論文

ファジィパラメータを含む 2レベル非凸非線形計画問題に対する 遺伝的アルゴリズムによる 対話型ファジィ計画法[†]

坂和 正敏^{*1} 西崎 一郎^{*1} 植村 芳雄^{*2} 日高 真聡^{*1}

本論文では、近年、最適化、適応、学習の方法論として注目を集め、非凸非線形最適化問題に対してもその有効性が報告されてきている遺伝的アルゴリズムを取り入れ、問題の定式化に携わった専門家の人間としてのあいまい性を考慮したファジィパラメータを含む2レベル非凸非線形計画問題に対する対話型ファジィ計画法を提案する。提案した手法によれば、各レベルの意思決定者の目的関数に対するファジィ目標を規定した後、上位レベルの意思決定者が満足度の最小許容度を主観的に設定するとともに、レベル間の満足度の比も考慮して、必要となれば意思決定者の最小許容度を対話的に更新することにより、上位レベルの意思決定者の意向を尊重しつつ、レベル間の満足度の達成バランスをも取り入れた満足解が効率よく導出される。最後に、ファジィパラメータを含む2レベル非凸非線形計画問題に対する数値例により提案した手法の妥当性と有効性を示す。

キーワード：2レベル非凸非線形計画問題、ファジィパラメータ、ファジィ計画法、ファジィ目標、遺伝的アルゴリズム、対話型手法

1. はじめに

2レベル非凸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 m 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[10,16]。このような観点から、ファジィパラメータを含む定式化を行い、現実の意思決定状況をより適切に近似することを試みる。

従来、2レベル計画問題では解概念として Stackelberg 解が採用され、この解を計算するための手法が盛んに開発されてきた[18,19]。2レベル計画問題に対して、Stackelberg 解を採用する場合、意思決定者(Decision maker: DM)間に意思の伝達がないことが前提となっているが、上位レベルと下位レベルが、たとえ

ば1つの企業の上位統括部門と各事業部のような関係にある場合の意思決定問題のモデル化として2レベル問題を考える場合、上述の前提は現実的ではない場合もあると考えられる。また、Stackelberg 解の計算という側面から考えると、上位レベルと下位レベルの目的関数がともに線形で、両レベルにとって共通となる制約も線形で表される2レベル線形計画問題でさえ、この問題は特別な構造をもつ非凸計画問題となることが知られており、Stackelberg 解の計算には多くのアルゴリズムが開発されているが、本質的に困難な問題、NP-hard であることが示されている[18]。さらに本論文で取り扱う非凸非線形計画問題は、通常の単一レベルの問題であっても、制約領域の凸性や目的関数の凸性が仮定されていないので、これまでの GRG、乗数法、逐次2次計画法などの非線形最適化手法[9]は、必ずしも有効であるとはいえない。このような計算の困難さから、必ずしも Stackelberg 解ではないとしても、2レベル問題の構造を反映し、かつ比較的容易に計算することができる解の概念が求められる。

一方、Lai[3]、Shihら[17]は多重レベル線形計画問題に対するファジィ計画法を開発した。しかし彼らのファジィ計画法では、上位レベルにおいて、目的関数に対するファジィ目標のみならず決定変数に対するファジィ目標をもメンバシップ関数で規定してファジィ決定で統合しているので、目的関数に対するファジィ目標と決定変数に対するファジィ目標が矛盾して、望ましくない解に到達する可能性が残されていた。このような問題点に対処するため、坂和らは上位レベルの

[†] Interactive Fuzzy Programming for Two-Level Non-convex Nonlinear Programming Problems with Fuzzy Parameters through Genetic Algorithms
Masatoshi SAKAWA, Ichiro NISHIZAKI, Yoshio UEMURA and Masatoshi HITAKA

^{*1} 広島大学工学部第二類(電気系)

Department of Industrial and Systems Engineering, Faculty of Engineering, Hiroshima University

^{*2} (株)住建産業

Products Projects Development Department, Juken Sangyou Co., Ltd.

決定変数に対するメンバシップ関数の規定を削除するとともに、対象とする計画問題をファジィパラメータを含む多重レベル線形計画問題[13], 2レベル分数計画問題[14], 2レベル0-1計画問題[12]などに拡張してきた。坂和らのファジィ計画法では、各レベルのDMの目的関数に対するファジィ目標を規定した後、上位レベルのDMが満足度の最小許容度を主観的に設定するとともに、レベル間の満足度の比も考慮して、必要となればDMの最小許容度を対話的に更新することにより、上位レベルのDMの意向を尊重しつつ、レベル間の満足度の達成バランスをも取り入れた満足解が導出される。しかし、ファジィパラメータを含む2レベル非凸非線形計画問題に対するファジィ計画法は提案されておらず、その開発が望まれていた。

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に対しては、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[9]が存在しており、これらの手法を基礎としたファジィ計画法が考えられるが、本論文では制約領域の凸性や目的関数の凸性が仮定されていない2レベル非凸非線形計画問題を対象とするため、これらの手法は必ずしも有効であるとはいえない。そこで近年、非凸非線形計画問題に対して期待の高まってきた多点並列探索能力を備えた遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm: GA)[1,2,4,15]によるファジィ計画法を提案する。

1995年に Michalewicz らは、一般的な非凸非線形計画問題に対して、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 COstrained Problems)を提案した[4,6]。さらに、坂和らは初期の参照点を非線形制約式の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、効率的かつ確実に求め、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改良型 GENOCOP IIIを提案した[7,8]。

本論文では、最適化問題の定式化におけるパラメータ設定に対する人間(専門家)の判断や評価にはあいまい性が含まれるとの観点から、ファジィパラメータを含む2レベル非凸非線形計画問題の定式化を行い、改良型 GENOCOP IIIを用いた対話型ファジィ計画法を提案する。提案した手法によれば、各レベルのDMの目的関数に対するファジィ目標を規定した後、上位レベ

