

建築間取り計画のための対話型進化的計算と進化的 多目的最適化の組合せ

井上, 誠
秋田工業高等専門学校

高木, 英行
九州大学大学院芸術工学研究院

<https://hdl.handle.net/2324/2230948>

出版情報：計算工学講演会論文集. 15 (1), pp.351-354, 2010-05-26. 日本計算工学会
バージョン：
権利関係：



建築間取り計画のための 対話型進化的計算と進化的多目的最適化の組合せ

Combination of Interactive Evolutionary Computation and
Evolutionary Multi-objective Optimization for Architectural Room Floor Planning

井上誠¹⁾, 高木英行²⁾

Makoto INOUE and Hideyuki TAKAGI

¹⁾博士 (工学) 一級建築士事務所オプティマ設計 (<http://inoue.s201.xrea.com/>)

²⁾博士 (工学) 九州大学准教授 大学院芸術工学研究院 (<http://www.design.kyushu-u.ac.jp/~takagi/>)

We propose that an architectural room floor planning support system combined Interactive Evolutionary Computing (IEC) and Evolutionary Multi-objective Optimization (EMO), examine and evaluate its combination. Spatial planning optimization problems require dealing with multi-objective because of their many requirements or conditions. In addition, the system should also deal with qualitative factors because spatial planners make plans on their experience, skill or aesthetic sense. We construct the planning support system has a spatial generate part consists of spatial generating algorithm and growth rules, and an optimization part combined EMO with IEC for the requirements, then we discuss usability of the system to support architectural room floor planning. We set a room floor plan of a condominium as a subject for the experiment. This paper shows user evaluations with IEC around early generation make fine plans easy to get.

Key Words : *architectural room floor planning, evolutionary multi-objective optimization, interactive evolutionary computation*

1. はじめに

建築計画では要件や条件が多数あり、その最適化問題は多目的を扱うことが要求される。さらに、知識や経験、美的センスや感性に基づく判断も同時に求められる。例えば、建築家はその技能はもちろん、好みなどの主観的な判断にも基づいて計画している。コンピュータを用いた建築計画支援システムは多目的最適化に主観的判断や評価の取り込むことが不可欠である。この取込み方法の一つに対話型進化的計算 (IEC) [9] がある。

本論文の目的は、進化的多目的最適化 (EMO) と IEC の融合化を行うことである。EMO ではあらかじめ設定した目的について計算機が評価を行うが、IEC ではユーザが主観的に評価を行う。これまで EMO と IEC の組合せに関する研究 [1][8] は少ない。この組合せ方法を第 3.(2) 節で実験的に検討する。

本研究の遂行のためには、空間生成手法、EMO、IEC の 3 手法を組み合わせた枠組みが必要である。これらを組み込んだ空間計画支援システムを [6][7] で示した。このシステムは空間配置案生成部と最適化部からなる。空間配置案生成部は第 2.(1) 節の空間生成アルゴリズムと成長ルールを核として建築間取り案を生成し、最適化部は要求仕様の多制約下で多目的を最適化するため

の EMO と、経験・知識・感性など定量化が困難な目的をも満たす設計のための IEC からなる。

2. 建築計画支援システムの設定

(1) 空間生成アルゴリズム

我々が既に提案している空間生成アルゴリズム [5][6] の概要を次に示す。

1. 各部屋の成長開始点 (種) を $m \times n$ セル上へランダムにあるいは知見に基づいて初期配置する。
2. 各部屋を隣接セルへ成長させる。
3. 成長方向に他の部屋や壁などの障害物がある場合はその方向へは成長しない。
4. 上記 2 と 3 を成長できなくなるまで反復する。

この空間生成アルゴリズムを建築間取り作成支援システムへ応用する場合、部分空間が部屋に、全体空間が居住空間になる。部分空間の成長形成方法 (成長の方向、順序、成長量、他の部分空間との衝突時の成長制限方法など) を記述したものが成長ルールであり、ルールを変更することによって生成される空間の形状などが変化する。本研究では EMO によって間取りの最適化を行うため、各部屋 (部分空間) の種座標の集まりを染色体と定義する [6][7]。

(2) 実用的な間取り計画への応用

本研究での具体的な計画対象は集合住宅住戸の間取りとし、 $12m \times 7m = 84m^2$ の計画範囲に 6 部屋（居間、台所、寝室 1~3、水廻り）と住戸内廊下を計画する。計画の最小単位（モジュール）は $1m \times 1m$ のセルをとする。計画範囲の周囲は、平面図の上方向が北とすると、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。この周囲は空間生成アルゴリズムにおける成長の限界点（障害物）としての機能も果たす。各部屋の境界は壁を意味する。実際の建築ではその壁に出入り口や窓などを設置する必要があるが、本論文の間取り案作成支援システムではそれらの具体的な位置の決定は行わない。

(3) 間取り問題の目的

EMO 部で最適化する 5 目的を以下の通り定義する。

目的 1：床面積

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 $f_i^1(a_i)$ を [7] のように定める。間取り全体の床面積仕様に対するフィットネス値をこれら 6 部屋と住戸内廊下のフィットネス値の総和 $f^1 = \sum_{i=1}^7 f_i^1(a_i)$ で表す。

