

少数目的組合せによる進化的多数目的最適化と建築 間取りでの評価

井上, 誠
オペティマ設計

高木, 英行
九州大学大学院芸術工学研究院

<https://hdl.handle.net/2324/4482778>

出版情報 : pp. 1-, 2009-12-12. 日本知能情報ファジィ学会
バージョン :
権利関係 :



少数目的組合せによる進化的多数目的最適化と 建築間取りでの評価

オプティマ設計
九州大学大学院芸術工学研究院

○井上 誠
高木 英行

Some-Objective Combination-based Evolutionary Many-Objective Optimization
and its Evaluation with Architectural Room Floor Planning

Makoto Inoue, Optima Design
Hideyuki Takagi, Kyushu University, Faculty of Design

Abstract: We propose some-objective combination Pareto ranking for evolutionary many-objective optimization and experiment on architectural room floor planning to exam the solutions' convergences and diversities.

1. まえがき

進化的多目的最適化(EMO)において目的数が多くなると最適化性能が低下する問題が指摘されている。石淵らはその原因は多数目的の場合に世代がある程度進むとパレート・ランキング法では個体群を占める非劣解の割合が極端に大きくなる点にあると指摘している[8]。その改善手法として選択圧の強化, 目的関数空間における探索領域の削除, 評価指標の利用などが提案されている[4]。

我々は多数目的最適化のために, 全 m 目的から少数 s 目的のすべての mCs 組合せにおいてランキングを行い, それを統合することでランクを求める方法を提案した[6]。本論文では提案手法を多目的遺伝的アルゴリズム(MOGA)[2]に組み入れ, 多数目的を持つ建築間取りに対して最適化実験を行い, 解の収束性と多様性について検証する。

2. 少数目的組合せによるランキング

2.1 提案手法のコンセプト

パレート・ランキング[3]ではすべての目的の内一つに関してでも他の解に対して非劣勢であればその解は非劣解となる(図1(a))。ここで当該目的以外の他目的での優劣関係は無視される。我々の提案手法ではこの消失した優劣関係を利用するために, 少数目的数 $s(2 \leq s \leq (m-1))$ を設定し, 全 m 目的の中から s 個の目的について mCs 通りのパレート・ランキングを行い, それらを統合(本論文では合計)することで各解(個体)のランクとする(図1(b))。 $s=1$ ならばaverage ranking手法[1, 9]になり, $s=m$ ならば通常のパレート・アプローチに

よるEMO手法になる。

2.2 提案手法の具体例

文献[8]の全目的数 $m=5$ の解A,B,Cを例に $1 \leq s \leq m$ として説明する。Obj.1~Obj.5の解A, B, Cの値を(2,2,2,2,2), (1,1,1,1,3), (3,3,3,3,1)とする。 $s=3$ の場合, 表1に示す5目的から3目的を選ぶ組合せ数 (${}_5C_3=10$) 通りのパレート・ランキングに対し, 合計ランキング(解A, 解B, 解C)は(14, 10, 18)となる。

同様に他の s の場合のランクを求めると, $s=1$ はaverage ranking手法であり(10, 7, 13), $s=2$ は(16, 10, 22), $s=4$ は(6, 5, 7), $s=5$ は通常のパレート・ランキングであり(1, 1, 1)となる (s によって組合せ数が異なるため合計ランクの最小値や幅なども異なって

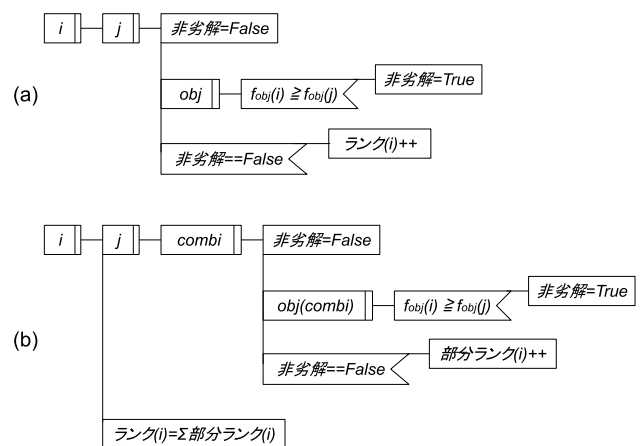


図1. (a)従来のパレート・ランキング, (b)提案の少数目的組合せパレート・ランキングのPAD図. i は比較主体個体番号, j は比較対象個体番号, $i \neq j$, obj は目的番号, $f_{obj}()$ は目的関数, $combi$ は組合せ番号。

表1. 少数目的数 $s=3$ の場合の組合せとパレート・ランク, および, その合計.

