論文

ファジィ数を含む多目的非凸計画問題に対する 浮動小数点型遺伝的アルゴリズムによる 対話型ファジィ満足化手法†

坂和 正敏* 矢内 克裕*

本論文では、現実の多目的意思決定状況における問題の定式化に携わった専門家の判断のあいまい性を取り入れたファジィ数を含む非凸の多目的非線形計画問題を定式化して、浮動小数点型遺伝的アルゴリズムを用いた対話型ファジィ満足化手法を提案する。定式化された問題に含まれるすべてのファジィ数のメンバシップ関数の帰属度が α 以上となる係数ベクトルの中で、意思決定者が最も望ましいように、その値を設定するという、非ファジィな α -多目的非線形計画問題を導入した後、意思決定者のファジィ目標をメンバシップ関数で規定する。さらに、意思決定者が主観的に設定した基準メンバシップ値とあいまい性の度合 α に拡張ミニマックスの意味で近い拡張パレート最適解を求め、意思決定者が満足しなければ基準メンバシップ値やあいまい性の度合を対話的に更新することにより、拡張パレート最適解の集合の中から意思決定者の満足解を導出するという対話型ファジィ満足化手法を提案する。ここで、拡張ミニマックス問題に、Michalewicz らによって提案された GENOCOP III を適用して拡張パレート最適解を求める代わりに、GENOCOP III の問題点に対処するため、初期実行可能解の効率的探索と 2 分法による実行可能解の探索を導入した改良型 GENOCOP III を適用して、より効率的に求めることを提案する。最後に、数値例により提案した手法の妥当性を示す。

キーワード：多目的非凸計画問題、ファジィ数、ファジィ目標、遺伝的アルゴリズム、浮動小数点表現、対話型手法

1. はじめに

これまで定式化されてきた多目的非線形計画問題に含まれる数多くのパラメータに対して、問題の定式化に携わった専門家の人間としての判断をより適切に表現するためには、従来のように何らかの経験的あるいは主観的な方法である値に設定するよりはむしろ、含まれるパラメータそのものを「だいたい y ぐらいの数」であるというようなファジィ数としてとらえた方が、現実の多目的意思決定状況をより適切に表すことが可能になるものと期待できる。このような観点から、筆者らは、多目的非線形計画問題の各目的関数や制約式に含まれるパラメータのあいまい性がファジィ数として特性づけられているという、ファジィ数を含む多目的非線形計画問題の定式化を試みるとともに、含まれるすべてのファジィ数のメンバシップ関数の帰属度が α 以上となる係数ベクトルや行列の中で、意思決定者 (decision maker: DM) が最も望ましいように、その値を設定するという、非ファジィな α -多目的線形計

画問題を定義して、通常のパレート最適解の素直な拡張と見なされる α -パレート最適解の概念を導入した。しかも、DM が主観的に設定した基準値に拡張ミニマックスの意味で近い α -パレート最適解を、Lasdon らによって提案された一般縮小勾配 (Generalized reduced gradient: GRG) 法 [1,2] により求めて、得られた解に DM が満足しなければ基準値を対話的に更新することにより、 α -パレート最適解の集合の中から DM の満足解を導出するという対話型意思決定を提案した [3,4]。さらに、人間としての DM の判断のあいまい性を考慮して、非ファジィな α -多目的線形計画問題の各目的関数に対する DM の「だいたいある値以下にしたい」というようなファジィ目標をも取り入れた、対話型ファジィ満足化手法も提案した [5-9]。

しかしこれらの論文では、制約領域が凸集合で目的関数が凸関数である凸計画問題とよばれる非線形計画問題に対して有効である最適化手法としての GRG を用いて拡張ミニマックス問題を解くことにより α -パレート最適解を求めているので、ファジィ数を含む非凸の多目的非線形計画問題への拡張が望まれていた。

制約領域の凸性や目的関数の凸性が満たされていない最適化問題は非凸非線形計画問題とよばれ、凸計画問題に対するこれまでの GRG、乗数法、逐次 2 次計画法などの有効な非線形最適化手法 [10] は残念ながら現

† An Interactive Fuzzy Satisficing Method for Multiobjective Nonconvex Programming Problems with Fuzzy Numbers through Floating Point Genetic Algorithms
Masatoshi SAKAWA and Katsuhiko YAUCHI

* 広島大学工学部第二類 (電気系)
Faculty of Engineering, Hiroshima University

存しないので、近年、多点並列探索能力を備えた遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm : GA) による最適化への期待が高まってきている。GA の多点並列探索能力に注目した非凸非線形計画問題への適用のこれまでの多くの研究は、1975 年の De Jong の多峰性を有する非凸の目的関数の最適化に関する精力的な研究を契機として、その後、上下限制約や線形制約のみの比較的簡単な凸領域のもとでの、非凸の目的関数の最適化に焦点があてられてきた [11-14]。

これに対して、一般的な非凸非線形計画問題に対する GA による最適化に関する研究は、近年になってやっと思われ、いくつかの手法が提案されてきている。ただし残念ながら、これらの手法は、ほとんど実行不可能解にペナルティを課すペナルティ法に基づいている [15-18]。もちろん、ペナルティ関数の設定に様々な工夫が凝らされているものの、これらのペナルティ法に基づいた手法では、制約が非常にきびしい場合には (例えば等式制約) ほとんど制約を満たさない解候補しか現れず、しかもいったんなんらかの実行可能解が現れても、それ以上の改善が進まないなどの問題点があると言わざるを得ない。

ペナルティによる制約の取扱いに対して、1995 年に Michalewicz らは、浮動小数点による個体表現を採用し、ペナルティを用いる代わりに、すべての制約式を満たす個体の集団である参照集団と、線形制約式のみを満たす個体の集団である探索集団の 2 つの集団を用いることにより、制約式を取り扱うという GENOCOP III (GEnetic algorithm for Numerical Optimization of COnstrained Problems) を提案した [19, 20]。

しかし、GENOCOP III では、初期個体群はランダムに生成されるので、すべての制約を満たす少なくとも 1 つの参照点を求めることが困難となり、複雑な制約集合に対しては参照集団を生成することができないという問題点がある。しかも、探索集団の探索点と参照集団の参照点の 2 つの個体を結ぶ線分上にランダムに新たな個体を生成しているため、探索効率や処理速度の点からの問題点が残されていた。

