

4-9-1, Shiobaru, Mnami-ku, Fukuoka, 815-8540

[†] takagi@kyushu-id.ac.jp TEL&FAX 092-553-4555, [‡] aoki@artemis.kyushu-id.ac.jp

[Abstract] This paper first states the interactive evolutionary computation (interactive EC) have been applied to an artistic field and overviews some of these applications. Then, we emphasize wide applicability of this technique, especially high applicability to engineering field. This paper introduces concrete applications of the interactive EC that are conducted at our laboratory. They are the 3-D CG lighting design support system as an artistic application and distorted speech processing, hearing aid, media database retrieval, virtual reality, and active noise control as engineering applications.

Keywords: *interactive evolutionary computation, applications, engineering, design support.*

1 はじめに

制御に代表されるように、従来のシステムを最適化とは、目標となる数値ゴールが与えられ、実際のシステム出力との数値誤差を求め、この誤差を最小にするようにシステムを調整する場合がほとんどである。

しかしながらシステム出力が音や画像の場合、システムを最適にするには、人間の聴覚や視覚に頼らざるを得ない場合が多々ある¹⁾。従来のシステム最適化のアプローチを適用しようとする、人間の評価系を模した評価関数を構築せざるを得ないが、一般にこのような評価関数の設計は容易ではない。

そこで、積極的に人間の評価能力をシステム最適化と結びつける方法が 80 年代半ばから提案されてきた。この技術は、人間の評価系と進化的計算論 (EC) によるシステム最適化とがインタラクティブに行われるため、インタラクティブ EC と呼ばれている。または、具体的に用いた EC 技術名を冠して、インタラクティブ遺伝的アルゴリズム (GA) とか、イン

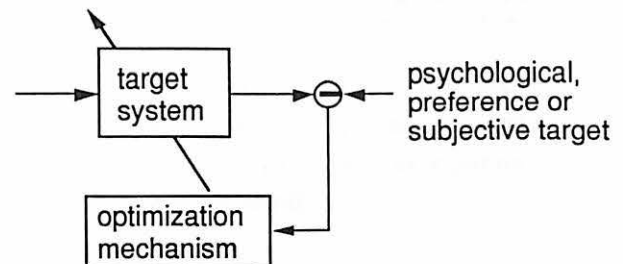


図 1: System optimization based on the human capability of evaluation.

タラクティブ遺伝的プログラミング (GP) などとも呼ばれている。一方、人間が優秀な個体を選別していくことが、自然淘汰に対する品種改良のアナロジーであることから、2 値評価する場合、模擬育種法とも呼ばれている。

インタラクティブ EC を最適探索の観点から見ると、図 2 に示すように、主観的評価基準を探索尺度とする最適値のパラメータベクトルを探し出すことに相当する。

人間の主観的評価が音や画像に対して行われることから、インタラクティブ EC の応用の多くが、アートや音楽生成の分野に適用されてきた。例えば、モンスタージュ画像生成 [8]、虫の姿態生成 [21]、CG デザイン画像生成 [19, 20, 5]、3-D CG レンダリング [23]、L システムに基づく植物の生成 [16]、3-D CG ライティングデザイン [1, 2, 3, 4]、レイアウト設計 [15]、アーチダムの形状設計 [18]、線画像生成 [6]、吊り橋のデザイン設計 [10]、車のデザイン応用 [14, 11]、ジャズのセッションのメロディー生成 [7]、パーカッション部のリズム生成 [9]、などがある。