Obj. →	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	Sum. ↓
	2	2	2	3	3	4	3	3	4	4	
	3	4	5	4	5	5	4	5	5	5	
解A	2	2	1	2	1	1	2	1	1	1	14
解B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
解C	3	3	1	3	1	1	3	1	1	1	18

表2. 少数目的組合せランキング例 (平均) .

少数目的数	$s=5$	$s=4$	$s=3$	$s=2$	$s=1$
組合せ数	1	5	10	10	5
解A	1.0	1.2	1.4	1.6	2.0
解B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.4
解C	1.0	1.4	1.8	2.2	2.6

いるが, 進化的計算のルーレット選択でスケリングされる). この結果を比較するために各組合せ数で正規化した値を表2に示す. 少数目的数 s が小さいほど各解間の選択確率に差が生じている. つまり, 全 m 目的によるパレート・ランキングと比べ, 限定した少数 s 目的によるランキングでは個体が非劣解になる割合は減少する.

この提案手法では各パレート判定では目的の次元を減少させているものの, 全体的にはすべての少数目的組合せを考慮しているので最終的なランクは全目的についての少数目的パレートを反映したものになっている. よってパレート・アプローチの性質は s に応じてある程度保持されているので, 解の多様性もある程度期待できると考えられる. これは実験で確かめる. また目的を削減するための分析や意思決定を行う必要がなく, そのための計算コストや対話型システムが不要である.

一方average ranking手法では非劣解間の優劣判定はパレート・アプローチを使用せず, 多様性保持性能が極めて悪いことが指摘されている [4].

3. 実験

3.1 建築間取り問題と生成

建築間取りは $1\text{m} \times 1\text{m}$ のセルを最小単位とし集合住宅の $12\text{m} \times 7\text{m}$ の住戸を計画範囲として間取りを作成する. この範囲に居間(L), 台所(K), 寝室(B)1~3, 水廻り(W)及び住戸内廊下を配置する. 平面図の上方向が北とすると, 計画範囲の周囲は北側を共同廊下(玄関側), 東西側を隣接住戸の壁, 南側をこの住戸のベランダとする (図2) .

計画範囲内の一つのセルに部屋の核となる「種」を部屋の個数だけ置く. その種を間取り生成アルゴリズムによって成長させ間取りを作成する. 進化的計算における染色体は各部屋の種座標を並べたものとする[5,7].

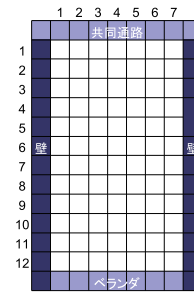


図2. 建築間取り計画範囲と周辺. セルは $1\text{m} \times 1\text{m}$.

3.2 間取りの目的

5つの目的の各フィットネス関数を定義する. なお, 入力値は生成された間取り図から求める. 進化的計算では各目的のフィットネス値は最大値(最適値)が1になるよう正規化している. 以下, 各目的の設定を示す (詳細は[5,7]を参照) .

【目的1: 床面積】

住戸全体の床面積を 84m^2 とした場合の部屋の床面積の目標を居間= 20m^2 , 台所= 16m^2 , 寝室1~3= 12m^2 , 水廻り= 9m^2 , 住戸内廊下= 1m^2 とする. 部屋 i の床面積 a_i と目標床面積 $\hat{a}_i$ からこの部屋のフィットネス関数 $f_i^1(a_i)$ [5,7]を定め, 間取り全体の床面積のフィットネス値を $f^1 = \sum_{i=1}^7 f_i^1(a_i)$ で表す.