目的 2：部屋形状

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 $f_i^2(r_i)$ を [7] のように定める。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) と定める。部屋に種類によって形状の重要性が異なるため各部屋の形状に対して重み付け w_i をする。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、間取りの動線の建築計画的な成立のためには、チェック項目 [7] を満たす必要があり、それらを一つ満たす毎に加点していくことで動線に関するフィットネス値 f^3 とする。

目的 4：採光

建築基準法第二十八条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。採光は共同通路に接する壁に $1m^2/m$ 、ベランダに接する壁に $2m^2/m$ 取ることができるものとする。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 [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：ユーザ（擬似人間）による定性的評価

本論では擬似人間によるユーザ評価を 5 番目の目的として第 3.(2) 節で行う実験に導入する。

(4) 擬似人間

被験者を用いた実験では評価を繰り返すことが疲労や時間の関係で難しく、また条件を変えた比較実験では人間の慣れの問題があり、実験の順序が大きく影響する。安定した多数の実験のためには擬似 IEC ユーザを用いた実験が有効とされ [4]、今回もこの方法を用い、擬似人間の評価値は 5 段階とする。まず、目標とする間取りを予め設定する。その目標の間取りと個体の間取りをセル単位で比較し差を求め、その差が小さいほど高い評価値を与える。個体と目標間取りとの差が全ての個体で同じである場合は全て同じ評価値として 3 を与える。計画範囲の周囲は左右に条件の違いが無いため目標の間取りも左右対称の 2 種類（図-1）を用意した。この 2 つの目標間取りと個体の間取りを比較し、その内の差の小さい方の値を評価に用いる。また寝室に関する目的は寝室 3 部屋に共通するので、寝室であれば同じであると判定するものとした。計画する部屋とその面積は居間=20 m^2 、台所=15 m^2 、寝室 1~3=各 12 m^2 、水廻り=9 m^2 、屋内廊下=4 m^2 とする。

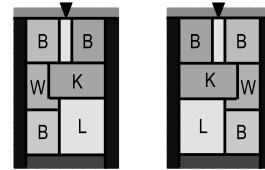


図-1 擬似人間が目標とする間取り。凡例：L, K, W, B は居間、台所、水廻り、寝室を、灰色の箇所は住戸内廊下を表す。なお、L, K, B, W は種の位置を表すものではない。

3. 最適化実験

(1) 実験設定

目的は第 2.(3) 節で設定した 5 目的の組合せ、50 試行、50 世代、21 個体、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 [2] の境界閾 σ_{share} は 49/4 とする。空間生成アルゴリズムの成長順序は居間、台所、寝室 1、寝室 2、寝室 3、水廻り、住戸内廊下の順である。最適化部では EMO の具体的な手法として多目的遺伝的アルゴリズム (MOGA) [2][3] を用いる。なお、各目的値は最良が 1 になるよう正規化する。

(2) 対話型進化的多目的最適化

本論の建築計画支援システムは EMO へ IEC を導入して間取りの最適化を行う。その導入方法として次の 2 つの方法が考えられる。

- IEC でのユーザ評価値を EMO における多目的関

数のフィットネス値の1つとしてパレート・ランキング [3] の過程に組み入れる。

- 進化的計算の世代によって、通常の EMO による多目的最適化を行う世代と通常の IEC による最適化を行う世代を組み合わせる。

実際に人間に評価を行わせるには、評価に伴う疲労などを考慮するとその回数が問題となる。疲労を軽減することを目的とした EMO と IEC の組合せの研究 [8] がある。本節の実験は擬似人間による IEC のスコアが良いと言うためのものではない。IEC によっても最適化が出来ること、及び、ユーザ（擬似人間）評価と EMO 部における目的との関係性を確認・検証することが、実験の主目的である。

4 目的と擬似人間によるユーザ評価との組合せを図-2(a)~(g) の 7 種類設定した。実験結果を、世代と 4 目的の適応度 (21 個体平均 50 試行平均) の関係を図-3~図-9 に示す。

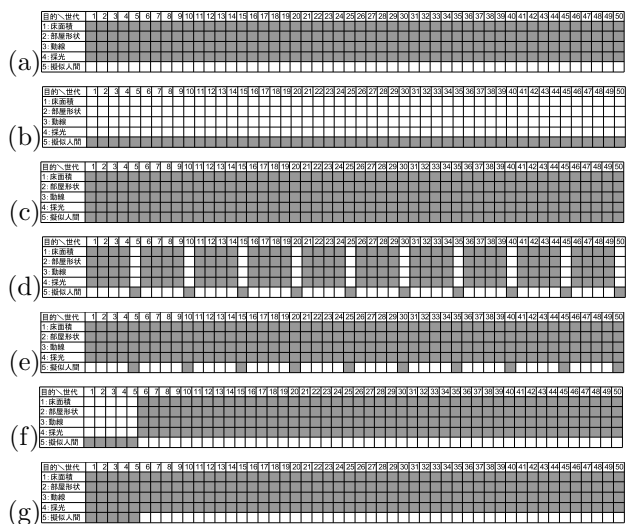


図-2 パレート・ランキングに用いる目的の世代毎組合せ。(a) は第 1~50 世代を 4 目的による、(b) は第 1~50 世代を擬似人間による、(c) は第 1~50 世代を 4 目的と擬似人間による、(d) は第 1~4 世代毎を 4 目的、第 5 世代毎を擬似人間による、(e) は第 1~4 世代毎を 4 目的、第 5 世代毎を 4 目的と擬似人間による、(f) は第 1~5 世代を擬似人間、第 6~50 世代を 4 目的による、(g) は第 1~5 世代を 4 目的と擬似人間、第 6~50 世代を 4 目的による最適化。灰色のセルは目的をパレート・ランキングに反映する。