このような状況のもとで、論文では、遺伝的アルゴリズムに関しては、GENOCOP III の問題点に対処するため、満たされない非線形制約式の 2 乗和を目的関数とした最適化問題を浮動小数点型遺伝的アルゴリズムで解くことにより、初期の参照点を効率的かつ確実に求めることを提案する。さらに、探索集団の探索点と参照集団の参照点の 2 つの個体を結ぶ線分上にランダムに新たな個体を生成する代わりに、2 分法を用いて実行可能解を効率的に探索する手法を提案する。

このような改良型 GENOCOP III の提案に基づいて、

本論文では、ファジィ数を含む多目的非凸非線形計画問題に含まれるすべてのファジィ数のメンバシップ関数の帰属度が α 以上となる係数ベクトルの中で、特に DM が最も望ましいように、その値を設定するという、非ファジィな α -多目的非凸非線形計画問題を導入し、DM のファジィ目標をメンバシップ関数で規定する。しかも、問題に含まれるあいまい性を考慮して拡張された (M-) α -パレート最適解の概念を導入し、DM 主観的に設定した基準メンバシップ値とあいまい性の度合 α に拡張ミニマックスの意味で近い (M-) α -パレート最適解を求め、もし DM が満足しなければ基準メンバシップ値やあいまい性の度合を対話的に更新することにより、(M-) α -パレート最適解の集合の中から DM の満足解を導出するという対話型ファジィ満足化手法を提案する。ここで、(M-) α -パレート最適解を求めるための拡張ミニマックス問題は非凸非線形計画問題となるが、提案した改良型 GENOCOP III の適用により容易に求められることを示す。最後に、数値例により提案した手法の妥当性を示す。

2. 問題の定式化と解の概念

これまで定式化されてきた多目的非線形計画 (multiobjective nonlinear programming : MONLP) 問題に含まれる数多くのパラメータに対して、問題の定式化に携わった専門家の人間としての判断をより適切に表現するためには、従来のように何らかの経験的あるいは主観的な方法である値に設定するよりはむしろ、含まれるパラメータそのものをファジィ数としてとらえた方が、現実の多目的意思決定状況をより適切に表すことが可能になるものと期待できる。このような観点から、MONLP の目的関数と制約式に含まれるパラメータのあいまい性がファジィ数として特性づけられているという、次のようなファジィ数を含む MONLP (MONLP with fuzzy number : MONLP-FN) 問題が定式化される。

$$\left. \begin{array}{ll} \min & \mathbf{f}(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{a}}) = (f_1(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{a}}_1), \dots, f_p(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{a}}_p))^T \\ \text{s.t.} & g_j(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{b}}_j) \leq 0, \quad j=1, \dots, q \\ & h_j(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{b}}_j) = 0, \quad j=q+1, \dots, m \\ & l_k \leq x_k \leq u_k, \quad k=1, \dots, n \end{array} \right\} \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)^T$ は n 次元の決定変数ベクトル、 $f_i(\cdot, \cdot)$, $g_j(\cdot, \cdot)$, $h_j(\cdot, \cdot)$ は、線形あるいは (非凸の) 非線形の実数値関数で、 l_k , u_k はそれぞれ各変数の下限値と上限値を表す。さらに、 $\tilde{\mathbf{a}}_i = (\tilde{a}_{i1}, \dots, \tilde{a}_{i p_i})$, $\tilde{\mathbf{b}}_j = (\tilde{b}_{j1}, \dots, \tilde{b}_{j m_j})$ は、それぞれ i 番目の目的関数と j 番目の制約式に含まれるファジィ数のベクトルで、対応するメンバシップ関数のベクトルをそれぞれ $\mu_{\tilde{\mathbf{a}}_i}$

$(\mathbf{a}_i) = (\mu_{\tilde{a}_{i1}}(a_{i1}), \dots, \mu_{\tilde{a}_{ip_i}}(a_{ip_i}), \mu_{\tilde{b}_j}(\mathbf{b}_j) = (\mu_{\tilde{b}_{j1}}(b_{j1}), \dots, \mu_{\tilde{b}_{jm_j}}(b_{jm_j}))$ で表す。

MONLP-FP(1)は、目的関数や制約式に含まれる係数がファジィ数として特徴づけられているため、これまでのMONLPに対して定義されてきた(局所的)パレート最適解をそのまま適用することはできない。そこで、含まれるファジィ数のすべてのメンバシップ関数の値が α 以上であるような α -レベル集合

$$(\tilde{\mathbf{a}}, \tilde{\mathbf{b}})_\alpha = \{(\mathbf{a}, \mathbf{b}) \mid \mu_{\tilde{a}_{ir}}(a_{ir}) \geq \alpha, \mu_{\tilde{b}_{js}}(b_{js}) \geq \alpha, \\ i=1, \dots, p, r=1, \dots, p_i, \\ j=1, \dots, m, s=1, \dots, m_j\}$$

を導入する。ここで $\mathbf{a}_i = (a_{i1}, \dots, a_{ip_i})$, $\mathbf{b}_j = (b_{j1}, \dots, b_{jm_j})$, $\mathbf{a} = (\mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a}_p)$, $\mathbf{b} = (\mathbf{b}_1, \dots, \mathbf{b}_m)$ である。さて、DMがMONLP-FP(1)のすべてのファジィ数のメンバシップ関数値がある値 α 以上であると判断したとしよう。このとき、MONLP-FPは、DMが最も望ましいように $(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ を $(\tilde{\mathbf{a}}, \tilde{\mathbf{b}})_\alpha$ の中から選ぶという、次のような非ファジィな α -MONLP問題として定式化される。

$$\left. \begin{array}{l} \min \quad \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{a}) = (f_1(\mathbf{x}, \mathbf{a}_1), \dots, f_p(\mathbf{x}, \mathbf{a}_p)) \\ \text{s.t.} \quad g_j(\mathbf{x}, \mathbf{b}_j) \leq 0, \quad j=1, \dots, q \\ h_j(\mathbf{x}, \mathbf{b}_j) = 0, \quad j=q+1, \dots, m \\ l_k \leq x_k \leq u_k, \quad k=1, \dots, n \\ (\mathbf{a}, \mathbf{b}) \in (\tilde{\mathbf{a}}, \tilde{\mathbf{b}})_\alpha \end{array} \right\} \quad (2)$$

ここで、 α -MONLP(2)の $\mathbf{x}$ に関する制約式を満たす領域を $X(\mathbf{b})$ と表せば、通常の(局所的)パレート最適解を素直に拡張することにより、問題に含まれるあいまい性をも考慮した(局所的) α -パレート最適解が定義できる。