【目的2: 部屋形状】

部屋毎に2つのフィットネス関数と形状重要性の重み係数を用意し, これを総合して目的2に対するフィットネス値を求める. 部屋 i の短辺長/長辺長比を r_i とし, この部屋の縦横比に対するフィットネス関数 $f_i^2(r_i)$ [5,7]を定め, 部屋形状の矩形の度合いとして g_i^2 を(床面積 a_i)/(部屋 i を全て含有する最小の四角形の面積)とする. 各部屋の形状に対して重み付け w_i をする (居間=0.75, 台所=0.50, 寝室1~3=1.00, 水廻り=0.25, 住戸内廊下=0.00) . 以上より, 間取り全体に対する部屋形状のフィットネス値を, $f^2 = \sum_{i=1}^7 (w_i \times f_i^2(r_i) \times g_i^2)$ で表す.

【目的3: 動線 (部屋間の隣接関係)】

空間の性格を次の二つに分類する. パブリックな空間 (通過経路とできる) は居間, 台所, 住戸内廊下であり, プライベートな空間 (通過経路とできない) は寝室1~3と水廻りとする. 隙間が出来た場合にはその隙間を通過経路とする. 間取りの動線が建築計画的に見て成立するには, 共同通路から住戸にアクセスし各部屋を経由してベランダに出ることができることを確認する. CC=共同通路, V=ベランダ, L=居間, K=台所, B=寝室, W=水廻り, Path=住戸内廊下, S=隙間とし, 次の7つの隣接関係[5,7]毎に点を加算し動線に関するフィットネス値とする.

【目的4：採光（窓面積）】

建築基準法により各居室の床面積の1/7以上の採光（窓）面積を取る必要がある。居間と台所が接する場合は襖等で仕切る場合も考慮する。採光は共同通路に接する壁に1㎡/m、ベランダに接する壁に2㎡/m取るものとする。フィットネス値は1/7以上取れる場合を1とし、それ以外をその度合いに応じて0から1とする[5,7]。間取り全体の採光に関するフィットネス値 f_4 をそれらの総和で表す

【目的5：住戸内配管の長さ】

今回の実験では台所と水廻りの各セル間のユークリッド距離の平均をその長さとする。他の目的と合わせるため、フィットネス値はこの数値の逆数で定義する。

3.3 実験設定

EMO アルゴリズムは MOGA[2]を用い、提案の少数目的組合せパレート・ランキングを組み込む。建築間取り問題で必要な多様性は解の表現形である間取りにおいてであるため、ニッチング[2]は間取りでの個体間の距離（違い）において行う。なお、エリート保存はしていない。

少数目的数は $s=1$ から $s=5$ までの5種類、各試行数は5回、目的数は5、最大世代数は100、個体数は100、選択方法はルーレット選択、突然変異率は1%、交差率は100%、交差方法は一様交差、ニッチ境界閾 σ_{share} [2]は84/2とする。

解の多様性に関する指標を間取りの違いで定義する。100世代目での各個体間の間取りをセル単位で比較しその違いを割合(%)で集計、平均する。0%の場合は全個体が同じ間取りである（多様性がない）ことを示し、100%の場合は全個体の間取りが違う（多様性が高い）ことを示す。

4. 結果

少数目的数 s を変えた5種類、5試行の実験結果の計算時間と解の多様性を表3に、5目的の適応度と世代の関係（5試行平均）グラフを図3～7に示す。実験は Scilab 5.1.1 for Windows を用いた。