ルのDMが満足度の最小許容度を主観的に設定するとともに、レベル間の満足度の比も考慮して、必要となればDMの最小許容度を対話的に更新することにより、上位レベルのDMの意向を尊重しつつ、レベル間の満足度の達成バランスをも取り入れた満足解が効率よく導出される。最後に、提案するアルゴリズムの実行可能性と有効性を示すために簡単な数値例を与える。

2. ファジィパラメータを含む2レベル非凸非線形計画問題に対する対話型ファジィ計画法

2レベル非凸非線形計画問題は形式的には次のような計画問題として定式化される。

$$\left. \begin{array}{l} \text{minimize } f_1(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) \\ \text{upper level} \\ \text{minimize } f_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) \\ \text{lower level} \\ \text{subject to } g_j(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) \leq 0, \quad j=1, \dots, q \\ h_j(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) = 0, \quad j=q+1, \dots, m \\ l_{1k_1} \leq x_{1k_1} \leq u_{1k_1}, \quad k_1=1, \dots, n_1 \\ l_{2k_2} \leq x_{2k_2} \leq u_{2k_2}, \quad k_2=1, \dots, n_2 \end{array} \right\} \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{x}_i = (x_{i1}, \dots, x_{in_i})^T$, $i=1, 2$ は n_i 次元の実数の決定変数ベクトル、 $f_i(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)$, $i=1, 2$ と $g_j(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)$, $j=1, \dots, q$, $h_j(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)$, $j=q+1, \dots, m$ は $(n_1 + n_2)$ 変数の実数値関数である。 l_{ik_i} , u_{ik_i} はそれぞれ決定変数 x_{ik_i} の下限值、上限値である。以下では簡単化のため、必要に応じて $\mathbf{x} = (\mathbf{x}_1^T, \mathbf{x}_2^T)^T \in \mathbf{R}_{n_1+n_2}$ と表すことにする。このような2レベル非線形計画問題(1)において、 $f_1(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)$ と $f_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)$ はそれぞれ上位レベルと下位レベルの目的関数であり、 $\mathbf{x}_1$ と $\mathbf{x}_2$ はそれぞれ上位レベルと下位レベルの決定変数を表している。ここで、制約領域や目的関数の凸性が満たされないような2レベル非線形計画問題は2レベル非凸非線形計画問題となることに注意しよう。

ところが、このように定式化されてきた2レベル非凸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 m 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、2レベル非線形計画問題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パラメータとして特性づけられると仮定すると[10,16]、本論

文で取り扱うファジィパラメータを含む2レベル非線形計画問題は次のように定式化される。

$$\left. \begin{array}{l} \text{minimize } f_1(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \tilde{\mathbf{a}}_1) \\ \text{upper level} \\ \text{minimize } f_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \tilde{\mathbf{a}}_2) \\ \text{lower level} \\ \text{subject to } g_j(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \tilde{\mathbf{b}}_j) \leq 0, \quad j=1, \dots, q \\ h_j(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \tilde{\mathbf{b}}_j) = 0, \quad j=q+1, \dots, m \\ \tilde{l}_{1k_1} \leq x_{1k_1} \leq \tilde{u}_{1k_1}, \quad k_1=1, \dots, n_1 \\ \tilde{l}_{2k_2} \leq x_{2k_2} \leq \tilde{u}_{2k_2}, \quad k_2=1, \dots, n_2 \end{array} \right\} \quad (2)$$

ここで、 $\tilde{\mathbf{a}}_i = (\tilde{a}_{i1}, \dots, \tilde{a}_{ip_i})$, $i=1, 2$ は、 i レベルにおいて目的関数に含まれるファジィパラメータのベクトル、 $\tilde{\mathbf{b}}_j = (\tilde{b}_{j1}, \dots, \tilde{b}_{jm_j})$, $j=1, \dots, m$ は、 j 番目の制約に含まれるファジィパラメータのベクトル、 $\tilde{l}_{ik_i}$, $\tilde{u}_{ik_i}$, $i=1, 2, k_i=1, \dots, n_i$ は x_{ik_i} における下限と上限を表すファジィパラメータである。また、 $\tilde{\mathbf{a}} = (\tilde{\mathbf{a}}_1, \tilde{\mathbf{a}}_2)$, $\tilde{\mathbf{b}} = (\tilde{\mathbf{b}}_1, \dots, \tilde{\mathbf{b}}_m)$, $\tilde{\mathbf{l}}_i = (\tilde{l}_{i1}, \dots, \tilde{l}_{in_i})$, $\tilde{\mathbf{l}} = (\tilde{\mathbf{l}}_1, \tilde{\mathbf{l}}_2)$, $\tilde{\mathbf{u}}_i = (\tilde{u}_{i1}, \dots, \tilde{u}_{in_i})$, $\tilde{\mathbf{u}} = (\tilde{\mathbf{u}}_1, \tilde{\mathbf{u}}_2)$ とする。

次に、ファジィパラメータ $\tilde{\mathbf{a}}, \tilde{\mathbf{b}}, \tilde{\mathbf{l}}, \tilde{\mathbf{u}}$ 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

$$\begin{aligned} & (\tilde{\mathbf{a}}, \tilde{\mathbf{b}}, \tilde{\mathbf{l}}, \tilde{\mathbf{u}})_\alpha \\ &= \{(\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{l}, \mathbf{u}) \mid \mu_{\tilde{\mathbf{a}}_{ir}}(a_{ir}) \geq \alpha, \mu_{\tilde{\mathbf{b}}_{js}}(b_{js}) \geq \alpha, \\ & \quad \mu_{\tilde{l}_{ik_i}}(l_{ik_i}) \geq \alpha, \mu_{\tilde{u}_{ik_i}}(u_{ik_i}) \geq \alpha, \\ & \quad i=1, 2, \quad r=1, \dots, p_i, \\ & \quad j=1, \dots, m, \quad s=1, \dots, m_j, \\ & \quad k_i=1, \dots, n_i\} \end{aligned} \quad (3)$$