人間の主観評価が反映できるこの技術にとって、アーティスティックな分野はその特徴が発揮できる応用分野である。しかし、この技術は単なるアート生

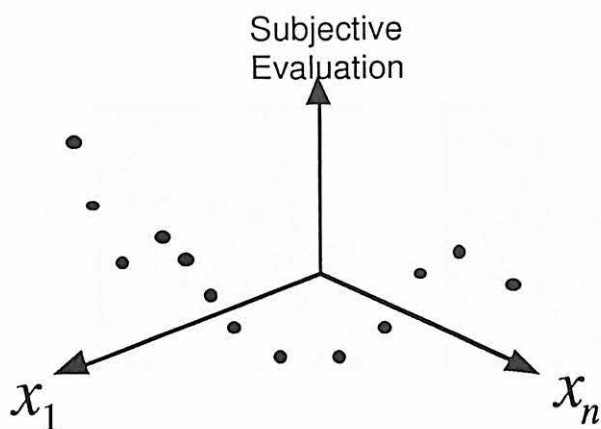


図 2: System optimization using an interactive evolutionary computation is equivalent to find out the coordinate, $(x_1, x_2, \dots, x_n)$, that maximizes human subjective evaluation.

成技術ではなく、もっと広い実用の可能性を持った技術である。教育 [17]、工学などにも展開され始めつつある。

本論文の目的は、この技術がアートへの応用にとどまらず、この工学的な応用への展開の可能性を指摘することにある。次節以降ではその題材として、アート応用から工学応用にわたる幅広い筆者らの研究事例を紹介する。本論文の主旨から、これらの事例は、完結間近い研究だけでなく、まだ成果が見えていない研究の青写真をも紹介することで、工学応用の将来的な広がり可能性を示す。

2 創造支援への応用

創造支援の応用事例として、3次元コンピュータグラフィックス (CG) ライティング設計を紹介する [1, 2, 3, 4]。

3次元CGは写真のシミュレーションであり、写真同様、ライトの位置、明るさ、色などのライティング条件によって、得られる印象がまるっきり異なる。ところが多くの人々が作品の善し悪しは評価できても、求める印象になるようなライティング技術を持ち合わせているわけではない。CGのユーザー層がプロだけでなく、ビジネスや趣味のレベルまで広がった現在、作品の善し悪しに大きな影響を与えるライティングの設計支援の重要性は増すものと考えられる。ここに、インタラクティブGAを導入した。

実験に用いた3次元CGでは、3個あるライトそれぞれに、平行光か拡散光かの種類、16階調の強さ、on/off、3次元空間上の配置座標、を決定する。これを図7のGAコーディングで総計90ビットで表す(実験1)。さらにライトの色も条件に加えて、114

ビットのGAコーディングにして難易度をあげた場合でも行う(実験2)。実験1と2は、インタラクティブにこれらのパラメータを最適化し、ライティングが与えられたコンセプトに適合するように調整するものである。

Gene coding

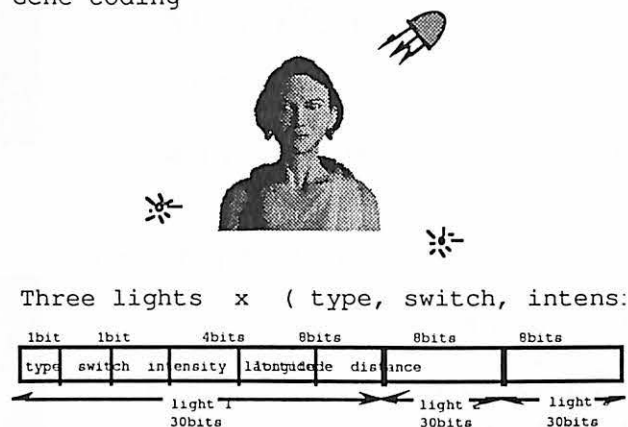


図 3: GA coding for 3-D CG natural lighting. Maximum three lights which has two types and 16 levels of intensity. Interactive GA optimizes these parameters according to a given motif.