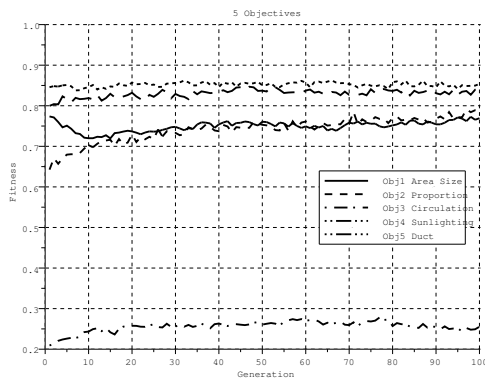


図3. $s=5$ の5目的の適応度と世代のグラフ。

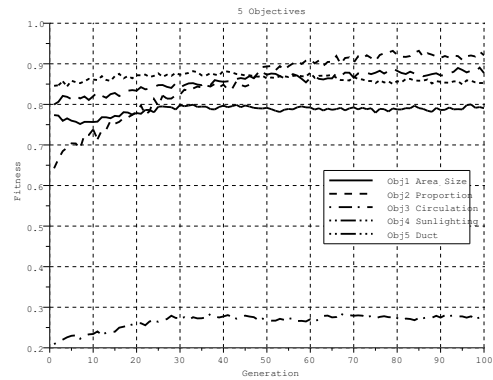


図4. $s=4$ の5目的の適応度と世代のグラフ。

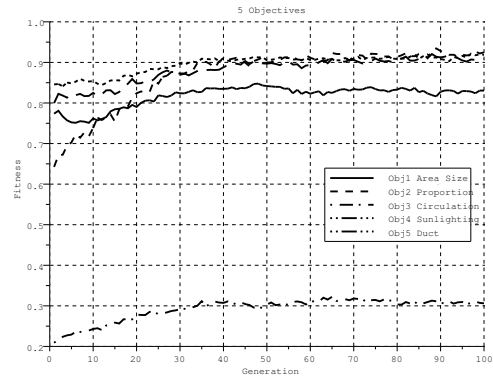


図5. $s=3$ の5目的の適応度と世代のグラフ。

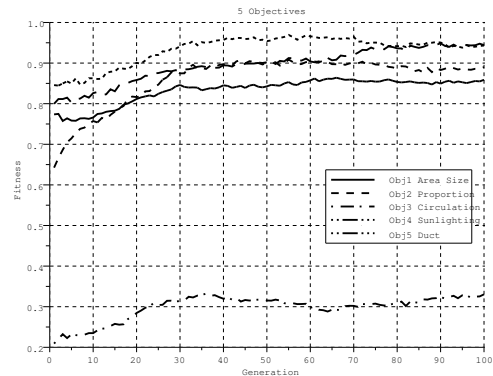


図6. $s=2$ の5目的の適応度と世代のグラフ。

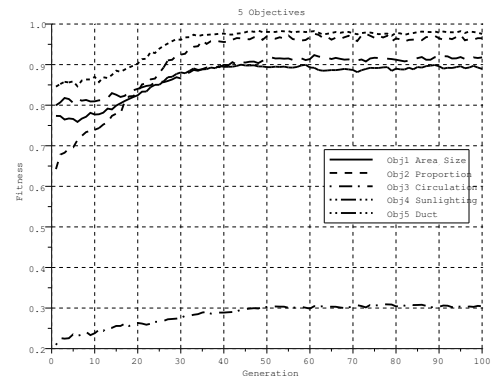


図7. $s=1$ の5目的の適応度と世代のグラフ。

5. 考察

今回の100世代までの実験では少数目的数 s が小さいほど解のフィットネス値は総じて上昇する傾向が見られる(図3~7, 図8). これは提案手法のコンセプトである部分パレート・ランキングでの少数目的による個体間の優劣情報が巧く生かされている結果と言える.

最終的に得られたフィットネス値が違うので一概に比較できないが, s が大きいほど解の多様性も高い(表3). これはaverage ranking手法の多様性保持性能が悪いこと[4]から予想していたことに一致する結果となった.

計算時間は $s=2, 4, 5$ でほぼ等しく, それらより $s=3$ が4%程度長く, $s=1$ が12%程度短い(表3). システムでの実験では計算コストが著しく悪くなることはなく, この点においても提案手法が実用的なものであると言える. しかし, 今回は間取り問題がタスクであり, その生成や評価に計算比重があるため, あるいは個体数が比較的少ないことなどによるためである可能性もある. 今後は設定条件を変えて解析する必要がある.

表3. 少数目的数毎の5試行計算時間と解の多様性.