[定義1] ((局所的) α -パレート最適解)

α -MONLP(2)に対して、 $f_i(\mathbf{x}, \mathbf{a}_i) \leq f_i(\mathbf{x}^*, \mathbf{a}_i^*)$, $i=1, \dots, p$ で、しかも、ある j について $f_j(\mathbf{x}, \mathbf{a}_j) < f_j(\mathbf{x}^*, \mathbf{a}_j^*)$ となるような $\mathbf{x} \in X(\mathbf{b}), (\cap N(\mathbf{x}^*; r)), (\mathbf{a}, \mathbf{b}) \in (\tilde{\mathbf{a}}, \tilde{\mathbf{b}})_\alpha (\cap N(\mathbf{a}^*, \mathbf{b}^*; r'))$ が存在しないとき、 $\mathbf{x}^* \in X(\mathbf{b}^*)$ を(局所的) α -パレート最適解、対応するパラメータ値 $(\mathbf{a}^*, \mathbf{b}^*)$ を α -レベル(局所的)最適係数とよぶ。

3. ファジィ目標の導入

さて、人間としてのDMの判断のあいまい性を考慮すれば、DMは α -MONLP(2)の各目的関数に対してあいまいな目標をもっていると考えの方が自然であると思われる。最小化問題に対しては、DMは、「目的関数をだいたいある値以下にしたい」というファジィ目標(fuzzy min)をもつものと考えられる。最大化問題では、DMは「目的関数をだいたいある値以上にしたい」というファジィ目標(fuzzy max)をもつものと考えら

れる。さらにより一般的な場合として、ファジィアプローチでは、DMが「目的関数をだいたいある値ぐらいにしたい」というファジィ目標(fuzzy equal)をもつ場合にも対処することができる。このように一般化された α -MONLP(G- α -MONLP)問題を

$$\left. \begin{array}{l} \text{fuzzy min } f_i(\mathbf{x}, \mathbf{a}_i) \quad i \in I_1 \\ \text{fuzzy max } f_i(\mathbf{x}, \mathbf{a}_i) \quad i \in I_2 \\ \text{fuzzy equal } f_i(\mathbf{x}, \mathbf{a}_i) \quad i \in I_3 \\ \text{s.t. } \mathbf{x} \in X(\mathbf{b}) \\ (\mathbf{a}, \mathbf{b}) \in (\tilde{\mathbf{a}}, \tilde{\mathbf{b}})_\alpha \end{array} \right\} \quad (3)$$

と表す。ただし、 $I_1 \cup I_2 \cup I_3 = \{1, 2, \dots, p\}$, $I_i \cap I_j = \emptyset$, $i=1, 2, 3$, $i \neq j$ である。

このようなfuzzy equalを含むG- α -MONLPの各目的関数 $f_i(\mathbf{x}, \mathbf{a}_i)$ に対するDMの規定したメンバシップ関数 $\mu_i(f_i(\mathbf{x}, \mathbf{a}_i))$, $i=1, \dots, p$ の多目的最大化問題においては、目的関数の大小関係に基づいて定義した α -パレート最適解の概念を、もはや適用することはできない。しかし、メンバシップ関数の多目的最大化問題と見なして、目的関数の大小関係の代わりにメンバシップ関数の大小関係を用いれば、次のようなM- α -パレート最適解の定義を行うことが可能である。

[定義2] ((局所的)M- α -パレート最適解)

$\mu_i(f_i(\mathbf{x}, \mathbf{a}_i)) \geq \mu_i(f_i(\mathbf{x}^*, \mathbf{a}_i^*))$, $i=1, \dots, p$ で、しかも少なくとも一つの i に対して強意の不等号が成立するような、他の $\mathbf{x} \in X(\mathbf{b}), (\cap N(\mathbf{x}^*; r)), (\mathbf{a}, \mathbf{b}) \in (\tilde{\mathbf{a}}, \tilde{\mathbf{b}})_\alpha (\cap N(\mathbf{a}^*, \mathbf{b}^*; r'))$ が存在しないとき、 $\mathbf{x}^* \in X(\mathbf{b}^*)$ はG- α -MONLP(3)の(局所的)M- α -パレート最適解、 $(\mathbf{a}^*, \mathbf{b}^*)$ を対応する α -レベル(局所的)最適係数であるという。

ここで定義からもわかるように、(M-) α -パレート最適解は一般に無限個存在するので、現実の意思決定においては、人間としてのDMが、自己の選好に基づいて、(M-) α -パレート最適解の集合の中から最終的な合理的な解を選択しなければならないことに注意しよう。

4. 拡張ミニマックス問題

α -MONLP(2)あるいはG- α -MONLP(3)の目的関数 $(f_1(\mathbf{x}, \mathbf{a}_1), \dots, f_p(\mathbf{x}, \mathbf{a}_p))^T$ に対するDMのメンバシップ関数 $(\mu_1(f_1(\mathbf{x}, \mathbf{a}_1)), \dots, \mu_p(f_p(\mathbf{x}, \mathbf{a}_p)))^T$ が決定された後、各メンバシップ関数に対するDMの志望水準を反映させる基準メンバシップ値 $\bar{\mu}_i$ とあいまい性の度合い α がDMによって設定されると、 $\bar{\mu}_i$ にミニマックスの意味で近いDMの満足解の候補となる(M-) α -パレート最適解は、次のようなミニマックス問題を解くことにより求められる。

$$\min_{\substack{\mathbf{x} \in X(\mathbf{b}) \\ (\mathbf{a}, \mathbf{b}) \in (\bar{\mathbf{a}}, \bar{\mathbf{b}})_a}} \max_{1 \leq i \leq p} \{ \bar{\mu}_i - \mu_i(f_i(\mathbf{x}, \mathbf{a}_i)) \} \quad (4)$$

しかし、ミニマックス問題を解いて得られる最適解は唯一でなければ、(M-) α -パレート最適解とは限らない。したがって、つねに(M-) α -パレート最適性のテストを行わなければならないという問題が生じる。このような問題点を回避するために、ミニマックス問題の代わりに、次のような拡張ミニマックス問題を解くことにより基準メンバシップ値に拡張ミニマックスの意味で近い、パレート最適解を求める。

$$\min_{\substack{\mathbf{x} \in X(\mathbf{b}) \\ (\mathbf{a}, \mathbf{b}) \in (\bar{\mathbf{a}}, \bar{\mathbf{b}})_a}} \max_{1 \leq i \leq p} \{ \bar{\mu}_i - \mu_i(f_i(\mathbf{x}, \mathbf{a}_i)) \} + \rho \sum_{i=1}^p (\bar{\mu}_i - \mu_i(f_i(\mathbf{x}, \mathbf{a}_i))) \quad (5)$$