この最適化条件で、試行錯誤に行ったライティングとインタラクティブGAを用いたライティング結果を図4に示す。与えたコンセプトは図の下に記した4つで、前半2種類は自然光色のみの実験1、後半2種類はライトの色まで探索条件に加えて探索の難易度をあげた実験2である。

こうして得られた、試行錯誤のライティング画像とインタラクティブGAの支援を受けたライティング画像とを比較し、どちらがより与えたデザインコンセプトに適合しているかを Sheffe の一対比較評価法を用いて調べた。

その結果、ある程度のCG経験があるデザイナーには、有意なインタラクティブGAのデザイン支援効果はみられないが、CG経験が浅い、または、ないデザイナーの場合は、統計的に有意にインタラクティブGAのデザイン支援効果があった。これは、ライティング経験や知識がある場合には、明示的な意図に基づいて手作業ライティングを行った方が、すばやく直接にライティングを行えるため、時間がかかるインタラクティブGAの効果がでなかったと考えられる。一方、具体的なライティング知識がない場合は、時間がかかる試行錯誤に比べて、インタラクティブGAの支援が効果的に働いたものと考えられる。

従来のインタラクティブECのアーティスティックな応用の研究が、単にインタラクティブECを適用してみただけにとどまったり、いろいろな画像たや音が生成ができる可能性を示すだけにとどまったりしていたのに対し、この研究は、主観評価実験と統計



by hand with an interactive GA
(a) natural lighting design of *gloomy impression*



by hand with an interactive GA
(b) natural lighting design of *cheerful impression*



by hand with an interactive GA
(c) color lighting design of *heroine in a movie pamphlet*



by hand with an interactive GA
(d) color lighting design of *villain in a movie pamphlet*

図 4: Examples of lighting arts made by hand and with the interactive GA for the given motives. Original images are colored ones.

的検定を導入することで、どのような場合にどのような効果があるかを示したことに意義がある。創造支援という一見定量評価が今難に見える分野における、今後の研究のあり方の1つを示しているものと考えている。

3 各種工学応用へ

前節では筆者らのアート応用を紹介した。本節では、本論文の主目的である、工学分野への幅広い応用の可能性を、5つの研究テーマを通じて示す。

3.1 歪音声の回復

それまでのほとんどの研究が画像のように比較評価が容易なタスクを取り扱っていたのに対し、個体の時系列提示を余儀なくされるタスクにどの程度インタラクティブECが有効であるかを評価することが動機で始めた研究である。

聴感的な歪量が少なくなるように FIR フィルタを設計するタスクで、GA が設計者の聴感評価に基づいてフィルタの8つの係数を最適化する。図5のシステムに入力する歪音声は、ホルマント帯域を抑圧するような特性の IIR フィルタに正常な音声を通して作成した。

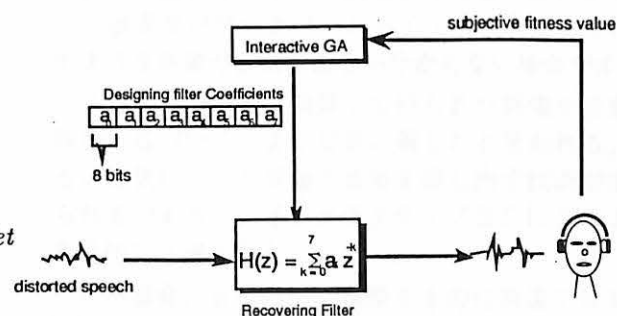


図 5: Filter design to recover distorted speech by interactive EC.

できあがった FIR フィルタで歪回復した音声は、評価した操作者だけでなく、他の被験者においても本来の音声より音質が回復されていることが、主観評価実験を通して、統計的に有意に示された。決してインタラクティブGA操作者の自己満足でフィルタが設計されたのではなく、歪回復に有効性のある技術であることを明らかにした [25, 26]。

3.2 聴覚補償

高齢者社会を迎え、高齢者の社会参加を促進するためにもメガネのような補聴器の普及が望まれる。補

聴器を使うことが聴覚「障害者」であるとの心理的抵抗がまだ社会に残っており普及の妨げになっているが、さらに、聴き難いという基本的な問題も残っている。最近のデジタル補聴器の登場に伴い、従来のアナログ型ではできないような信号処理が可能になり、後者の問題を技術的に解決するため一步一步前進しているのが今日現在の状況である。

しかしながら、技術的な可能性を秘めたデジタル補聴器ではあるが、その技術を最大限に発揮するための、使用者に対して最も聞こえが良くなるような調整法はまだない。根本的な理由は、聞こえの善し悪しを判断できるのはその補聴器を使うその人のみであり、いかなる名医、有能な技師でも使用者の聞こえは分からないからである。残念ながら聞こえの善し悪しが分かる使用者には専門家でない限り信号処理のパラメータ調整はできない。

