

創発的問題解決の方法論に関する研究

神戸大学工学部講師

玉置 久

創発的問題解決の方法論に関する研究

1. 研究の背景と目的

工学の本質であるといっても過言でない最適化については、従来さまざまなアプローチで種々の研究が行われている。研究者もこれまで、進化型計算アプローチによる工学的最適化というスタンスで、特にスケジューリングの問題に対して進化型計算法を適用するためのモデリング方法およびアルゴリズム構成方法に関する研究を進めてきた。また同時に、最適化の質を高めるといった観点から、目的(目標)が単一ではなく複数存在するような状況や評価値に不確実性が含まれるような状況下での最適化(意思決定)を対象とし、進化型計算に基づくアプローチ手法に関する研究を行ってきた。これらの研究を通して、静的環境下における意思決定の効率化については一定の成果を得ることができているが、その一方で、より大規模・複雑なシステムの設計・計画・運用といった問題を対象とする場合には、システムの構造・構成や意思決定主体の選好等が動的に変化する状況下においても、効果的に意思決定支援を行えるような創発的問題解決の方法論の必要性が認識された。

このような問題点・課題に対処すべく、問題を解く過程だけを対象とするのではなく、システムのモデリング過程、求解過程、およびヒューマン・マシン対話過程を総合的・体系的に扱える方法論の構築を目的として研究を進める。特に本研究においては、目的が複数存在するような多目的意思決定を対象とし、単に最適解を求める計算法だけでなく、その計算過程において解くべき問題(意思決定者の選好など)を適応的に引き出す枠組みについて検討することを目的とする。

2. 研究方法・研究内容

多目的意思決定に際しては、複数個の評価基準(目的関数)を個々に抽出できたとしても、通常はこれらの目的間にトレードオフの関係がある場合が多い。そこで、このようなトレードオフをバランスさせ得る解(パレート最適解)を集合として求めた上で、意思決定者の選好を引き出すといったアプローチをとる。この際、単に多目的意思決定を行う上で重要なパレート最適解の集合(部分集合)を求めるだけでなく、パレート最適解集合の生成およびこれを提示・参照することによる意思決定者の選好の引き出しを逐次的に繰り返しながら、最終的に選好解を選び出すといった枠組みを考える。

そこで、まず意思決定主体の選好を対話的に抽出しながら探索の方向づけが行われるような進化型計算アルゴリズムとして、解の潜在的な評価を定量化したポテンシャルに基づく手法、すなわちこのポテンシャルを適応度とする遺伝アルゴリズムを新たに提案する。次に、提案手法を計算機上に実現し、例題を用いた計算例を通してその有効性を調べる。

3. 研究結果

3.1. 提案手法

遺伝アルゴリズムにおける各個体に対し、目標(意思決定者の選好)や個体群中の他の個体との関係に基づいて最終的な選好解となり得る度合を潜在的評価として定

量化し、これを“ポテンシャル”と呼ぶ。そして、このポテンシャルを適応度として利用しながら遺伝アルゴリズムによる探索を進めるものとする。

ここで、各個体 i がそれぞれ持つ属性として、

- (a) 個体から目標値までの距離、
- (b) ある 1 つの目的関数に関する評価の良さ、
- (c) すべての目的関数に関する平均的な評価の良さ、
- (d) 個体群中に類似する個体があるかどうかという珍奇性、

の 4 つを考え、それぞれ、

$$a_1(i) = \sqrt{\sum_{k=1}^n \{f_k(i) - \hat{f}_k\}^2} \quad (1)$$

$$a_2(i) = \max_k f_k(i) \quad (2)$$

$$a_3(i) = \sum_{k=1}^p f_k(i) / n \quad (3)$$

$$a_4(i) = n_R(i) \quad (4)$$

のように定量化する。ただし、

n : 目的関数の数、

$f_k(i)$: 個体 i の k 番目の目的関数値、

\hat{f}_k : k 番目の目的関数に対する目標値、

$n_R(i)$: 個体 i を中心にした半径 $(R \cdot \bar{d})$ の範囲内にある個体の数、

\bar{d} : 個体群中での個体間の距離 (目的関数空間でのユークリッド距離) の平均値、

R : 属性値 a_4 の計算で使用する定数、

を表す。そして、これらの属性値にそれぞれ重み w_j を付加した線形和：

$$V_i = \sum_{j=1}^4 w_j a_j(i) \quad (5)$$

を個体 i のポテンシャル V_i と定義する。なお、 $a_j(i)$ は $[0, 1]$ に正規化しておくものとする。

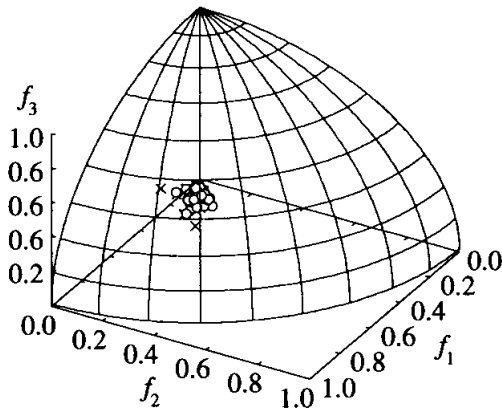
この方法では、重み w_j を適当に設定することによってそれぞれの属性値を反映した個体群が選択され、結果として意思決定者の選好に応じたパレート最適個体の集合が生成されることになる。