ここで、 ρ は十分小さい正の数である。

MONLP-FP に非凸性が含まれていれば、この拡張ミニマックス問題は非凸の非線形計画問題となるので、Michalewicz らの提案した浮動小数点型遺伝的アルゴリズム GENOCOP III[19,20]が適用可能で、各浮動小数点表現文字列 S の適合度関数 $f(S)$ は

$$f(S) = 1.0 + kp - \max_{i=1, \dots, k} \{ (\bar{\mu}_i - \mu_i(f_i(\mathbf{x}, \mathbf{a}_i))) \} + \rho \sum_{i=1}^k (\bar{\mu}_i - \mu_i(f_i(\mathbf{x}, \mathbf{a}_i))) \quad (6)$$

と設定するのが自然である。

そこで、次節では、GENOCOP IIIを概観して、その問題点を明らかにするとともに、改良型 GENOCOP IIIを提案する。

5. GENOCOP IIIとその改良

5.1 GENOCOP III

ペナルティを用いることなく一般の非線形計画問題を取り扱う GENOCOP IIIでは、線形制約非線形計画問題に対して提案された初期の GENOCOP[12,13]に対して、次のような探索集団と参照集団の2つの個体群を用いることにより、非線形制約をも取り扱えるように改良されている。

探索集団：線形制約 S を満たしている個体(探索点)からなる個体群。

参照集団：すべての制約 X を満たしている個体(参照点)からなる個体群。

5.1.1. 初期個体群の生成法

探索集団と参照集団の2つの集団を用いる GENOCOP IIIでは、初期の参照集団に要求される少なくとも1つの実行可能な個体(参照点)は、上下限制約を満たすものの中からランダムに生成される。

5.1.2 個体の修正

GENOCOP IIIでは、探索点 $\mathbf{s} \in X$ が存在すると仮定して、次のような操作により個体の修正を行う。

- (1) 1つの参照点 $\mathbf{r} \in X$ を選択する。
- (2) $(0,1)$ の範囲から乱数 a を生成する。
- (3) $\mathbf{s}$ と $\mathbf{r}$ を結ぶ線分上にランダムな点 $\mathbf{z}$ を $\mathbf{z} = a\mathbf{s} + (1-a)\mathbf{r}$ により生成する。
- (4) 実行可能な $\mathbf{z}$ が求められ、 $\mathbf{z}$ の適合度が $\mathbf{r}$ の適合度よりよければ、 $\mathbf{z}$ を新しい参照点として $\mathbf{r}$ に置き換える。また、ある入れ替え確率 p_r で、 $\mathbf{z}$ を $\mathbf{s}$ と入れ替える。

このような操作を1つの参照点とすべての探索点に対して行う。また、領域が非凸領域である場合や実行可能領域が小さい場合には、1回で実行可能な個体を生成することは困難である。そこで、新たに生成された $\mathbf{z}$ が実行可能でなければ、再度、乱数 a を発生させ、実行可能個体が発見されるまで、あるいはあらかじめ定めた回数になるまでかのいずれかの条件が満たされるまで繰り返される。

このような操作により、参照集団が進化すると同時に探索集団も進化する。また、参照集団を適合度によって評価することで、必ず実行可能解が求められることになる。この手法は、探索点と参照点を結ぶ線分上に新たな個体を生成することから、実行可能領域が非凸集合であっても一般的に扱うことができる。しかし、少なくとも1つの初期の実行可能解が必要である。

5.2 GENOCOP IIIの問題点

5.2.1 初期個体群の生成法

探索集団と参照集団の2つの集団を用いる GENOCOP IIIでは、初期の参照集団において実行可能な初期個体が少なくとも1つは必要となる。しかし、実行可能個体(参照点)を上下限制約を満たすなかでランダムに生成するという GENOCOP IIIの極めて単純な方法では、初期の実行可能な個体を求めることが不可能な場合が多々発生し、その後の探索を断念せざるを得ないという問題点が残されている。

5.2.2 個体の修正法

GENOCOP IIIにおいて、探索集団の個体と参照集団の個体からランダムに新たな実行可能な個体を発見することは、次のような場合には困難になる。

- (a) 探索空間が大きく、実行可能空間が小さな場合。
- (b) 実行可能空間の境界の近くに解がある場合。

一般に最適解は実行可能空間の境界にある場合が多く、そのため、世代を重ねるごとに個体群は、境界へと進化している場合が多い。このため、世代が大きくなるにつれて(b)の場合に当てはまることが多くなってく

る。このことから、GENOCOP IIIでは、世代が大きくなるにつれて、解が改善されにくくなってしまふ。つまり、GENOCOP IIIでは、個体が境界に近づけば近づくほど探索効率が悪くなる。

5.3 GENOCOP IIIの改良

本項では、GENOCOP IIIの問題点を克服し、非線形制約を取り扱うための効率的な手法を提案する。

5.3.1 初期個体群の生成法の改良

改良法においても、GENOCOP IIIと同様に、探索集団と参照集団の2つの集団を用いるので、参照集団において実行可能な初期個体が少なくとも1つは必要となる。しかし、GENOCOP IIIでは、実行可能個体(参照点)を上下限制約を満たすなかでランダムに生成していたため、実行可能個体が求められない場合が多々起こりうるという問題点が残されていた。このような問題点に対処するため、本論文では、満たされない非線形制約式の2乗和を目的関数とした最適化問題を解くことにより、実行可能な初期個体を効率的に求めるという初期個体の生成法を提案する。

より具体的に述べれば、ある $\bar{\mathbf{x}} \in S$ に対して非線形不等式制約を破る制約の添字の集合

$$I_g = \{j | g_j(\bar{\mathbf{x}}) > 0, j = 1, \dots, q\}$$

と、非線形等式制約を破る添字の集合

$$I_h = \{j | h_j(\bar{\mathbf{x}}) \neq 0, j = q+1, \dots, m\}$$

に対して、制約式を破る非線形制約式の2乗和を目的関数とする最適化問題

$$\text{minimize } \sum_{j \in I_g} (g_j(\mathbf{x}))^2 + \sum_{j \in I_h} (h_j(\mathbf{x}))^2 \quad (7)$$