ここで登場する技術が、使用者の聞こえに応じて自動的に信号処理パラメータを自動的に最適化する技術、インタラクティブECである（図6）。

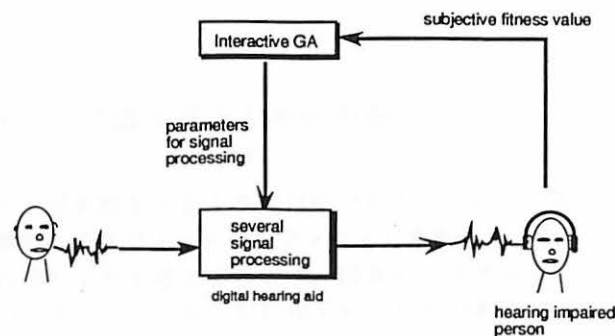


図6: Auto-adjusting a digital hearing aid. The interactive EC optimizes the parameters of signal processing based on how a hearing impaired person hears.

このアプローチは従来の補聴器にない特徴を持っている。従来はオーディオグラムなどの聴覚特性を計測し、その特性と健聴者の特性との差を見て医師や技師が補聴器パラメータを調整する。うまくフィットしない場合は医師や技師が微調整していた。問題は、事前に計測できる聴覚特性は極一部でしかないことと、そのための計測に時間がかかることである。これに対し、提案手法では原理的に聴覚特性を計測する必要はなく、抹消から中枢までを経た最終的な聞こえを基に、補聴器パラメータを最適化する（図7）。

現在ほぼこのシステムが完成したので、初めは、模擬難聴処理と健聴者とを組み合わせで心理実験し、次に、聴覚障害者を被験者とした心理実験に取りかかる予定である [17]。

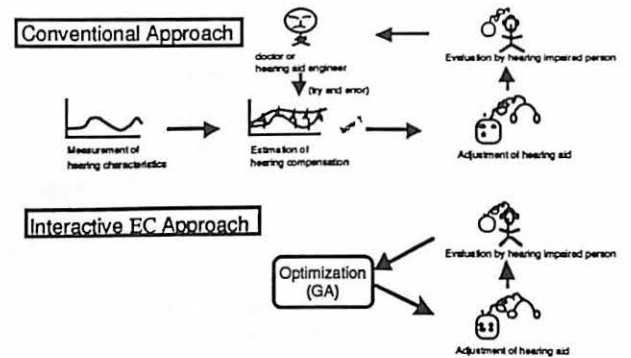


図7: Conventional tuning is manually conducted by a engineer or a medical doctor according to the measured hearing characteristics of a hearing impaired person. Our proposed tuning method is automated and fundamentally does not require the measurement of the hearing characteristics.

3.3 メディアデータベース検索

大規模なデータベースやインターネット上から目的に合った画像や音楽を探し出したい場合を考えよう。多くの場合、この目的とは特定の画像や音楽を探し出すことではなく、ある用途にふさわしい、または自分が気に入る画像や音楽を探し出すことであろう。この場合キーワード検索ができない場合が多い上、検索者がデータベースやインターネット上にどのような画像や音楽があるか分からない場合が多い。

このような場合、検索して得られた画像や音楽の評価に基づいて、より用途に適したと思われる、あるいは気に入った画像や音楽を探し出す技術が求められるであろう。インタラクティブECはこのような目的に応用できる。

この場合、EC技術が検索するのは画像や音楽の特徴物理空間であり、人間が評価するのは心理評価空間である。したがって、心理空間から特徴量空間への写像ができればよい。しかし、一般に心理空間の次元数は特徴量空間の次元数に比べて小さいことが一般であり、写像は難しい。逆に特徴量空間から心理空間への写像は容易であると考えられる。

m 次元から n 次元 ($m > n$) への写像にはニューラルネットワークが適している。一度この学習ができてしまえば、その逆写像を行うことで、心理空間から特徴量空間への写像ができる。この技術にGAが利用できる（図8）。当然1対多の写像なので、1つの心理空間上の座標に写像される特徴量空間の座標点は複数ある。ある1つの印象を与える画像や音楽が複数見つかり得るということで、検索の立場からすれば好ましいと言える。

