

感性に基づくシステム自動最適化技術：アート，工 学からアミューズメント応用へ

高木，英行
九州芸術工科大学音響学科

<https://hdl.handle.net/2324/4481612>

出版情報：福岡産学ジョイントプラザ'99 講演予稿集，pp.64-69，1999-10-01．福岡産学ジョイントプラザ実行委員会
バージョン：
権利関係：



感性に基づくシステム自動最適化技術： アート、工学からアミューズメント応用へ

高木英行

815-8540 福岡市南区塩原4丁目9-1

九州芸術工科大学 芸術情報設計学科

TEL&FAX 092-553-4555, takagi@kyushu-id.ac.jp, <http://www.kyushu-id.ac.jp/~takagi>

〔要約〕 インタラクティブ進化的計算論についてこれまでの研究を概説し、筆者の研究室における研究状況を報告する。初めにインタラクティブ進化的計算論の概論を述べた後、実用化技術に育てるための2つの研究方向を示す。第1の研究方向は、各応用分野での有効性を評価して行くことであり、音声信号処理、CGライティング設計支援、聴覚補償、データベース検索、モニタージュ、人工現実感等の分野の応用について研究状況を解説する。第2の研究方向は、操作者の疲労を軽減するためのインタフェース改善であり、評価の入力インタフェース、提示インタフェース、探索の収束の高速化、オンライン知識の組み込みの4点について提案する。

1. はじめに

人間が見たり聞いたりして、良いと思われる出力が得られるようにシステムを最適化する技術（図1）の1つに、インタラクティブ進化的計算（EC）がある。人間の主観的評価に基づくシステム最適化といえよう。

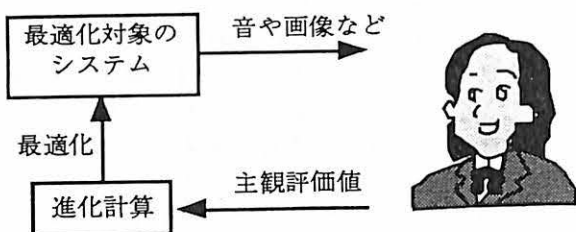


図1 主観評価に基づくシステムの最適化

例えば、景観にマッチした建物や橋を設計したい、最も聞き易いように補聴器を調整したい、デザインコンセプトに合う画像を検索したい、という場合、得られたCAD出力、補聴音、画像を人間が評価し、その評価値をECのフィットネス値として、CADや補聴器や検索エンジンの最適パラメータ探索をするのである（図2）。具体的なEC技術としては、遺伝的アルゴリズム（GA）や遺伝的プログラミング（GP）がよく使われている。

最適探索の観点から言えば、主観的評価値を最大にするシステム特性のパラメータ空間座標を探し出すことになる。

この技術を利用した応用研究には、アート応用（グラフィックスの生成やCGライティング支援などのCG関連、橋やダム等の景観設計の工業デザイン、ジャズのセッションのメロディー生成やパーカッション部のリズム生成の音楽など）、工学応用（音声や画像新語処理、データベース検索、人工現実感、制御など）、教育・娯楽（作文発想支援、トイ

ロボットの制御、お絵かきソフトなど）がある。

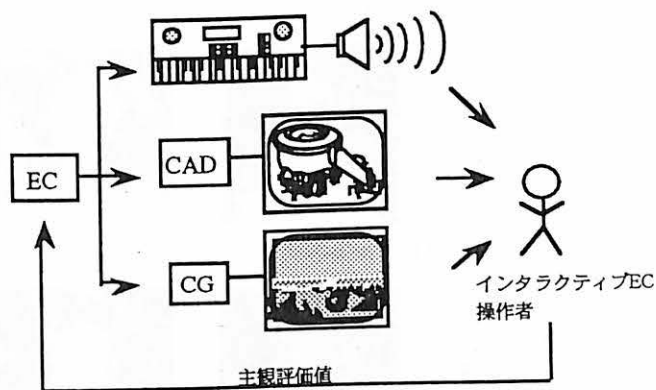


図2 インタラクティブECの例

2. インタラクティブ進化的計算の研究方向

ここ10年の間に、インタラクティブECが広い分野へ応用されてきた。特に、当初はアート系への応用が中心であったが、ここ4～5年の間に各種工学的な応用やエンターテインメントの分野にも応用が広がってきた。今後も、新しい応用分野の開拓と、各分野での評価を続けていく必要がある。これが第1の研究方向である。