を導入する。ここで、 $\mathbf{a}_i = (a_{i1}, \dots, a_{ip_i})$, $\mathbf{b}_j = (b_{j1}, \dots, b_{jm_j})$, $\mathbf{a} = (\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2)$, $\mathbf{b} = (\mathbf{b}_1, \dots, \mathbf{b}_m)$, $\mathbf{l}_i = (l_{i1}, \dots, l_{in_i})$, $\mathbf{l} = (\mathbf{l}_1, \mathbf{l}_2)$, $\mathbf{u}_i = (u_{i1}, \dots, u_{in_i})$, $\mathbf{u} = (\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2)$ で、 $\mu_{\tilde{\mathbf{a}}_{ir}}(\cdot)$, $\mu_{\tilde{\mathbf{b}}_{js}}(\cdot)$, $\mu_{\tilde{l}_{ik_i}}(\cdot)$, $\mu_{\tilde{u}_{ik_i}}(\cdot)$ はそれぞれ対応するファジィパラメータのメンバシップ関数とする。

さて、上位レベルの DM が2レベル非凸非線形計画問題の目的関数と制約式に含まれるファジィパラメータを規定するメンバシップ関数の帰属度が、すべてある値 α 以上であればよいと判断したと仮定しよう。このとき、各レベルの DM が最も望ましいように $(\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{l}, \mathbf{u})$ を $(\tilde{\mathbf{a}}, \tilde{\mathbf{b}}, \tilde{\mathbf{l}}, \tilde{\mathbf{u}})_\alpha$ の中から選ぶという、次のような非ファジィな α -2レベル計画問題が定式化される。

$$\left. \begin{array}{l} \text{minimize } f_1(\mathbf{x}, \mathbf{a}_1) \\ \text{upper level} \\ \mathbf{x}, \mathbf{a}_1, \mathbf{b}, \mathbf{l}, \mathbf{u} \\ \text{minimize } f_2(\mathbf{x}, \mathbf{a}_2) \\ \text{lower level} \\ \mathbf{x}, \mathbf{a}_2, \mathbf{b}, \mathbf{l}, \mathbf{u} \\ \text{subject to} \\ g_j(\mathbf{x}, \mathbf{b}_j) \leq 0, \quad j=1, \dots, q \\ h_j(\mathbf{x}, \mathbf{b}_j) = 0, \quad j=q+1, \dots, m \\ l_{1k_1} \leq x_{1k_1} \leq u_{1k_1}, \quad k_1=1, \dots, n_1 \\ l_{2k_2} \leq x_{2k_2} \leq u_{2k_2}, \quad k_2=1, \dots, n_2 \\ (\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{l}, \mathbf{u}) \in (\tilde{\mathbf{a}}, \tilde{\mathbf{b}}, \tilde{\mathbf{l}}, \tilde{\mathbf{u}})_\alpha \end{array} \right\} \quad (4)$$

問題(4)において係数 $(\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{l}, \mathbf{u})$ は、もはや係数としてではなく、変数として取り扱われている。 α -レベル集合に関する制約 $(\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{l}, \mathbf{u}) \in (\tilde{\mathbf{a}}, \tilde{\mathbf{b}}, \tilde{\mathbf{l}}, \tilde{\mathbf{u}})_\alpha$ 以外の $\mathbf{x}$ に関する制約を満たす領域を $X(\mathbf{b}, \mathbf{l}, \mathbf{u})$ で表すことにする。

更に、DM の人間としての判断のあいまい性を考慮すれば、各レベルの DM はそれぞれの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をもつものと考えられる[10, 11]。

このような上位レベルと下位レベルの DM のファジィ目標を特性づけるメンバシップ関数として、本論文では簡単化のため、各目的関数の個別の最小値と最大値の範囲内で、メンバシップ関数の値が0と1になるような目的関数の値 f_i^0 と f_i^1 に対応する2点を線分で結んだ、線形メンバシップ関数

$$\mu_i(f_i(\mathbf{x}, \mathbf{a}_i)) = \begin{cases} 0 & ; f_i(\mathbf{x}, \mathbf{a}_i) > f_i^0 \\ \frac{f_i(\mathbf{x}, \mathbf{a}_i) - f_i^0}{f_i^1 - f_i^0} & ; f_i^1 < f_i(\mathbf{x}, \mathbf{a}_i) \leq f_i^0 \\ 1 & ; f_i(\mathbf{x}, \mathbf{a}_i) \leq f_i^1 \end{cases} \quad (5)$$

を採用する。ここで、 f_i^0 と f_i^1 は、DM が設定するパラメータである。

これらのパラメータ f_i^0 と f_i^1 は DM が主観的に評価するものであるが、 f_i^1 を自己の目的関数の最小値とおき、 f_i^0 を他方の DM の目的関数を最小にする解に対応する目的関数値に設定する Zimmermann[20] による方法をファジィパラメータをもつ場合に拡張して適用する。 $\alpha=0$ に対する与えられた制約条件のもとでの各目的関数の個別の最小化問題の最適解 $(\mathbf{x}^{i0}, \mathbf{a}_i^0, \mathbf{b}^{i0}, \mathbf{l}^{i0}, \mathbf{u}^{i0})$, $i=1, 2$ と、対応する最小値 $f_i^{\min} = f_i(\mathbf{x}^{i0}, \mathbf{a}_i^0)$ および $f_i^{\max} = f_i(\mathbf{x}^{j0}, \mathbf{a}_i^0)$ を計算する。ここで、 $i=1$ に対して $j=2$, $i=2$ に対して $j=1$ である。このとき、式(5)の線形メンバシップ関数において、 $f_i^1 = f_i^{\min}$, $f_i^0 = f_i^{\max}$, $i=1, 2$ と設定する。