を Michalewicz の浮動小数点型 GA [12, 13] を用いて解くことにより実行可能個体を求める。つまり、この問題の目的関数の値が0になる個体を初期の参照点とし、この個体をコピーすることで参照集団を形成する。

探索集団に対しては、線形制約と上下限制約を用いて各変数のとりうる上限値と下限値を求めて、その上下限値からランダムに線形制約および上下限制約を満たす個体を発生させることによって生成する。

これらの手法により、要求される初期の参照集団と探索集団からなる初期の個体群が効率よく生成されることになる。

5.3.2 個体の修正法の改良

改良法においても、GENOCOP IIIと同様に2つの集団を用いて、2つの集団の個体間で新たな実行可能解の探索を行う。つまり、探索点と参照点を結ぶ線分上に存在する実行可能解の探索を行う。その際に、探索

点と参照点を結ぶ線分上にランダムに新たな実行可能な個体を発見するという GENOCOP IIIの問題点に対処するため、2分法を導入した実行可能空間の探索法を提案する。提案する改良法においては、次の2つの場合分けを行って実行可能な個体探索する。

- (a) 探索点の実行可能個体である場合
- (b) 探索点の実行不可能個体である場合

[探索点の実行可能個体である場合]

探索点の実行可能である場合は、探索点と参照点を結ぶ線分上に新たな点を生成する。このとき、実行可能空間が凸領域であれば、新たに生成された個体も実行可能となるので問題ないが、実行可能空間が非凸領域であれば、新たに生成された個体は実行可能になるとは限らない。そこで、2分法を用いて実行可能個体を次のようなアルゴリズムにより探索する。まず、探索点の1つを $\mathbf{s} \in S$ 、参照点の1つを $\mathbf{r} \in X$ とする。ここで、 $\bar{\mathbf{s}} = \mathbf{s}$ 、 $\bar{\mathbf{r}} = \mathbf{r}$ としておく。

手順1 (0,1)の乱数 a を発生させる。参照点 $\bar{\mathbf{r}}$ と探索点 $\bar{\mathbf{s}}$ を結ぶ線分上に新たな個体 $\mathbf{z}$ を $\mathbf{z} = a \bar{\mathbf{r}} + (1-a) \bar{\mathbf{s}}$ で生成する。

手順2 $\mathbf{z}$ が実行可能であれば、手順7へ。実行不可能であれば、手順3へ。

手順3 探索方向を確率1/2で参照点 $\mathbf{r}$ 方向か探索点 $\mathbf{s}$ 方向かに決定し(便宜上、以下の手順では、 $\mathbf{r}$ 方向に探索すると仮定して議論を進める)、 $\bar{\mathbf{s}} = \mathbf{z}$ とし手順4へ。

手順4 $\bar{\mathbf{s}}$ と $\bar{\mathbf{r}}$ の距離がある値以下になれば $\mathbf{z} = \bar{\mathbf{r}}$ とし手順7へ。そうでなければ手順5へ。

手順5 $\mathbf{z} = \frac{1}{2} \bar{\mathbf{s}} + \frac{1}{2} \bar{\mathbf{r}}$ より新たな個体 $\mathbf{z}$ を生成し、手順6へ。

手順6 $\mathbf{z}$ が実行可能であれば手順7へ。実行不可能であれば $\bar{\mathbf{s}} = \mathbf{z}$ とし手順5へ。

手順7 $\mathbf{z}$ と $\mathbf{s}$ の適合度のどちらかが $\mathbf{r}$ の適合度よりよければよいほうを参照点 $\mathbf{r}$ にする。また、ある入れ替え確率で $\mathbf{z}$ と $\mathbf{r}$ のどちらかを $\mathbf{s}$ と入れ替える。

[探索点の実行不可能個体である場合]

探索点の実行不可能個体であれば、境界点 $\mathbf{t}$ をまず探索する。次に境界点と探索点の線分上に新たな点 $\mathbf{z}$ を生成する。この場合の探索アルゴリズムを次に示す。

手順1 新たな個体 $\mathbf{t}$ を $\mathbf{t} = \frac{1}{2} \bar{\mathbf{s}} + \frac{1}{2} \bar{\mathbf{r}}$ より生成する。

手順2 $\mathbf{t}$ が実行可能であれば、 $\bar{\mathbf{r}} = \mathbf{t}$ とし手順3へ。実行不可能であれば、 $\bar{\mathbf{s}} = \mathbf{t}$ とし手順3へ。

手順3 $\bar{\mathbf{s}}$ と $\bar{\mathbf{r}}$ の距離がある値以下であれば、境界点 $\mathbf{t} = \bar{\mathbf{r}}$ とし手順4へ。そうでなければ手順1へ。

手順4 境界点 $\mathbf{t}$ と参照点 $\mathbf{r}$ から、探索点の実行可能である場合と同様に新たな個体 $\mathbf{z}$ を生成し手順5へ。

手順5 t, z の適合度のどちらかが r よりもよければよいほうを参照点 r にする。また、ある入れ替え確率によって、 t, z のどちらかを s と入れ替える。

これらの2種類のアルゴリズムを用いることにより、最適解が存在する可能性の高い境界を探索することが可能となる。また、境界点を用いて探索を行うため、より大域的に実行可能空間の探索が可能となる。さらに、ランダムに発生させた個体が実行不可能解であれば、2分法を用いることで効率よく実行可能解を発見することが可能になる。

6. 改良型 GENOCOP III と対話型ファジィ満足化手法

改良型 GENOCOP III の全貌を明らかにするため、使用される各遺伝的オペレータについて順次説明していくが、初期個体群の生成法は前節で提案した手法を用いる。

6.1 選択オペレータ

各個体を適合度に基づいてランクづけし、各個体のランクに基づいて個体数を再生するランキング選択を用いる。ランク i の個体の選択確率 p_i は、

$$p_i = c \cdot (1 - c)^{i-1}$$

により求める。ここで、 $c \in (0, 1)$ は、ランク 1 の個体を選択される確率を表している。

6.2 交叉と突然変異オペレータ

本研究において、交叉と突然変異は、すべて閉オペレータになっている。つまり、交叉や突然変異が行われ、新たに生成された個体はつねに S を満たす。たとえば、2つのベクトル $\bar{X}, \bar{Y} \in S$ の算術交叉は

$$\alpha \bar{X} + (1 - \alpha) \bar{Y} \in S, 0 \leq \alpha \leq 1$$

となり、 S が凸集合であるため、つねに子の解ベクトルは S を満たす。

本研究では、単純交叉、全体算術交叉、ヒューリスティック交叉、境界突然変異、一様突然変異、非一様突然変異、全体非一様突然変異を用いる。どのオペレータを用いるかは、乱数によりランダムに決定する。