検索された結果をみて印象の違いを感じる時もあるはずである。この場合、もう一度再検索する方法

と、求めるべき心理空間座標を変えて検索する方法と2つある。通常は組み合わせられる。後者に対してインタラクティブGAが利用できる。

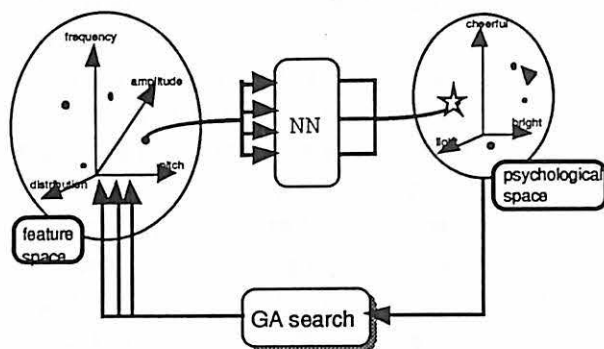


図 8: Media database can be retrieved by reverse-mapping from the psychological space of a user to the physical space of the media in the database after obtaining the opposite mapping relation.

3.4 人工現実感のための制御

人工現実感を与える要因は何であろうか。この要因解析の過程でインタラクティブECが利用できる。腕相撲のVRを考えてみよう。図9のシステムで人間がロボットアームと腕相撲を行うものである。この場合の制御ルール次第で、人間と闘っているかのような力覚系の人工現実感を感じることができる。では、どの要因が力覚系の人工現実感を与えるのだろうか。

この解析のために、まず勝つための制御ルールを得た。分類システムを用い、相手を押すことができたルールを強化することで2万点のルールを得た。次に解析を容易にするため、このルールを8個のファジィ制御ルールにコンパイルした。このコンパイルには、GAによるファジィ知識獲得技術を用いた[12, 13]。

次に、このファジィ制御ルールを初期値にして、インタラクティブEC技術で人工現実感ある制御ルールに修正するのである。力覚系の人工現実感を感じる制御ルールかどうかは対戦している人間のみが主観的に判断可能であり、その評価が高くなるようにファジィルールを修正するにはインタラクティブEC技術が最適である。こうして得られた人工現実感あるファジィルールと初期値の勝つためのファジィルールとの差が何であるかを解析することで、力覚系の人工現実感を与える要因を解明することが可能になると考えられる。

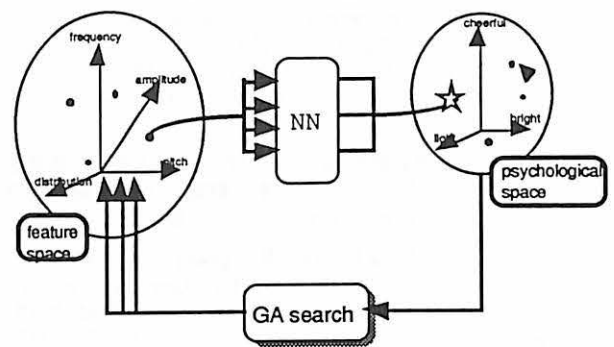


図 9: Virtual reality of arm wrestling.