問題(1)においては、上位レベルのDMが自己の目的関数を最小化した解と下位レベルのDMが自己の目的関数を最小化した解は、一般に一致しない。そこで、本論文では問題(1)に対する満足解を導くために、まず上位レベルと下位レベルのDMの小さい方の満足度を最大化する問題

$$\left. \begin{array}{l} \text{maximize } \lambda \\ \text{subject to } \mathbf{x} \in X(\mathbf{b}, \mathbf{l}, \mathbf{u}) \\ \mu_1(f_1(\mathbf{x}, \mathbf{a}_1)) \geq \lambda \\ \mu_2(f_2(\mathbf{x}, \mathbf{a}_2)) \geq \lambda \\ (\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{l}, \mathbf{u}) \in (\tilde{\mathbf{a}}, \tilde{\mathbf{b}}, \tilde{\mathbf{l}}, \tilde{\mathbf{u}})_\alpha \end{array} \right\} \quad (6)$$

を解くことから開始する。問題(6)はファジィ数のベクトル $\tilde{\mathbf{a}}, \tilde{\mathbf{b}}, \tilde{\mathbf{l}}, \tilde{\mathbf{u}}$ に対する α -レベル集合の性質より、 $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{l}, \mathbf{u}$ の実行可能領域は、それぞれ、対応する α -レベル集合の左右の端点を用いて、閉区間 $[\mathbf{a}^L, \mathbf{a}^R]$, $[\mathbf{b}^L, \mathbf{b}^R]$, $[\mathbf{l}^L, \mathbf{l}^R]$, $[\mathbf{u}^L, \mathbf{u}^R]$ のように表されるので、問題(6)の最適解は、次の問題を解くことにより得られる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{maximize } \lambda \\ \text{subject to } \mathbf{x} \in X(\mathbf{b}, \mathbf{l}^L, \mathbf{u}^R) \\ \mu_1(f_1(\mathbf{x}, \mathbf{a}_1)) \geq \lambda \\ \mu_2(f_2(\mathbf{x}, \mathbf{a}_2)) \geq \lambda \\ \mathbf{l}^L \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{u}^R \\ (\mathbf{a}, \mathbf{b}) \in (\tilde{\mathbf{a}}, \tilde{\mathbf{b}})_\alpha \end{array} \right\} \quad (7)$$

問題(7)を解いて得られた解が上位レベルのDMにとって満足できる解であるならば、満足解に到達したことになる。しかし、このようにして満足解が得られることはまれであるので、問題(7)を解いて得られた解に対する各レベルのDMの満足度 $\mu_1(f_1(\mathbf{x}, \mathbf{a}_1))$, $\mu_2(f_2(\mathbf{x}, \mathbf{a}_2))$ および両レベルのDMの満足度

$$\lambda = \min(\mu_1(f_1(\mathbf{x}, \mathbf{a}_1)), \mu_2(f_2(\mathbf{x}, \mathbf{a}_2))), \quad (8)$$

さらに得られた解に対するレベル間の満足度の比[3]

$$\Delta = \frac{\mu_2(f_2(\mathbf{x}, \mathbf{a}_2))}{\mu_1(f_1(\mathbf{x}, \mathbf{a}_1))} \quad (9)$$

を参考に上位レベルのDMは自己のメンバシップ関数 $\mu_1(f_1(\mathbf{x}, \mathbf{a}_1))$ に対する満足度の最小許容度 $\hat{\delta} \in [0, 1]$ を主観的に設定し、 $\mu_1(f_1(\mathbf{x}, \mathbf{a}_1)) \geq \hat{\delta}$ という条件を前提に、与えられた制約条件のもとで下位レベルのDMの満足度の最大化を試みるものとする。したがって、問題

$$\left. \begin{array}{l} \text{maximize } \mu_2(f_2(\mathbf{x}, \mathbf{a}_2)) \\ \text{subject to } \mathbf{x} \in X(\mathbf{b}, \mathbf{l}, \mathbf{u}) \\ \mu_1(f_1(\mathbf{x}, \mathbf{a}_1)) \geq \hat{\delta} \\ (\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{l}, \mathbf{u}) \in (\tilde{\mathbf{a}}, \tilde{\mathbf{b}}, \tilde{\mathbf{l}}, \tilde{\mathbf{u}})_\alpha \end{array} \right\} \quad (10)$$

を解く。問題(6)と(7)の関係と同様に問題(10)の最適解は次の問題を解くことにより得られる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{maximize } \mu_2(f_2(\mathbf{x}, \mathbf{a}_2)) \\ \text{subject to } \mathbf{x} \in X(\mathbf{b}, \mathbf{l}^L, \mathbf{u}^R) \\ \mu_1(f_1(\mathbf{x}, \mathbf{a}_1)) \geq \hat{\delta} \\ \mathbf{l}^L \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{u}^R \\ (\mathbf{a}, \mathbf{b}) \in (\tilde{\mathbf{a}}, \tilde{\mathbf{b}})_\alpha \end{array} \right\} \quad (11)$$

上位レベルのDMは自己の設定した最小許容度 $\hat{\delta}$ を満たす解が得られることになるが、最小許容度 $\hat{\delta}$ の設定値が高ければ高いほど、対応する下位レベルのDMの満足度は低くなってしまい、上位レベルのDMと下位レベルのDMの満足度の相対的な差が大きくなり、両レベルのDMの相対的な満足度のバランスが極端に悪くなってしまうことになりかねない。

両レベルのDMの満足度の相対的なバランスをも考慮するためには、上位レベルと下位レベルのDMのファジィ目標に対する満足度を可能な限り同時にバランスよく最大化するような満足解を探索することが望ましい。このような立場から、本論文では、上位レベルのDMが設定した最小許容度 $\hat{\delta}$ を満たしつつ、 $\mu_1(f_1(\mathbf{x}, \mathbf{a}_1))$ と $\mu_2(f_2(\mathbf{x}, \mathbf{a}_2))$ をともにバランスよく最大化するためには、上位レベルのDMが最小許容度 $\hat{\delta}$ の値を譲歩することも考慮した解を求めることを提案する。