拡張ミニマックス問題(6)を解くための改良型 GENOCOP III のアルゴリズムは次のように要約される。

[改良型 GENOCOP III のアルゴリズム]

手順1 初期個体群を生成する。

手順2 探索集団に対して交叉、突然変異オペレータを適用する。

手順3 探索集団の個体と参照集団の個体を結ぶ線分上から新たな点を2分法を用いた手法により生成し、

入れ替え操作を行う。

手順4 個体を評価した後に、選択オペレータを適用し次世代に個体を更新する。

手順5 終了条件を満たせば終了。そうでなければ手順2へ。

このような改良型 GENOCOP III の適用により、拡張ミニマックス問題(6)を解いて得られた(M-) α -パレート最適解に DM が満足できないときは、DM は、満足解に到達するまで、基準メンバシップ値や α の値を更新することになる。MONLP-FP(1)に対するこのような対話型ファジィ満足化手法のアルゴリズムは次のように要約される。

[対話型ファジィ満足化手法のアルゴリズム]

手順1 $\alpha = 0, 1$ に対して、与えられた制約領域における各目的関数の個別の最大値、最小値を求める。

手順2* 各目的関数の最大値と最小値を考慮して、意思決定者が主観的に各メンバシップ関数を決定する。

手順3 初期の α の値を意思決定者が設定し、初期基準メンバシップ値を1に設定する。

手順4 初期集団を生成する。

手順5 探索集団に対して交叉、突然変異オペレータを適用する。

手順6 探索集団の個体と参照集団の個体を結ぶ線分上から新たな点を2分法を用いた手法により生成し、入れ替え操作を行う。

手順7 個体を評価した後に、選択オペレータを適用し次世代に個体を更新する。

手順8 終了条件を満たせば、得られた解を意思決定者に提示する。そうでなければ、手順5へ。

手順9* 意思決定者が得られた解に満足ならば終了。そうでなければ、基準メンバシップ値や α の値を更新して手順4へ。

ここで、*印の付いた手順では意思決定者との対話が行われる。

7. 数値例

これまで単一目的の凸および非凸のいくつかの非線形計画問題の数値例に対して、GENOCOP III と改良法の比較・検討を行った結果、改良型 GENOCOP III は、初期の実行可能解の確実な探索と二分法による境界点の探索によって、より大域的な探索が可能となり、しかも計算時間も大幅に短縮できることが判明した。例えば、一目的、10変数、5非線形制約、3線形制約、10上下限制約の比較的簡単な非凸非線形計画問題に対して、すべての試行で同一の初期個体群と同一のオペレータを用いて、10回の試行を行った場合の G III と改良型 G

IIIの最大探索回数は100回と30回、平均探索回数は52回と11回となり、GENOCOP IIIでは最大探索回数が設定された最大探索回数の100回となり、実行可能解を求められない場合がしばしば見受けられるのに対して、改良型G IIIではかなり少ない探索回数となっているという望ましい結果が得られた。この探索回数の差が、G IIIと改良型G IIIの平均計算時間763.918秒と275.193秒にも反映されており、さらにG IIIと改良型G IIIで得られた最良解は-160.163と-216.602で、最悪解に関しても7.513と-13.531というように、改良型G IIIの方がG IIIよりも非常に良い結果を与えると結果が得られた。

このような単一目的のいくつかの非線形計画問題の数値例に対するシミュレーション結果による改良型G IIIのG IIIに対する優位性の経験に基づいて、本論文では、次のような3目的、10変数のファジィ数を含む非凸の最小化問題を取り上げて、改良型GENOCOP IIIを取り入れた対話型ファジィ満足化手法によりDMの満足解を導出してみよう。

$$\begin{aligned}
 \min f_1(\mathbf{x}) &= 7x_1^2 - x_2^2 + x_1x_2 + a_{11}x_1 \\
 &+ a_{12}x_2 + 8(x_3 - 10)^2 + a_{13}(x_4 - 5)^2 \\
 &+ (x_5 - 3)^2 + 2(x_6 - 1)^2 + a_{14}x_7^2 \\
 &+ a_{15}(x_8 - 11)^2 + 2(x_9 - 10)^2 + x_{10}^2 + 45 \\
 \min f_2(\mathbf{x}) &= (x_1 - 5)^2 + a_{21}(x_2 - 12)^2 \\
 &+ 0.5x_3^4 + a_{22}(x_4 - 11)^2 + 0.2x_5^5 + a_{23}x_6^2 \\
 &+ 0.1x_7^4 + a_{24}x_8x_7 + a_{25}x_6 - 8x_7 + x_8^2 \\
 &+ 3(x_9 - 5)^2 + (x_{10} - 5)^2 \\
 \min f_3(\mathbf{x}) &= x_1^3 + (x_2 - 5)^2 + a_{31}(x_3 - 9)^2 \\
 &+ a_{32}x_3 + 2x_4^3 + a_{33}x_5^2 + (x_6 - 5)^2 + a_{34}x_7^2 \\
 &+ a_{35}(x_7 - 2)x_8^2 - x_9x_{10} + 4x_9^3 + 5x_1 \\
 &- 8x_1x_7 \\
 \text{s.t.} \\
 b_{11}(x_1 - 2)^2 - 4(x_2 - 3)^2 - 2x_3^2 + 7x_4 \\
 &+ b_{12}x_5x_6x_8 + 120 \geq 0 \\
 -5x_1^2 + b_{21}x_2 - (x_3 - 6)^2 + b_{22}x_4 + 40 &\geq 0 \\
 -x_1^2 - 2(x_2 - 2)^2 + b_{31}x_1x_2 + b_{32}x_5 - 6x_5x_6 &\geq 0 \\
 b_{41}(x_1 - 8)^2 - 2(x_2 - 4)^2 - 3x_3^2 + b_{42}x_5x_8 + 30 &\geq 0 \\
 3x_1 - 6x_2 + b_{51}(x_9 - 8)^2 + b_{52}x_{10} &\geq 0 \\
 b_{61}x_1 + 5x_2 + b_{62}x_7 + 9x_8 &\leq 105 \\
 10x_1 + b_{71}x_2 + b_{72}x_7 + 2x_8 &\leq 0 \\
 -8x_1 + 2x_2 + 5x_9 + b_{81}x_{10} &\leq 12 \\
 -5.0 \leq x_i \leq 10.0, \quad i=1, \dots, 10
 \end{aligned}$$