第2の研究方向は、人間の疲労問題を軽減して実用化技術にするためのインタフェース技術の開発である。インタラクティブECは、人間が介在するため人間の疲労が大きい、このため、通常のECに比べて、個体数と探索世代数が極めて小さく設定せざるを得ない、音などは時系列的に提示せざるをえず、比較評価での心理的疲労が大きい、などの課題がある。これらの課題解決には、インタラクティブなやりとりにおけるインタフェースの改善が大きな解決方法になる。

インタラクティブECを実用技術にするためには、この2つの研究方向が必要であると考えられる（図

3)。第3節と4節ではこの2つの研究方向に対する筆者らの取り組みを紹介する。

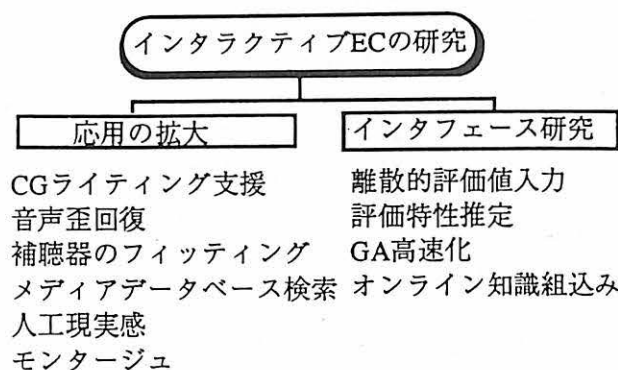


図3 インタラクティブECの2つの研究方向と筆者らの取り組み

3. 応用

3.1 歪音声の回復

従来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、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と、信号処理という工学的な応用に展開することを狙った研究である。

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。

主観評価実験の結果、できあがった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統計的に有意に音質が回復されていることを示して、決して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。

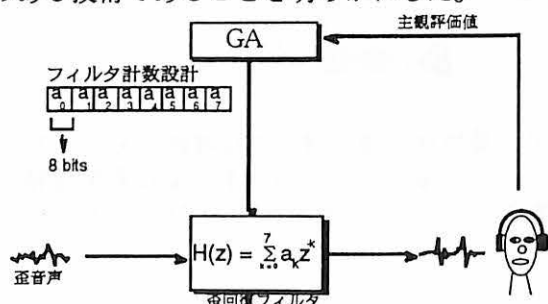


図4 歪音声の聴感的な回復のためのフィルタ設計

3.2 3次元CGライティングデザイン支援

3次元コンピュータグラフィックス（CG）は写真のシミュレーションであり、写真同様ライティングによって与えられる印象はまるっきり異なる。ところが多くの人が作品の善し悪しは評価できても、求める印象を創り出す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。これを総計90ビットでGAコーディングし、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。

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5に示す。与えたコンセプトは図の右に記した4つで、後半2種類は光の色まで探索条件に加えて探索の難易度をあげたものである。



図5 試行錯誤によるライティング設計（左列）とインタラクティブGAを用いたライティング設計（右列）。与えられたデザインコンセプトは上段から、「暗く陰鬱な」「明るく快活な」「清純派女優のデビュー」「悪役女優のデビュー」。上2段は自然光を用い、下2段はさらに複雑になるようライトの色も設計パラメータに追加したもの。（実際はカラー画像である）

3.3 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歩一歩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)。

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く、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。