上位レベルのDMは両レベルのDMの満足度のバランスを考慮するために、 Δ に許容範囲 $[\Delta_l, \Delta_u]$ を設ける。もし $\Delta > \Delta_u$ ならば、下位レベルのDMの満足度に対して上位レベルのDMの満足度が小さすぎると考え、上位レベルのDMは自己の最小許容度 $\hat{\delta}$ の値を増加させることにより $\hat{\delta}$ の値を更新する。これに対して下位レベルのDMは、更新された $\hat{\delta}$ の値に対する問題(11)を解くことにより、上位レベルのDMの満足度を増加させ、下位レベルのDMの満足度を減少させる。逆にもし $\Delta < \Delta_l$ ならば、下位レベルのDMの満足度に対して上位レベルのDMの満足度が大きすぎると考え、上位レベルのDMの最小許容度 $\hat{\delta}$ の値を減少させることにより、自己の満足度を減少させ、下位レベルのDMの満足度を増加させる。もちろん $\Delta = 1$ であれば、両レベルのDMの満足度が等しくなる。

いま、イテレーション l における、下位レベルのDM

の満足度を $\mu_2(f_2^l)$, 上位レベルの DM の満足度を $\mu_1(f_1^l)$, $\Delta^l = \mu_2(f_2^l) / \mu_1(f_1^l)$, 両レベルの満足度を λ^l とする. このときの解が上位レベルの DM に提案され, その解は次の条件を満たさなければならない.

条件(1) 上位レベルの DM の設定した最小許容度 $\hat{\delta}$ に対して $\mu_1(f_1^l) \geq \hat{\delta}$ である.

条件(2) 上位レベルの DM の設定した Δ の許容範囲 $[\Delta_l, \Delta_u]$ に, Δ^l がある.

条件(1)は上位レベルの DM の解に対する自己の希求要件であり, 条件(2)は上位レベルの DM が下位レベルの DM の満足度と自己の満足度とのバランスをとるための条件である. これらの条件がすべて満たされ, かつ上位レベルの DM がその解に満足すれば満足解を得て終了する.

この条件が満たされないとき, または上位レベルの DM が満足しないときは, 上位レベルの DM は最小許容度 $\hat{\delta}$ の更新を行うことになる.

3.1 δ の更新

(1) 条件(1)が満たされなかったときには, 上位レベルの DM が $\hat{\delta}$ の値を減少させる.

(2) 条件(2)において $\Delta^l > \Delta_u$ の場合は, 上位レベルの DM が $\hat{\delta}$ の値を増加させ, 下位レベルの DM に対する制約を厳しくする.

(3) 逆に $\Delta^l < \Delta_l$ の場合は, $\hat{\delta}$ の値を減少させ, 下位レベルの DM に対する制約を緩くする.

(4) 上記のすべての条件を満たしているが, そのとき提案された解に上位レベルの DM が満足せず, 下位レベルの DM の満足度を少し犠牲にしても上位レベルの DM の満足度を少し増加させる方が良く上位レベルの DM が判断した場合は, $\hat{\delta}$ の値を増加させ, 下位レベルの DM に対する制約を厳しくする.

(5) 逆に上位レベルの DM の満足度を少し犠牲にしても下位レベルの DM の満足度を少し増加させる方が良く上位レベルの DM が判断した場合は, $\hat{\delta}$ の値を減少させ, 下位レベルの DM に対する制約を緩くする.

これまで述べてきたファジィパラメータを含む2レベル非凸非線形計画問題に対するファジィ計画法のアルゴリズムは次のように要約される.

ファジィパラメータを含む2レベル非凸非線形計画問題に対する対話型ファジィ計画法

手順1 上位レベルの DM が α -レベル集合を規定する α の値を定め, 上位レベルと下位レベルの DM のファジィ目標を規定するメンバシップ関数を決定する.

手順2 $l=1$ として, 問題(7)を解く. 得られた解に上位レベルの DM が満足すれば, 満足解を得て終了する. そうでなければ, 得られた満足度 λ^l を考慮して, 上位

レベルの DM の最小許容度 $\hat{\delta}$ を設定する. さらに, 上位レベルの DM は両レベルの満足度の比の上限と下限を設定する.

手順3 設定された $\hat{\delta}$ に対する問題(11)を解き, 得られた最適解 (f_1^l, f_2^l) , λ^l , $\mu_1(f_1^l)$, $\mu_2(f_2^l)$, Δ^l を上位レベルの DM に提示する.

手順4 提示された解が条件(1), (2)を満たし, かつ上位レベルの DM が満足すれば, 満足解を得て終了する. そうでなければ, $l=l+1$ として上位レベルの DM は更新基準に基づいて $\hat{\delta}$ を更新して手順3へ戻る.

このようなファジィパラメータを含む2レベル非凸非線形計画問題に対する対話型ファジィ計画法においては, 非凸非線形計画問題(7)や(11)を解くことが求められる. Michalewicz らが提案した GENOCOP III [6] の適用が可能であるが, 本論文では GENOCOP III の問題点を克服した坂和らによる改良型 GENOCOP III [7,8] を適用することにする. そこで, 次節では, GENOCOP III の問題点と改良型 GENOCOP III のアルゴリズムを概観する.

3. 改良型 GENOCOP III

一般的な非線形計画問題を遺伝的アルゴリズムにより扱う手法のほとんどが, 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 [5]. しかし, これらの手法では, ペナルティ関数の設定が容易でなく, 得られる解の実行可能性が保証されないなどの問題点がある. それに対して, Michalewicz らが提案した GENOCOP III [6] は, ペナルティ法を用いることなく, 参照集団と探索集団の2つの集団を用いることにより制約を取り扱い, 最も一般的に非線形制約を扱えることを示した. ここで, 参照集団とは, すべての制約を満たす領域 X にある個体(参照点)からなる個体群のことで, 探索集団とは, 線形制約と上下限制約を満たす領域 S にある個体(探索点)からなる個体群のことである.