少数目的数	$s=5$	$s=4$	$s=3$	$s=2$	$s=1$
5試行	5h	5h	5h	5h	4h
計算時間	31m 24s	31m 22s	44m 36s	31m 38s	51m 12s
多様性(%)	76.7	70.0	45.8	29.6	25.4

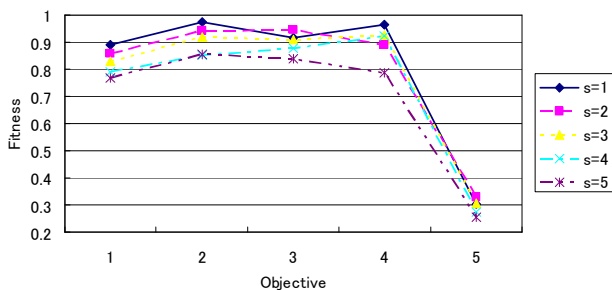


図8. 100世代目の5目的のフィットネス値の少数目的数 s 別の比較.

6. まとめ

提案手法はaverage ranking手法と通常のパレート・アプローチによるEMOのランキング手法との中間的性質を持ち, パレート・ランキングにおける少数目的数 s を変えることで, 解の収束性と多様性保持のバランスを調整できる可能性を確認した. 今回はEMOアルゴリズムとしてMOGAを用いたが, MOGA以外のパレート・アプローチによるEMOにも, 更にはパレート・アプローチではないEMOアルゴリズムにも提案手法を組み入れる方法も考えられる. また, 提案手法は進化論的計算だけでな

く現実世界の様々な多数目的問題の優劣判定に用いることができるであろう.

本論では独自の建築間取りに対する実験に留まったが, 今後は多数目的で扱われている一般的な問題(目的数が5を超える)に対し, elitist non-dominated sorting genetic algorithm [2]などのEMOに組み入れた上で実験を行い, 解の収束性と多様性等について検証を進める.

参考文献:

- [1] Corne, D. W. and Knowles, J. D., "Techniques for Highly Multiobjective Optimisation: Some Non-dominated Points are Better than Others," Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO-2007), London, UK, pp. 773-780, July, 2007.
- [2] Deb, K, *Multi-objective optimization using evolutionary algorithms*, John Wiley & Sons Inc., Chichester, 2001.
- [3] Fonseca, C. M. and Fleming, P. J., "Genetic algorithms for multiobjective optimization: formulation, discussion and generalization," 5th Int. Conf. on Genetic Algorithms (ICGA1993), pp. 416- 423, Urbana-Champaign, IL, USA, July, 1993, Morgan Kaufmann.
- [4] 廣安知之, 石田裕幸, 三木光範, 横内久猛「多数目的最適化における進化的探索の問題点」同志社大学理工学研究報告, 00368172, 同志社大学, 50巻, 1号, pp.24-33, 2009年4月.
- [5] 井上誠, 高木英行「空間配置案生成手法と進化的多目的最適化手法を用いた建築間取り案作成支援システム」人工知能学会論文誌, vol. 24, no. 1, pp. 25-33 (2009).
- [6] 井上誠, 高木英行「進化的多数目的最適化のための少数目的組合せ」電気関係学会九州支部連合大会, 飯塚, 09-1P-04 (2009年9月28-29日).
- [7] Inoue, M. and Takagi, H. "EMO-based Architectural Room Floor Planning," IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2009), San Antonio, Texas, USA, pp. 524-529, Oct., 2009.
- [8] 石淵久生, 塚本実孝, 能島裕介「進化型多数目的最適化」進化計算シンポジウム2007講演論文集, pp. 47-50, 北海道洞爺湖, 2007年12月.
- [9] Kukkonen, S. and Lampinen, J., "Ranking-Dominance and Many-Objective Optimization," 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2007), Singapore, pp. 3983-3990, Sept., 2007.

問合せ先:

オブティマ設計 井上誠 <http://inoue.s201.xrea.com/>

九州大学大学院芸術工学研究院 高木英行

<http://www.design.kyushu-u.ac.jp/~takagi/>