4 頭内での能動骨導音制御

歯科治療の際の研磨音は、特に子供に恐怖心を与える。これを防ぐために、ヘッドホンを装着させて音楽などを聞かせる小児歯科も増えているが、音楽で骨導音をマスクするまでの音圧差を与えることはできない。根本的には歯科ドリルの代わりにレーザーを使えばよいのであるが、設置費用が10倍以上もかかることから、開業医ではまだまだ普及が難しい現状にある。

能動騒音制御の技術を使い、別の骨導音または鼓膜を通じて空気伝搬音で、内耳に到達する歯からの骨導音をキャンセルできれば、この不快な研磨音を軽減することができる。鼓膜に回り込む研磨音の空気伝搬音は密閉型ヘッドホンで遮断可能であるし、伝達系の線形性が高ければ、音楽を重畳させることで、多少残った研磨骨導音もマスクできる可能性がある。

しかし、通常の能動騒音制御と根本的に異なる点は、内耳にセンサを埋め込んで、1次音源（歯からの研磨骨導音）と2次音源（1次音源をキャンセルするための音）の残差を計測できないことにある。残差を制御系にフィードバックすることはもちろんのこと、頭内の伝達特性を計測して能動制御用のフィルタを設計することすらできない。

しかしながら、人間が聞こえるか聞こえないかという生体センサを利用すれば、骨導の伝達特性が分からなくても、聞こえを最小にするような2次音源側フィルタを構成できる可能性がある。インタラクティブEC技術でなくてはできないタスクといえよう。

5 インタラクティブECの今後

80年代にはそれぞれ単独で世に大きくアピールされたソフトコンピューティング技術は、80年代末から長所を組み合わせた融合化に推移していった。その結果、これらの技術は広く社会に展開され、民生機器を中心に我々の日常生活に広く出回っている。

今後のソフトコンピューティング技術はどうか

ろうか。90年代後半から21世紀にかけてのキーワードの1つが「技術の人間化」「人間にやさしい技術」であると考えられる。ここ数年のファジィシステムシンポジウムでは感性をキーワードにした研究が増えていて、全発表論文の2割～3割に達していることは、この技術の流れが1つの潮流となると見ることの根拠になろう。

インタラクティブEC技術は、人間の優れた評価能力をモデル化して置き換える従来のAIアプローチと異なり、優れた人間の評価能力をそのままシステムに組み込んで使う、つまり人間の感性や評価を尊重する技術と言えよう。個人の好みや感性に基づいた設計・調整には、人間の優れた能力を尊重するようなアプローチがより有効になるのではなかろうか。インタラクティブEC操作者の疲労という問題を解決し[23]、「技術の人間化」「人間にやさしい技術」を代表する手法となるよう期待している。