しかし, GENOCOP III には, (1) 初期の実行可能解の生成が困難な場合が多々発生することや, (2) 探索集団の探索点と参照集団の参照点からランダムに新たな実行可能個体を発見する場合に, 個体の実行可能空間の境界に近づけば近づくほど探索効率が悪くなるという2つの問題点が残されていた. このような GENOCOP III の問題点を克服するため, 坂和ら [7,8] は, 初期個体群の生成法と個体の修正法に改良を加えた改良型 GENOCOP III を提案してきている. 非凸非線形計画問題(7)および(11)を解くための改良型 GENOCOP III のアルゴリズムの概要は次のように要約される.

改良型 GENOCOP III

手順1 初期集団を発生する。ここで、探索集団はランダムに発生させた個体群により生成するのに対して、参照集団の生成に関しては、まず次の最小化問題を GENOCOP III[6]を用いて解き、目的関数値が0となる点を1つ求めることにより1つの参照点を見つけ、その個体をコピーすることで個体群を生成する。

$$\text{minimize } \sum_{j \in I_q} \{g_j(\mathbf{x})\}^2 + \sum_{j \in I_h} \{h_j(\mathbf{x})\}^2 \quad (12)$$

ここで、 $I_q = \{j \mid g_j(\bar{\mathbf{x}}) > 0, j = 1, \dots, q\}$ と $I_h = \{j \mid h_j(\bar{\mathbf{x}}) \neq 0, j = q+1, \dots, m\}$ はそれぞれ、ある $\bar{\mathbf{x}} \in S$ に対して非線形不等式制約を満たさない制約の添字の集合と非線形等式制約を満たさない添字の集合である。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 ある1つの参照点とすべての探索点に対して2分法を用いて新たな個体を生成し、入れ替え操作を行う。手順4 個体を評価した後、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 最大世代数になれば終了。そうでなければ手順2に戻る。

4. 数値例

制約式の一部に非凸性を含み、上位レベルと下位レベルの目的関数がそれぞれ非線形で、とくに下位レベルの目的関数が非凸であり、上位レベルと下位レベルのDMの決定変数がそれぞれ5次元で、線形不等式制約が3、非線形不等式制約が5、非線形等式制約が2、全変数に対して上下限制約がある次のようなファジィパラメータを含む2レベル非線形計画問題を考える。

$$\begin{aligned} \text{minimize}_{\substack{\text{upper level} \\ \mathbf{x}, \mathbf{a}_1, \mathbf{b}, \mathbf{l}, \mathbf{u}}} f_1(\mathbf{x}, \mathbf{a}_1) &= 7x_{11}^2 - x_{12}^2 + x_{11}x_{12} \\ &+ a_{11}x_{11} + a_{12}x_{12} + 8(x_{13} - 10)^2 + a_{13}(x_{14} - 5)^2 \\ &+ (x_{15} - 3)^2 + 2(x_{21} - 1)^2 + a_{14}x_{22}^2 \\ &+ a_{15}(x_{23} - 11)^2 + 2(x_{24} - 10)^2 + x_{25}^2 + 45 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{minimize}_{\substack{\text{lower level} \\ \mathbf{x}, \mathbf{a}_2, \mathbf{b}, \mathbf{l}, \mathbf{u}}} f_2(\mathbf{x}, \mathbf{a}_2) &= (x_{11} - 5)^2 + a_{21}(x_{12} - 12)^2 \\ &+ 0.5x_{13}^2 + a_{22}(x_{14} - 11)^2 + 0.2x_{15}^2 + a_{23}x_{21}^2 \\ &+ 0.1x_{22}^2 + a_{24}x_{21}x_{22} + a_{25}x_{21} - 8x_{22} \\ &+ x_{23}^2 + 3(x_{24} - 5)^2 + (x_{25} - 5)^2 \end{aligned}$$

subject to

$$\begin{aligned} b_{11}(x_{11} - 2)^2 + 4(x_{12} - 3)^2 + 2x_{13}^2 \\ - 7x_{14} + b_{12}x_{15}x_{21}x_{23} - 120 &\leq 0 \\ 5x_{11}^2 + b_{21}x_{12} + (x_{13} - 6)^2 + b_{22}x_{14} - 40 &\leq 0 \\ x_{11}^2 + 2(x_{12} - 2)^2 + b_{31}x_{11}x_{12} + b_{32}x_{15} \\ + 6x_{15}x_{21} &\leq 0 \end{aligned}$$

$$b_{41}(x_{11} - 8)^2 + 2(x_{12} - 4)^2 + 3x_{15}^2 + b_{42}x_{15}x_{23} - 30 \leq 0$$

$$-3x_{11} + 6x_{12} + b_{51}(x_{24} - 8)^2 + b_{52}x_{25} \leq 0$$

$$b_{61}x_{11} + 5x_{12} + b_{62}x_{22} + 9x_{23} \leq 105$$

$$10x_{11} + b_{71}x_{12} + b_{72}x_{22} + 2x_{23} \leq 0$$

$$-8x_{11} + 2x_{12} + 5x_{24} + b_{81}x_{25} \leq 0$$

$$x_{12}x_{13} + b_{91}x_{14}x_{15} + b_{92}x_{21}x_{22} - 5x_{23}x_{24} = 0$$

$$b_{10,1}x_{11}^3 + b_{10,2}x_{21}^3 = 0$$

$$-5.0 \leq x_{1k_1} \leq 10.0, k_1 = 3, 4, 5$$

$$l_{11} \leq x_{11} \leq 10.0$$

$$l_{12} \leq x_{12} \leq 10.0$$

$$-5.0 \leq x_{2k_2} \leq 10.0, k_2 = 2, \dots, 5$$

$$l_{21} \leq x_{21} \leq u_{21}$$

ここで、 $\mathbf{x}_1 = (x_{11}, \dots, x_{15})^T$, $\mathbf{x}_2 = (x_{21}, \dots, x_{25})^T$ である。また、 $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{l}, \mathbf{u}$ はファジィパラメータを表す。