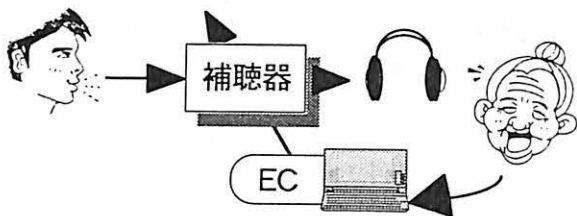


図6 デジタル補聴器の自動調整。使用者のみが評価できる聞こえの善し悪しに基づいて、インタラクティブGAが信号処理パラメータを最適化する。

3. 4 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し、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。ここに図7のようなNN(ニューラルネット)とGAを導入し、インタラクティブに検索するシステムが構成できる。

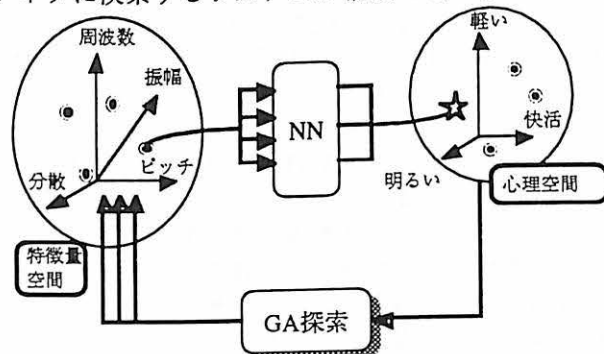


図7 データベースの物理空間と検索者の心理空間との写像関係を得てから逆写像を行うことで、求める印象を満足するメディアデータを検索する。

3. 5 人工現実感

人工現実感(VR)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8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であろうか。

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。

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。

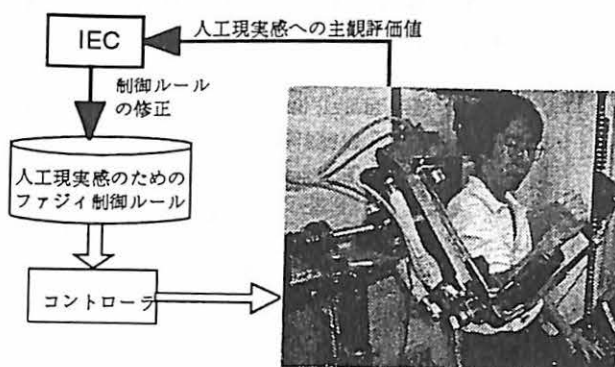


図8 腕相撲の人工現実感システム

4. インタフェースの改善

第3節のいろいろな応用分野でこの技術がどの程度使えるかを明らかにするだけでは、インタラクティブECは実用化技術にならない。インタラクティブEC操作者の疲労をいかに軽減するかが、実用化のポイントである。このために、入力インタフェース、提示インタフェース、収束の高速化、オンライン知識組み込みの4つの観点から対策を検討する。

4.1 離散的フィットネス値入力法

印象が似た2つの絵や音を100点満点で評点しようとしても、例えば69点と70点の差が確として分かるわけではないので、微妙な評点に迷うことが多い。これは即、心理的疲労につながる。

この評価時の疲労を低減しようと提案された方法が、粗い評価点で済まそうという方法である。提案手法は、5段階とか7段階のような粗い評価尺度を用いる方法で、離散的フィットネス値入力を許すものである。ここで、離散的とか連続というのは数学的な意味ではなく、感覚尺度上の弁別閾を基準にした心理的なものである。

粗い評価が可能になれば、微妙な違いは分かるが差を数値で表現することが難しいような場合でも、同じ評点を与えられるので気楽に評価可能である。

しかし、評価点を粗くすることは、フィットネス値に量子化ノイズが加わると言うことであり、GAの収束に悪影響を与える恐れがある。したがってこの研究のポイントは、(1) 離散的フィットネス値入力による量子化ノイズがGA探索の収束にどのような影響を与えるのか、(2) 収束の悪化があったとしても、気楽に評点できるという長所と組み合わせ、従来の評点手法に対してどちらが心理的負担を軽減するのか、の2点を明らかにすることである。