3.2. 計算例

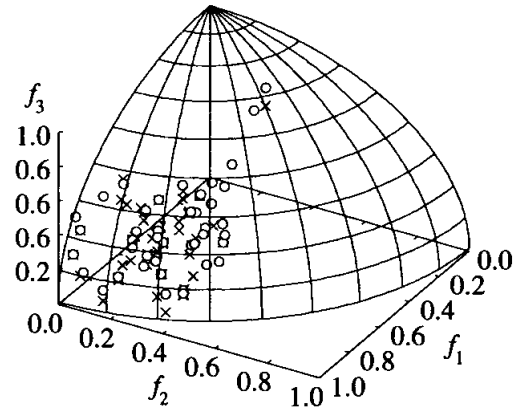
関数最適化の例題にポテンシャルに基づく方法を適用した場合の計算例を示し、提案手法の有効性を検討する。例題としては、3 目的の関数最適化問題：

$$\max \quad f_1 = x_1 \quad (6)$$

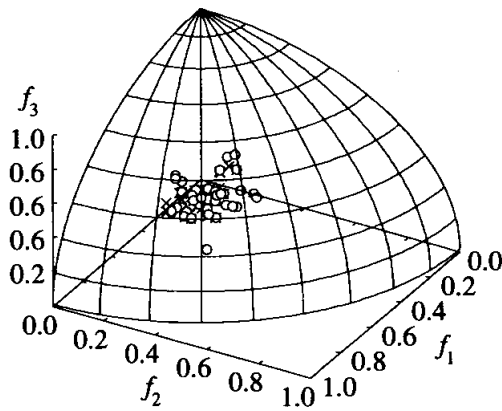
$$f_2 = x_2 \quad (7)$$



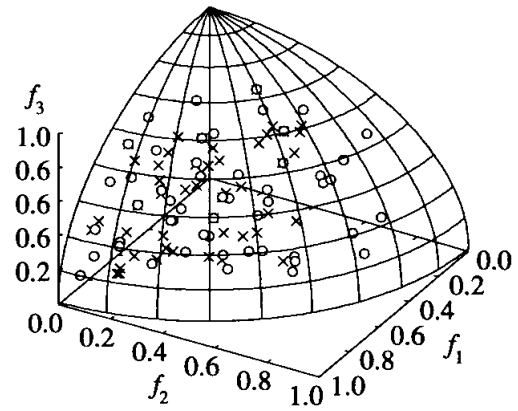
(a) $(w_1, w_2, w_3, w_4) = (2, 1, 1, 1)$



(b) $(w_1, w2, w3, w4) = (1, 2, 1, 1)$



(c) $(w_1, w_2, w_3, w_4) = (1, 1, 2, 1)$



(d) $(w_1, w_2, w_3, w_4) = (1, 1, 1, 2)$

図1 属性の重みを4通りに設定した場合の結果

$$f_3 = x_3 \quad (8)$$

$$\text{subject to } x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 \leq 1 \quad (9)$$