これらのファジィパラメータは、三角型のメンバシップ関数をもつファジィパラメータであるとして、それぞれのパラメータの値は表1のように設定されたものとする。表1のL, M, Rはそれぞれ三角型のメンバシップ関数をもつファジィパラメータの左端、中央、右端の値を示している。

この数値例に対して、上位レベルのDMは係数ベクトルの現実性の度合を $\alpha = 0.90$ としたとする。メンバシップ関数の決定に関しては、Zimmermannの手法をファジィパラメータをもつ場合に拡張したものを採用する。そのときのメンバシップ関数のパラメータ $f_i^l = f_i^{\text{min}}, f_i^0 = f_i^{\text{m}}, i = 1, 2$ は表2のようになり、上位レベルと下位レベルのDMの各目的関数に対するメンバシップ関数は次のように設定される。

表1 ファジィパラメータ

	L	M	R		L	M	R
a_{11}	-14.5	-14	-13.5	b_{41}	0.2	0.5	0.9
a_{12}	-16.5	-16	-15.5	b_{42}	-1.2	-1	-0.8
a_{13}	3.7	4	4.4	b_{51}	11.2	12	12.8
a_{14}	4.5	5	5.5	b_{52}	-7.5	-7	-6.5
a_{15}	6.4	7	7.5	b_{61}	3.6	4	4.4
a_{21}	4.5	5	5.5	b_{62}	-3.4	-3	-2.6
a_{22}	2.7	3	3.3	b_{71}	-8.4	-8	-7.6
a_{23}	6.5	7	7.5	b_{72}	-18	-17	-16
a_{24}	-4.5	-4	-3.6	b_{81}	-2.2	-2	-1.8
a_{25}	-10.7	-10	-9.3	b_{91}	-5.5	-5	-4.5
b_{11}	2.6	3	3.3	b_{92}	0.8	1	1.2
b_{12}	1.8	2	2.2	$b_{10,1}$	0.5	1	1.3
b_{21}	7.4	8	8.6	$b_{10,2}$	0.7	1	1.5
b_{22}	-2.2	-2	-1.8	l_{11}	-6	-5.0	-4
b_{31}	-2.4	-2	-1.7	l_{12}	-5.5	-5.0	-4.5
b_{32}	13.2	14	14.8	l_{21}	-5.7	-5.0	-4.3
				u_{21}	9.0	10.0	10.5

表2 メンバシップ関数のパラメータ

f_1^1	797.917	f_1^0	1690.796
f_2^1	473.590	f_2^0	3479.330

本数値例に対して、改良型 GENOCOP IIIを適用するが、このとき、探索集団と参照集団の個体数70、世代数5000、入れ替え確率0.2、非線形ランキング選択におけるパラメータを0.1とする。さらに、個体数70の個体群に対して、7種類の遺伝的操作すなわち、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はそれぞれ4個体ずつに対して行われる。

最初に定式化される問題(7)を解いて得られた解を表3に示す。

ここで、得られた上位レベルのDMのメンバシップ値は $\mu_1^1=0.844251$ であるので、この値を参考に、上位レベルのDMは $\hat{\delta}=0.900$ に設定し、上位レベルと下位レベルの満足度の比 Δ の許容範囲を $[0.80, 1.00]$ と設定したとする。このとき対応する問題(11)を解いて得られた解を表4に示す。

得られた解に対する上位レベルのDMのメンバシップ値は $\mu_1^2=0.900044$ で、最小許容度 $\hat{\delta}=0.90$ 以上になっている。また満足度の比は $\Delta^2=0.808055$ であり、指定された範囲 $[0.80, 1.00]$ 内にある。したがって得られた解は、すべての条件を満たしている。ここで、上位レベルのDMが十分な対話が行われ、得られた解に満足したと判断したとすると、満足解を得たことになり終了する。

5. おわりに

本論文では、ファジィパラメータを含む2レベル非凸非線形計画問題に対して、改良型 GENOCOP IIIを用いた対話型ファジィ計画法を提案した。提案した手法によれば、各レベルのDMの目的関数に対するファジィ目標を表すメンバシップ関数を決定した後、上位レベルのDMがメンバシップ関数に対する満足度の最小許容度を主観的に設定するとともに、レベル間の満足度の比も考慮して、必要となればDMの最小許容度を対話的に更新することにより、上位レベルのDMの意向を尊重しつつ、レベル間の満足度の達成バランスをも取り入れた満足解が導出される。ファジィパラメータを含む2レベル非凸非線形計画問題に対して数値例により、提案した手法の妥当性と有効性が示された。

今後の課題としては、最小許容度の設定あるいは更新方法、レベル間の満足度に対するより適切な評価の手法など、対話過程の改善が考えられる。また、本論文で取り扱った非凸非線形の問題のみならず線形の問題であっても大規模な問題になると満足解を容易に導出することが困難になると考えられ、そのような場合には分解手法などが適用された手法の開発が望まれる。

表3 イテレーション1

λ^1	0.844251		
f_1^1	936.982	$\mu_1(f_1^1)$	0.844251
f_2^1	941.732	$\mu_2(f_2^1)$	0.844251
Δ^1	1.000000		

表4 イテレーション2

f_1^2	887.166	$\mu_1(f_1^2)$	0.900044
f_2^2	1293.300	$\mu_2(f_2^2)$	0.727285
Δ^2	0.808055		