収束のシミュレーション実験と心理評価実験を行った結果、次の知見が得られた。

- (1) 量子化ノイズによる収束の悪化が統計的に有意になるのは相当探索世代数が進んでから（例えば数10世代～100世代）であり、人間の疲労の関

係でインタラクティブECが実用的に使える（せいぜい数世代～20世代）世代範囲では収束の悪化は見られなかった。

- (2) 従来の入力法と長所短所を持つ提案手法（離散的フィットネス値入力法）と主観評価実験で比較したところ、有意に提案手法が心理的疲労を軽減できることが分かった。

4.2 人間の評価予測

インタラクティブECで生成した20枚の画像出力を一度にディスプレイに提示して評価する場合を考えよう。通常はかなりランダムに提示されているのであちこちの画像を比較して評点する。もし、人間の評価点順に提示されていれば、せいぜい隣り合った画像を比較するだけで評価ができる。もちろん、コンピュータが人間の評価基準を知っているならばインタラクティブに探索する必要はないのであるが、ある程度人間の評価を予測してその予測評価順に提示できれば、まったくランダムに提示されるより評価が楽になり、心理的負担が軽減されることが期待できる。特に音のように時系列的にしか提示できない場合は、1つ前の提示音や画像との比較を頼りに評価できることは、絶対評価尺度を持って評価することを強要されるランダム提示に比べて疲労軽減が相当期待される。

この実現のために、提案手法は、過去の評価点を頼りにしてユークリッド距離やNNで評価傾向を予測する方法を検討した。

心理尺度ではなくターゲットとのユークリッド距離を用いたGA探索のシミュレーション結果から、予測が有効に働くことが期待された。しかし主観評価実験では有意な効果は確認できなかった。考察の結果、どの探索パラメータへも一様に重み付けするのではなく、重み付け距離尺度の導入がこの解決になると思われる。

4.3 探索の高速化

インタラクティブECの疲労軽減のためには早く目的の解を見つけることが重要であり、探索の収束を早くする方法が望まれる。この高速化GAとして、探索空間に単峰性関数を当てはめてピークの座標をGAのエリートとして加える方法を提案している。

GAが扱う探索空間はマクロにみれば大局的最適解に向かって曲面が減少していくことが期待されるし、少なくとも、どのような探索空間であっても大局的最適解近傍は単峰性である。このことから過去のGA探索点の全部または一部を用いて、例えば2次形式の曲面やガウス分布曲面や円錐曲面のような単峰性関数を当てはめた場合、その頂点座標は最適解座標の近傍に近くなることが期待される。したがってこの座標位置をエリートとして加えることはGA探索を高速化できる可能性が高い。

DeJongの5関数とSchafferの2関数を対象に、この

手法の高速化の効果を調べた。その結果、すべての場合において、従来法より有意な高速化の効果が確認できた。

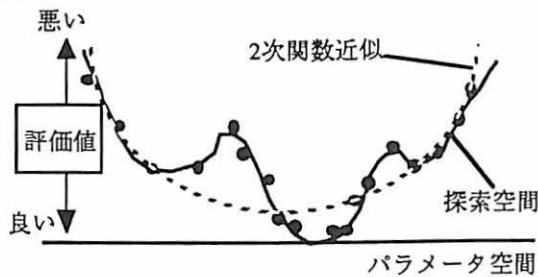


図9 単峰性関数の当てはめによるエリート選択

4.4 オンライン知識組み込み

インタラクティブにシステムを最適化している途中で、最適化している特定パラメータに対応した音や画像の一部分が良くなったと気付けば、このパラメータを一時的に固定してEC探索の対象から外すことは探索の高速化につながる。これは、EC探索次元数を一時的に減少させることになるためである。このように、探索途中で得られたヒントや知見を探索途中でEC探索に反映させるアイデアが、オンライン知識組み込みである。

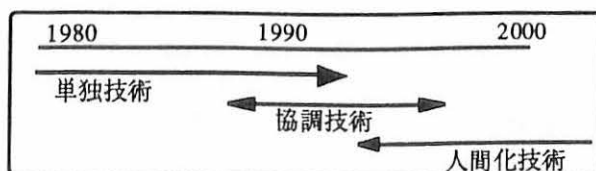
高速化の期待の一方、いちいち個々の探索パラメータに気を使う必要があるとか、気付いた知見を組み込むための操作が増えるという高速化に逆行する短所も考えられる。