数値例に含まれるファジィ数は、三角型のメンバシップ関数をもつファジィ数であるとして、それぞれのパラメータ値は専門家の判断により表1のように設定されたものとする。また、DMの各目的関数に対する

メンバシップ関数は $\mu_1(f_1(\mathbf{x})) = \frac{1500 - f_1(\mathbf{x})}{1420}$, $\mu_2(f_2(\mathbf{x})) = \frac{3500 - f_2(\mathbf{x})}{3300}$, $\mu_3(f_3(\mathbf{x})) = \frac{3100 - f_3(\mathbf{x})}{3050}$ と設定されたものとする。

本数値例に対して、探索集団と参照集団の個体数をそれぞれ70、入れ替え確率 $p_r = 0.2$ 、非線形ランキンング選択における $c = 0.1$ 、世代数5000とし、さらに、交叉、突然変異に関しては各々が発生する頻度を入力ファイルとして、それぞれ、単純交叉4、全体算術交叉4、ヒューリスティック交叉4、境界突然変異4、一様突然変異4、非一様突然変異4、全体非一様突然変異4に設定した。ただし、ここでいう頻度は何個の個体がこれらの遺伝的操作を受けるかを意味している。すなわち、交叉の頻度4は2回の交叉が行われることを意味し、突然変異の頻度4は4回の突然変異が行われることを意味している。

本例では仮想的なDMにより、表2に示されているように、 $(\bar{\mu}_1, \bar{\mu}_2, \bar{\mu}_3; \alpha)$ の値は(1.0, 1.0, 1.0; 1.0)から(0.8, 1.0, 1.0; 0.9), (0.8, 1.0, 0.9; 0.9),

表1 非凸MONLP-FPの数値例に含まれるファジィ数

	L	M	R		L	M	R
a_{11}	-14.5	-14	-13.5	b_{11}	-3.3	-3	-2.6
a_{12}	-16.5	-16	-15.5	b_{12}	-2.2	-2	-1.8
a_{13}	3.7	4	4.4	b_{21}	-8.6	-8	-7.4
a_{14}	4.5	5	5.5	b_{22}	1.8	2	2.2
a_{15}	6.4	7	7.5	b_{31}	1.7	2	2.4
a_{21}	4.5	5	5.5	b_{32}	-14.8	-14	-13.2
a_{22}	2.7	3	3.3	b_{41}	-0.9	-0.5	-0.2
a_{23}	6.5	7	7.5	b_{42}	0.8	1	1.2
a_{24}	-4.5	-4	-3.6	b_{51}	-12.8	-12	-11.2
a_{25}	-10.7	-10	-9.3	b_{52}	6.5	7	7.5
a_{31}	2.8	3	3.3	b_{61}	3.6	4	4.4
a_{32}	-12.8	-12	-11.2	b_{62}	-3.4	-3	-2.6
a_{33}	3.5	4	4.5	b_{71}	-8.4	-8	-7.6
a_{34}	5.6	6	6.4	b_{72}	-18	-17	-19
a_{35}	2.8	3	3.2	b_{81}	-2.2	-2	-1.8

表2 非凸MONLP-FPの数値例に対する対話過程

iteration	1	2	3	4
α	1	0.9	0.9	0.8
$\bar{\mu}_1$	1	0.8	0.8	0.8
$\bar{\mu}_2$	1	1	1	1
$\bar{\mu}_3$	1	1	0.9	0.95
$f_1(\mathbf{x})$	358.237	577.095	522.099	535.736
$f_2(\mathbf{x})$	846.607	766.002	573.928	610.764
$f_3(\mathbf{x})$	647.595	573.117	699.483	582.128
$\mu_1(\mathbf{x})$	0.80406	0.64993	0.68866	0.67906
$\mu_2(\mathbf{x})$	0.80406	0.82848	0.88669	0.87553
$\mu_3(\mathbf{x})$	0.80407	0.82849	0.78706	0.82553

(0.8, 1.0, 0.95, 0.8)へと更新されている。なお、表2の対話過程において、まず、初期基準メンバシップ値1に対して、仮想的なDMの設定したあいまい性の水準 $\alpha=1$ に対する α -パレート最適解が求められている。しかし本例でのDMは、得られた α -パレート最適解におけるメンバシップ関数の達成レベル(0.80406, 0.80406, 0.80407)には満足できず、 μ_1 を犠牲にしても μ_2, μ_3 を改善させるとともに α の値を犠牲にしても、メンバシップ関数の達成レベルを改善させようと考えて、 $(\bar{\mu}_1, \bar{\mu}_2, \bar{\mu}_3; \alpha)$ の値を(0.8, 1.0, 1.0; 0.9)に更新している。このようにして、本例における仮想的なDMは、4回目の対話で得られた α -パレート最適解に対する α の値0.8および各メンバシップ関数の値(0.67906, 0.87553, 0.82553)に満足して対話を終了している。もちろん、このような対話により得られた α -パレート最適解に対してDMが満足できなければ、満足解が導出されるまで同様な対話が繰り返されることになる。

8. おわりに

本論文では、ファジィ数を含む非凸の多目的非線形計画問題を定式化し、非ファジィな α -多目的非線形計画問題に対するDMのファジィ目標を規定した後、DMが主観的に設定した基準メンバシップ値とあいまい性の度合 α に拡張ミニマックスの意味に近い(M-) α -パレート最適解を求め、DMが満足しなければ基準メンバシップ値やあいまい性の度合を対話的に更新することにより、(M-) α -パレート最適解の中からDMの満足解を導出するという対話型ファジィ満足化手法を提案した。ここで、拡張ミニマックス問題に、GENOCOP IIIを適用して(M-) α -パレート最適解を求める代わりに、初期実行可能解の効率的探索と2分法による実行可能解の探索を導入した改良型GENOCOP IIIを適用すれば、より効率的に求められることを示した。今後の課題として、GAに関しては、より大域的な探索を行うために、探索集団における実行可能個体数の割合を考慮することなどの、探索集団における多様性を考慮した工夫などが望まれる。また、提案した対話型ファジィ満足化手法の現実の意思決定状況への適用により、今後のさらなる発展が期待される。