参考文献

- [1] M. Gen and R. Cheng: "Genetic Algorithms and Engineering Design," John Wiley & Sons, New York, 1997.
- [2] D.E. Goldberg: "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning," Addison Wesley, 1989.
- [3] Y.J. Lai: "Hierarchical optimization: a satisfactory solution," Fuzzy Sets and Systems, vol.77, pp.321-335, 1996.
- [4] Z. Michalewicz: "Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs", Third, revised and extended edition, Springer-Verlag, 1996.
- [5] Z. Michalewicz: "Evolutionary algorithms for constrained parameter optimization problems," Evolutionary Computation, vol.4, pp.1-32, 1996.
- [6] 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.
- [7] 坂和 正敏, 矢内 克裕: "非凸非線形計画問題に対する浮動小数点型遺伝的アルゴリズム: 改良型 GENOCOP III," 電子情報通信学会論文誌, vol.J81-A, pp.90-97, 1998.
- [8] 坂和 正敏, 矢内 克裕: "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," 日本ファジィ学会誌, vol.10, pp.89-97, 1998.
- [9] 坂和 正敏: "非線形システムの最適化," 森北出版, 1986.
- [10] M. Sakawa: "Fuzzy Sets and Interactive Multiobjective Optimization," Plenum Press, New York, 1993.
- [11] 坂和 正敏, 石井 博昭, 西崎 一郎: "ソフト最適化," 朝倉書店, 1995.
- [12] 坂和 正敏, 西崎 一郎, 日高 真総: "ファジィパラメータを含む2レベル0-1計画問題に対する遺伝的アルゴリズムによる対話型ファジィ計画法," 電子情報通信学会誌 A, vol.J81-A, pp.971-979, 1998.
- [13] 坂和 正敏, 西崎 一郎, 植村 芳雄, 久保田 啓一: "ファジィパラメータを含む多重レベル線形計画問題

に対する対話型ファジィ計画法,” 電子情報通信学会誌 A, vol.J81-A, pp.641-648, 1998.

- [14] 坂和 正敏, 西崎 一郎, 植村 芳雄, 久保田 啓一:
“ファジィパラメータを含む2レベル線形分数計画
問題に対する対話型ファジィ計画法,” 電子情報通信学
会誌 A, vol.J81-A, pp.963-970, 1998.

- [15] 坂和 正敏, 田中 雅博: “遺伝的アルゴリズム,” 朝倉
書店, 1995.

- [16] M. Sakawa and H. Yano: “An interactive fuzzy
satisficing method for generalized multiobjective
linear programming problems with fuzzuy parame-
ters,” Fuzzy Sets and Systems, vol.35, pp.125-142,
1990.

- [17] H.S. Shih, Y.J. Lai and E.S. Lee: “Fuzzy approach
for multi-level programming problems,” Computers
and Operations Research, vol.23, pp.73-91, 1996.

- [18] K. Shimizu, Y. Ishizuka and J.F. Bard: “Nondiffer-
entiable and Two-Level Mathematical Program-
ming,” Kluwer Academic Publishers, Boston/Lon-
don/Dor-drecht, 1997.

- [19] U.-P. Wen and S.-T. Hsu: “Linear bi-level program-
ming problems--a review,” Journal of Operational
Research Society, vol 42, pp.125-133, 1991.

- [20] H.-J. Zimmermann: “Fuzzy programming and lin-
ear programming with several objective functions,”
Fuzzy Sets and Systems, vol.1, pp.45-55, 1978.

(1998年12月3日 受付)

[問い合わせ先]

〒739-8527

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 Multiob-
jective Optimization (Plenum Press)
等。

植村 芳雄 (うへむら よしお)

㈱住建産業

昭51 山口大・文理・理学卒, 同年(株)
住建産業入社, 平6 広島修道大・大学院・
商学研究科入学, 平8同大学院商学研究科
修了, 平9 同社製造管理部次長兼物流部
企画管理課課長となり現在に至る。ファ
ジィおよび多目的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。

西崎 一郎 (にしざき いちろう)

広島大学工学部第二類(電気系)

昭57 神大・工・システム卒, 昭59 同大
学大学院修士課程了, 同年 新日本製鐵
(株)入社, 平2 京大・経研・助手, 平5 撰
南大・経営情報・助教授, 平9 広島大・工・
第二類(電気系)計数管理工学講座助教授
となり現在に至る, 博士(工学), ファジィ
および多目的環境におけるゲーム理論,
意思決定に関する研究に従事。

日高 真聡 (ひたか まさとし)

広島大学工学部第二類(電気系)

平9 広島大・工・第二類(電気系)卒, 平
11年 同大学大学院博士課程前期了, 同年
ミノルタ(株)入社, 在学中, 遺伝的アルゴ
リズムによる対話型ファジィ多重レベル
非線形画法に関する研究に従事。

Interactive Fuzzy Programming for Two-Level Nonconvex Nonlinear Programming Problems with Fuzzy Parameters through Genetic Algorithms

by

Masatoshi SAKAWA, Ichiro NISHIZAKI, Yoshio UEMURA and Masatoshi HITAKA

Abstract :

It is natural to consider that possible values of parameters of mathematical programming problems are only ambiguously known to experts. From this point of view, in this paper, we formulate two-level nonconvex nonlinear programming problems with fuzzy parameters and present interactive fuzzy programming through genetic algorithms for the problems. Recently, the genetic algorithms attract a great deal of considerable attention as methods for optimization, adaptation and learning, and it has been shown that they effectively work in nonconvex nonlinear programming problems. In our interactive method, after determining the fuzzy goals of the decision makers at both levels, through genetic algorithms, a satisfactory solution is efficiently derived by updating the minimal satisfactory level of decision makers at the upper level with considerations of overall satisfactory balance between both levels. An illustrative numerical example for two-level nonconvex nonlinear programming problems with fuzzy parameters is provided to demonstrate the feasibility of the proposed method.

Keywords : Two-level Nonconvex Nonlinear Programming Problem, Fuzzy Parameters, Fuzzy Programming, Fuzzy Goals, Genetic Algorithms, Interactive Methods

Contact Address : **Masatoshi SAKAWA**

*Department of Industrial and Systems Engineering,
Faculty of Engineering, Hiroshima University
Kagamiyama 1-4-1, Higashi-Hiroshima, Hiroshima, 739-8527 Japan
TEL : 0824(24)7694/(22)7159
FAX : 0824(24)7694/(22)7195
E-mail : sakawa@msl.sys.hiroshima-u.ac.jp*