そこで、モンテージュシステムを題材にして、心理実験を通じてこのトレードオフを評価した。その結果、1世代当たりの処理時間は1.4倍に長くなるものの、収束世代数は3倍になることが示され、総合結果として、効果的に解探索ができることが分かった。これは、疲労軽減につながる。

5. まとめ

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合わせた融合化に推移していった。こ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使われている。

今後のソフトコンピューティング技術は、ヒューマンファクタと密接に絡んでくると思われる。インタラクティブECはそのような技術に位置づけられ、人間の感性や評価を尊重する技術として「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ことを期待している。



高木研究室のインタラクティブEC関連論文

学術論文

1. M. Ohsaki, H. Takagi, and K. Ohya, "An Input Method Using Discrete Fitness Values for Interactive GA," J. of Intelligent and Fuzzy Systems, vol.6, no.1, pp.131-145 (1998)
2. 青木研, 高木英行, 「対話型GAによる3次元CGライティングデザイン支援」, 電子情報通信学会論文誌 D-II, vol.J81-DII no.7 pp.1601-1608 (1998)
3. 大崎美穂, 高木英行, "対話型EC 操作者の負担低減 -- 評価値予測による提示インターフェースの改善 --," 人工知能学会誌, vol.13, no.5, pp.712-719 (1998)

国際会議講演論文

1. T. Watanabe and H. Takagi, "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)
2. H. Takagi and K. Ohya, "Discrete Fitness Values for Improving the Human Interface in an Interactive GA," IEEE 3rd Int'l Conf. on Evolutionary Computation (ICEC'96), Nagoya, Aichi, Japan, pp.109-112 (May, 1996)
3. H. Takagi, "System Optimization Without Numerical Target," 1996 Biennial Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS'96), Berkeley, CA, USA, pp.351-354 (June, 1996)
4. H. Takagi, "Interactive GA for System Optimization: Problems and Solution," 4th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing (EUFIT'96), Aachen, Germany, pp.1440-1444 (Sept, 1996)
5. H. Takagi, K. Ohya, and M. Ohsaki, "Improvement of Input Interface for Interactive GA and its Evaluation," Int'l Conf. on Soft Computing (IIZUKA'96), World Scientific, pp.490-493, Iizuka, Fukuoka, Japan, (Sept./Oct., 1996)
6. K. Aoki, H. Takagi, and N. Fujimura, "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)
7. K. Aoki and H. Takagi, "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)
8. S. Kamohara, H. Takagi, and T. Takeda, "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)
9. M. Ohsaki, H. Takagi, T. Ingu, "Methods to Reduce the