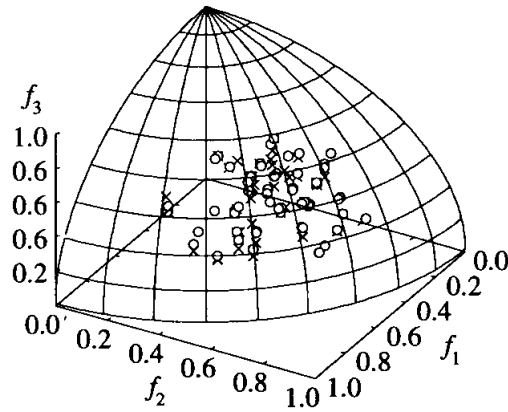
$$x_1, x_2, x_3 \geq 0 \quad (10)$$

を用い、問題および遺伝アルゴリズムを規定するパラメータを、

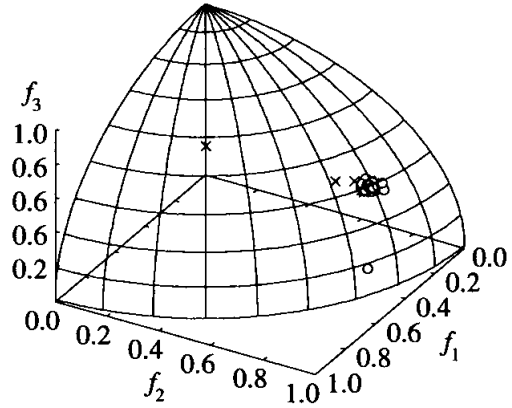
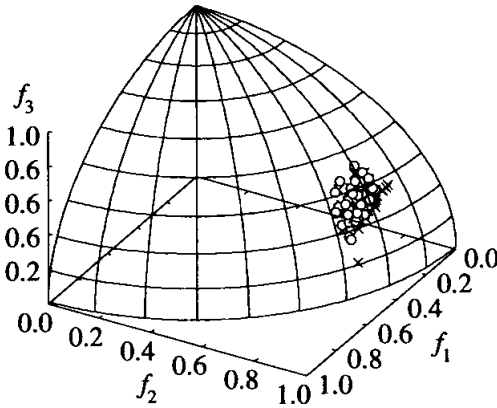
計算終了までの世代数 N_g	: 100,
個体群のサイズ (個体数) N_p	: 100,
1変数あたりの記号長 ℓ	: 10,
交叉点の数 n_c	: 1,
交叉確率 p_c	: 0.8,
突然変異確率 p_m	: 0.05,
ポテンシャルの計算で使用する定数 R	: 0.2,

と設定して計算を行った。

まず、各属性の特性を確認するため、属性 a_j ($j = 1, \dots, 4$) に付加する重み w_j を4通りに設定した場合について、最終世代 (100 世代) における個体の分布を図1に



(a) $(w_1, w_2, w_3, w_4) = (1, 1, 1, 1)$ および $(\hat{f}_1, \hat{f}_2, \hat{f}_3) = (0.6, 0.6, 0.6)$ と設定



(b) $(\hat{f}_1, \hat{f}_2, \hat{f}_3) = (0.3, 0.8, 0.5)$ に変更 (c) $(w_1, w_2, w_3, w_4) = (2, 1, 1, 1)$ に変更

図2 100世代ごとにパラメータを変更した場合の結果

示す。ただし、いずれの場合においても目標値を $(\hat{f}_1, \hat{f}_2, \hat{f}_3) = (0.7, 0.4, 0.6)$ と設定している。図1 (a) ~ (d) より、それぞれ、

- (a) 重み w_1 を大きくすると、目標値付近の個体が選択される、
- (b) 重み w_2 を大きくすると、各目的関数の最大値付近の個体を選択される、
- (c) 重み w_3 を大きくすると、実行可能領域の真中付近の個体を選択される、
- (d) 重み w_4 を大きくすると、個体のばらつきが大きくなる、

ことが確認される。

さらに、探索の途中100世代ごとに目標値および属性の重みを変更して計算を行い、意思決定者の選好を反映する形でパレート最適解集合が更新されていく様子を調べた。その一例を図2に示す。図には、100世代ごとの個体の分布を示している。まず多様なパレート最適個体が生成され(図(a))、次に目標を $(\hat{f}_1, \hat{f}_2, \hat{f}_3) = (0.3, 0.8, 0.5)$ に変更することにより目標付近に個体が集められている(図(b))。その後、属性 a_1 の重み w_1 の値を大きくすることにより、目標値付近にさらに絞り込まれたパレート最適個体が得られている(図(c))。

これらの結果より，ポテンシャルに基づく方法を用いた遺伝アルゴリズムの多目的意思決定に対する可能性が確認できたと言える。

4. 研究がもたらす効果および波及効果

近年ますます大規模化・複雑化する工学システムの設計・生産・運用といった諸段階で生じる様々な最適意思決定に際しては，評価基準（さらには価値判断基準）や制約条件といった問題そのもののモデル化を前もって完全に行っておくことが困難である。そこでは，モデル化をも含めた意思決定支援の枠組み・方法論が所望されることになる。本研究における成果は，そのための基本的アプローチの一つとして位置付けられるものであり，さらには，創発的問題解決のための一般的方法論への発展が期待されるものである。

また，広く意思決定の問題を捉えると，工学的な課題だけでなく，主要国の政策決定のような全世界的なものから昼食のメニュー選択のような個人的なものまで，様々な問題が考えられる。これらの問題では価値判断の基準が主観に大きく左右されるため，従来のシステムズ・アプローチだけでは不十分であるとされてきた。この種の意思決定問題に対しても，問題のモデル化の部分を方法論に内包するといった本研究のアプローチが有効性を示すものであると期待される。

本研究に関する発表論文

- 1) 玉置，進化型計算法と工学的最適化，日本機械学会第 76 期全国大会，132-133，1998.
- 2) 玉置・西野・阿部，非正規目的関数を含む多目的並列機械型スケジューリング問題のモデル化とその遺伝アルゴリズムによる解法，計測自動制御学会論文集，**35** (5)，1999 (掲載予定).