参考文献

- [1] L.S. Lasdon, R.L. Fox, and M.W. Ratner, "Nonlinear optimization using the generalized reduced gradient method," *Revue Française d'Automatique, Informatique et Recherche Opérationnelle*, Vol.3, pp.73-103, 1974.
- [2] L.S. Lasdon, A.D. Waren and M.W. Ratner, "GRG2 User's Guide," Technical Memorandum, University of Texas, 1980.
- [3] 坂和, 矢野, "ファジィパラメータを含む多目的非線形計画問題に対する対話型意思決定," *計測自動制御学会論文誌*, 22巻, 2号, pp.162-167, 1986.
- [4] M. Sakawa and H. Yano, "Interactive decision making for multiobjective nonlinear programming problems with fuzzy parameters," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.29, No.3, pp.315-326, 1989.
- [5] 坂和, 矢野, "ファジィパラメータを含む多目的非線形計画問題に対する対話型ファジィ満足化手法," *電子通信学会論文誌*, J68-A 巻, 10号, pp.1038-1046, 1985.
- [6] M. Sakawa and H. Yano, "An interactive fuzzy satisficing method for multiobjective nonlinear programming problems with fuzzy parameters," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.30, No.3, pp.221-238, 1989.
- [7] 坂和正敏, "ファジィ理論の基礎と応用," 森北出版, 1989.
- [8] M. Sakawa, "Fuzzy Sets and Interactive Multiobjective Optimization," Plenum Press, New York, 1993.
- [9] 坂和正敏, 石井博昭, 西崎一郎, "ソフト最適化," 朝倉書店, 1995.
- [10] 坂和正敏, "非線形システムの最適化," 森北出版, 1986.
- [11] D.E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning," Addison Wesley, 1989.
- [12] Z. Michalewicz, "Genetic Algorithms + Data Structures=Evolution Programs," Third, revised and extended edition, Springer-Verlag, 1996.
- [13] 坂和正敏, 田中雅博, "遺伝的アルゴリズム," 朝倉書店, 1995.
- [14] M. Gen and R. Cheng, "Genetic Algorithms and Engineering Design," John Wiley & Sons, New York, 1997.
- [15] D. Powell and M. Skolnick, "Using genetic algorithms in engineering design optimization with nonlinear constraints," *Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms*, pp.424-430, 1993.
- [16] Z. Michalewicz and N. Attia, "Evolutionary optimization of constrained problems," *Proceedings of the Third Annual Conference on Evolutionary Programming*, pp.98-108, 1994.
- [17] Z. Michalewicz, "Genetic algorithms, numerical optimization and constraints," *Proceedings of the Sixth International Conference on Genetic Algorithms*, pp.151-158, 1995.
- [18] J. Joines and C. Houck, "On the use of non-stationary penalty functions to solve nonlinear constrained optimization problems with gas," *Proceed-*

ings of the First IEEE International Conference on Evolutionary Computation, pp.579-584, 1994.

[19] Z. Michalewicz and G. Nazhiyath, "Genocop III : a co-evolutionary algorithm for numerical optimization problems with nonlinear constraints," Proceedings of the Second IEEE International Conference Evolutionary Computation, pp.647-651, 1995.

[20] Z. Michalewicz, "Evolutionary algorithms for constrained parameter optimization problems," Evolutionary Computation, vol.4, pp.1-32, 1996.

(1997年3月27日 受 付)

(1997年8月19日 再受付)

[問い合わせ先]

〒739-0046

東広島市鏡山1-4-1

広島大学工学部第二類(電気系)

計数管理工学講座

坂和 正敏

TEL : 0824(24)7694, (22)7159

FAX : 0824(24)7694, (22)7195

E-mail : sakawa@msl.sys.hiroshima-u.ac.jp

著 者 紹 介

坂和 正敏 (さかわ まさとし)

広島大学工学部第二類(電気系)

昭45 京大・工・数理卒, 昭50同大学院博士課程了, 昭50 神大・工・システム助手, 昭56 同助教授, 昭62 岩手大・工・教授を経て, 平2 広島大・工・第二類(電気系)計数管理工学講座教授となり現在に至る。大規模システム, 多目的システム, ファジィシステムにおける意思決定手法とその応用に関する研究に従事。工博。著書線形システムの最適化, 非線形システムの最適化, ファジィ理論の基礎と応用, 経営数理システムの基礎(森北出版), ソフト最適化, 遺伝的アルゴリズム(朝倉書店), Fuzzy Sets and Interactive Multiobjective Optimization (Plenum Press)等。

矢内 克裕 (やうち かつひろ)

広島大学工学部第二類(電気系)

平7 広島大・工・第二類(電気系)卒, 平9 同大学大学院博士課程前期終了。(株)村田製作所入社。在学中は, 遺伝的アルゴリズムによる非線形最適化に関する研究に従事。

An Interactive Fuzzy Satisficing Method for Multiobjective Nonconvex Programming Problems with Fuzzy Numbers through Floating Point Genetic Algorithms

by

Masatoshi SAKAWA and Katsuhiko YAUCHI

Abstract :

In this paper, by considering the experts' fuzzy understanding of the nature of the parameters in the problem-formulation process, we formulate multiobjective nonconvex nonlinear programming problems with fuzzy numbers and present an interactive fuzzy satisficing method through floating point genetic algorithms. Using the α -level sets of fuzzy numbers, the corresponding nonfuzzy α -programming problem is introduced. After determining the fuzzy goals of the decision maker, if the decision maker specifies the degree α and the reference membership values, the corresponding extended Pareto optimal solution can be obtained by solving the augmented minimax problems for which the floating point genetic algorithm, called GENOCOP III, is applicable. In order to overcome the drawbacks of GENOCOP III, we propose the revised GENOCOP III by introducing a method for generating an initial feasible point and a bisection method for generating a new search point efficiently. Then an interactive fuzzy satisficing method is presented together with an illustrative numerical example.

Keywords : Multiobjective Nonconvex Programming Problems, Fuzzy Numbers, Fuzzy Goals, Genetic Algorithms, Floating Point Representation, Interactive Methods

Contact Address : **Masatoshi SAKAWA**

Faculty of Engineering, Hiroshima University

Higashi-Hiroshima, 739-0046 Japan

TEL : 0824(24)7694, (22)7159 FAX : 0824(24)7694, (22)7195

E-mail : sakawa@msl.sys.hiroshima-u.ac.jp