- Human Burden of Interactive Evolutionary Computation," Asia Fuzzy System Symposium (AFSS'98), Masan, Korea, pp.495-500 (June, 1998).
10. H. Takagi, "Interactive Evolutionary Computation: System Optimization Based on Human Subjective Evaluation," IEEE Int'l Conf. on Intelligent Engineering Systems (INES'98), Vienna, Austria, pp.1-6 (Sept., 1998)
 11. M. Ohsaki and H. Takagi, "Improvement of Presenting Interface by Predicting the Evaluation Order to Reduce the Burden of Human Interactive EC Operators," IEEE Int'l Conf. on System, Man, Cybernetics (SMC'98), pp.1284-1289, San Diego, CA, USA, (Oct., 1998).
 12. H. Takagi, "Interactive Evolutionary Computation -- Cooperation of computational intelligence and human KANSEI," 5th Int'l Conf. on Soft Computing (IIZUKA'98), pp.41-50, World Scientific, Iizuka, Fukuoka, Japan, (Oct., 1998).
 13. M. Ohsaki and H. Takagi, "Application of Interactive Evolutionary Computation to Optimal Tuning of Digital Hearing Aids," 5th Int'l Conf. on Soft Computing (IIZUKA'98), pp.849-852, World Scientific, Iizuka, Fukuoka, Japan, (Oct., 1998).
 14. H. Takagi, S. Kamohara, and T. Takeda, "Introduction of Soft Computing Techniques to Welfare Equipment," 1999 IEEE Midnight-Sun Workshop on Soft Computing Methods in Industrial Applications (SMCia'99), Kuusamo, Finland, pp.116-121 (June, 1999)
 15. H. Takagi, S.-B. Cho, T. Noda, "Evaluation of an IGA-based Image Retrieval System Using Wavelet Coefficients," IEEE Int'l Conf. on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE'99), Seoul, Korea (Aug., 1999)
 16. T. Ingu and H. Takagi, "Accelerating a GA Convergence by Fitting a Single-Peak Function," IEEE Int'l Conf. on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE'99), Seoul, Korea (Aug., 1999)
 17. H. Takagi and K. Kishi, "On-line Knowledge Embedding for Interactive EC-based Montage System," 3rd Int'l Conf. on Knowledge-Based Intelligent Information Engineering Systems (KES'99), Adelaide, Australia, pp.280-283 (Aug./Sept., 1999)
- 学会誌のための解説論文**
1. 高木英行、畝見達夫、寺野隆, 「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)
- 国内全国大会／シンポジウム／研究会講演論文**
1. 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)
 2. 高木英行, 大宅喜美子, 「対話型GAの入力インタフェース改善方法とその評価」 電子情報通信学会総合大会, D-156, p.156 (1996年3月)
 3. 高木英行, 大宅喜美子, 大崎美穂, 「対話型遺伝的アルゴリズムのインタフェース改善手法の提案と評価」 第12回ファジィシステムシンポジウム, 東京, pp.513-516 (1996年6月)
 4. 蒲原新一, 高木英行, 竹田仰, 「仮想現実感を与える腕相撲制御ルールの獲得」 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)
 5. 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」 電報通信学会総合大会A-15-30 (1997年3月)
 6. 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)
 7. 印具毅雄, 高木英行, 大崎美穂, 「対話型遺伝的アルゴリズムのインタフェース改善-GAの高速化手法の提案-」 第13回ファジィシステムシンポジウム, 富山, pp.859-862 (1997年6月)
 8. 高木英行, 青木研, 「インタラクティブEC: 創造支援から工学応用へ」 ワークショップ「インタラクティブ進化的計算論」, pp.1-6, 福岡(1998年3月)
 9. 高木英行, 大崎美穂, 印具毅雄, 「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」, pp.47-52, 福岡(1998年3月)
 10. 大崎美穂, 高木英行, 「デ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, pp.193-194 (1998年6月)
 11. 岸克洋, 高木英行, 「対話型進化的計算研究ツールとしてのモニタージュシステムの開発」, 日本ファジィ学会第3回曖昧な気持ちに挑むワークショップ, pp.15-18, 蒲郡, (1998年11月)
 12. 高木英行, 大崎美穂, 「聴覚障害者の聴こえに基づく聴覚補償の自動最適化」 日本音響学会講演論文集1-2-18, pp.359-360 (1998年3月).
 13. 大崎美穂, 津村尚志, 高木英行, 島田真弓, 「IEC フィッティングシステムの音声聴取に対する評価」 日本音響学会講演論文集1-2-19, pp.361-362 (1998年3月).
 14. 大崎美穂, 津村尚志, 高木英行, 島田真弓, 「IEC フィッティングシステムの音楽聴取への応用」 日本音響学会講演論文集1-2-20, pp.363-364 (1998年3月).
 15. 岸克洋, 高木英行, 「インタラクティブ進化計算におけるオンライン知識組み込みの評価」 第15回ファジィシステムシンポジウム, 大阪, pp.379-380 (1999年6月).
 16. 野田寿彦, 高木英行, 張明智, 「画像検索のための心理因子空間構成と対話型GAベース画像検索システムの主観評価」 第15回ファジィシステムシンポジウム, 大阪, pp.683-684 (1999年6月).
 17. 印具毅雄, 高木英行, 「単峰性関数当てはめによるGA高速化の評価」 第15回ファジィシステムシンポジウム, 大阪, pp.117-120 (1999年6月).