参考文献

- [1] Aoki, K., Takagi, H., and Fujimura, N., "Interactive GA-based Design Support System for Lighting Design in Computer Graphics," Int'l Conf. on Soft Computing (IIZUKA'96), World Scientific, pp.533-536, Iizuka, Fukuoka, Japan (Sept./Oct., 1996)
- [2] Aoki, K., Takagi, H., "3-D CG Lighting with an Interactive GA," 1st Int'l Conf. on Conventional and Knowledge-based Intelligent Electronic Systems (KES'97), pp.296-301, Adelaide, Australia (May, 1997)
- [3] 青木研, 高木英行, "対話型GAによる3次元CGライティング設計支援," 電子情報通信学会総合大会 A-15-30 (1997年3月)
- [4] 青木研, 高木英行, "3次元CGにおけるライティングデザイン支援," 第13回ファジィシステムシンポジウム, 富山, pp.311-314 (1997年6月)
- [5] Baluja, S., Pomerleau, D., Jochem, T., "Towards Automated Artificial Evolution for Computer-generated Images," Connection Science, vol.6, Nos.2 & 3, pp.325-354 (1994).
- [6] Baker, E. and Seltzer, M., "Evolving line drawings," Graphics Interface'94 Proc., Banff, Alberta, Canada, (eds) Wayne A. Davis and Barry Joe. Morgan Kaufmann Publishers, pp.91-100 (May, 1994).
- [7] Biles, J. A., "GenJam: a genetic algorithm for generating jazz solos," Int'l Computer Music Conf. (ICMC'94), pp.131-137, Aarhus, Denmark (1994).
- [8] Caldwell, C. and Johnston, V. S., "Tracking a criminal suspect through 'face-space' with a genetic algorithm," 4th Int'l Conf. on Genetic Algorithms (ICGA'91), San Diego, CA, USA, pp.416-421 (July, 1991).
- [9] Damon, H., "Generating rhythms with genetic algorithms," Int'l Computer Music Conf. (ICMC'94), Aarhus, Denmark (1994).
- [10] Furuta, H., Maeda, K., and Watanabe, E., "Application of genetic algorithm to aesthetic design of bridge structures," Microcomputers in Civil Engineering, vol.10, no.6, pp.415-421 (1995).
- [11] Graf, J.; Banzhaf, W. "Interactive evolution of images," 4th Annual Conference on Evolutionary Programming, pp.53-65, San Diego, CA, USA, (1-3 March 1995). (eds) McDonnell, J.R., Reynolds, R.G., Fogel, D.B., Cambridge, MA, USA: MIT Press, (1995).
- [12] 蒲原新一, 高木英行, 竹田 仰, "仮想現実感を与える腕相模制御ルールの獲得," 第12回ファジィシステムシンポジウム, 東京, pp.487-490 (1996年6月).
- [13] Kamohara, S., Takagi, H., and Takeda, T., "Control Rule Acquisition for an Arm Wrestling Robot," IEEE Int'l Conf. on System, Man, Cybernetics (SMC'97), Vol.5, pp.4227-4231, Orlando, Florida, USA (Oct., 1997).
- [14] 勝山信之, 山川宏, "遺伝的アルゴリズムによる感性を考慮した設計の遺伝と進化に関する研究," 日本機械学会第3回設計工学・システム部門講演会講演論文集, pp.43-47 (1996年6月).
- [15] Masui, T., "Graphic object layout with interactive genetic algorithms," 1992 IEEE Workshop on Visual Languages, Los Alamitos, CA, USA, pp.74-80 (1992).
- [16] McCormack, J., "Interactive Evolution of L-System Grammars for Computer Graphics Modelling" *Complex systems: from biology to computation*, (eds) D.G. Green and T. Bossomaier, Amsterdam, Netherlands: IOS Press, pp.118-130 (1993).
- [17] 大崎美穂, 高木英行, "ディジタル補聴器フィッティングへの対話型ECの応用," 第14回ファジィシステムシンポジウム, 岐阜 (1998年6月)(発表予定)
- [18] Pagliarini, L., Lund, H. H., Miglino, O. and Parisi, D., "Artificial Life: A New Way to Build Educational and Therapeutic Games," Proc. of ALIFE V, MIT Press (1996).
- [19] Parmee, I. C., "The concrete arch dam: an evolutionary model of the design process," Int'l Conf. on Artificial Neural Nets and Genetic Algorithms, Innsbruck, Austria, pp.544-551 (1993).
- [20] Sims, K., "Interactive evolution of equations for procedural models," The Visual Computer, vol.9, pp.466-476 (1993).
- [21] Sims, K., "Interactive Evolution of Dynamical Systems," Toward a Practice of Autonomous Systems. First European Conf. on Artificial Life, pp.171-178, Paris, France, (Dec. 1991). (eds.) Varela, F.J. and Bourgine, P. Cambridge, MIT Press (1992).
- [22] Smith, J. R., "Designing biomorphs with an interactive genetic algorithm," 4th Int'l Conf. on Genetic Algorithms (ICGA'91), San Diego, CA, USA, pp.535-538 (July, 1991).
- [23] 高木英行, 大崎美穂, 印具毅, "インタラクティブEC操作者の疲労軽減手法," ワークショップ: インタラクティブ進化的計算論 (1998年3月)
- [24] Todd, S. and Latham, W., *Evolutionary art and computers*, Academic Press, Harcourt, Brace, Jovanovich (1992).
- [25] 渡辺辰巳, 高木英行, "対話型GAを用いた歪音声の音質の改善," 第11回ファジィ・システム・シンポジウム, pp.183-186, 沖縄 (1995年7月)
- [26] Watanabe, T. and Takagi, H., "Recovering system of the distorted speech using interactive genetic algorithms," IEEE Int'l Conf. on Systems, Man and Cybernetics (SMC'95), vol.1, pp.684-689, Vancouver, Canada (Oct., 1995).

原稿受付日

平成10年1月27日