4. 考察

第 3.(2) 節の組合せの内、適応度の平均収束特性が視覚的に最も良かったものが (f) の第 1~5 世代を擬似人間による評価での単目的最適化、第 6~50 世代を 4 目的の多目的最適化 (図-8) である。全世代を 4 目的で最適化した (a) (図-3) と比べ、15 世代までの適応度の進

展が速く、更に 35 世代以降の値も高くなっている。これは早い世代でのユーザ評価が最適化に有効であることを示していると思われる。また、組合せ (f) のユーザ評価回数は 5 回と少ないこともユーザ評価で生じる疲労を軽減することができる可能性を示している。

組合せ (f) とその他の 6 つの組合せについて 4 目的毎、5 世代毎で 50 試行の適応度についての符号検定を行った (表-1)。その結果、組合せ (f) は他の組合せと比べて良いという有意差が部分的に見られた。一方、組合せ (f) が悪いという有意差は全ての目的と世代において確認できなかった。

表-1 組合せ (f) とその他の 6 つの組合せについて 4 目的毎、5 世代毎で 50 試行の適応度に関する符号検定。◎は危険率 1%、○は危険率 5% で (f) の方が良いという有意差があることを示す。

世代	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
(a) 目的 1	◎	◎		◎				◎		◎
(a) 目的 2							◎			◎
(a) 目的 3										
(a) 目的 4	◎	◎	◎	◎	◎			◎		
(b) 目的 1									◎	◎
(b) 目的 2								◎	◎	◎
(b) 目的 3					◎	◎	◎	◎	◎	◎
(b) 目的 4										
(c) 目的 1		◎	◎			◎				◎
(c) 目的 2										
(c) 目的 3										
(c) 目的 4				◎		◎			◎	
(d) 目的 1	◎	◎	◎	◎						
(d) 目的 2	◎	◎								
(d) 目的 3	◎	◎	◎	◎	◎		◎		◎	◎
(d) 目的 4	◎	◎	◎	◎	◎					
(e) 目的 1	◎	◎	◎	◎	◎			◎	◎	◎
(e) 目的 2	◎	◎	◎	◎	◎			◎	◎	◎
(e) 目的 3	◎	◎	◎	◎	◎			◎	◎	◎
(e) 目的 4	◎	◎	◎	◎	◎			◎	◎	◎
(f) 目的 1	◎	◎	◎	◎	◎					
(f) 目的 2	◎	◎	◎	◎	◎					
(f) 目的 3	◎	◎	◎	◎	◎					
(f) 目的 4	◎	◎	◎	◎	◎					
(g) 目的 1	◎	◎	◎	◎	◎					
(g) 目的 2	◎	◎	◎	◎	◎					
(g) 目的 3	◎	◎	◎	◎	◎					
(g) 目的 4	◎	◎	◎	◎	◎					

5. まとめ

IEC の EMO への融合化を試みた。複数の設定による組合せ実験を行い、有効な組合せ方法について検証を行った。その中で組合せ (f) が探索初期段階におけるユーザ評価がその後の世代にも良い影響を与えており、少ないユーザ評価回数でも素性の良い間取り案が比較的早く得られることを確認した。

参考文献

- 1) A. M. Brintrup, H. Takagi, A. T., and J. J. Ramsden: Evaluation of sequential, multi-objective, and parallel interactive genetic algorithms for multiobjective optimization problems, *J. of Biological Physics and Chemistry*, Vol.6, pp.137-146, 2006.
- 2) K. Deb: *Multi-Objective Optimization using Evolutionary Algorithms*, John Wiley & Sons Inc., Chichester, 2001.
- 3) C. Fonseca and P. Fleming: Genetic Algorithms for Multiobjective Optimization: Formulation, Discussion and Generalization, ICGA '93, pp.416-423, Urbane/Champaign, IL, USA, July 1993.
- 4) S. Henmi, S. Iwashita, and H. Takagi: Interactive Evolutionary Computation with Evaluation Characteristics of Multi-IEC Users, SMC 2006, Vol.4, pp.3475-3480, Taipei, Taiwan, Oct. 2006.
- 5) M. Inoue and H. Takagi: Layout Algorithm for an EC-

based Room Layout Planning Support System, SM-Cia/08, pp.165-170, Muroran, Hokkaido, June 2008.

- 6) 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.
- 7) M. Inoue and H. Takagi: EMO-based Architectural Room Floor Planning, SMC 2009, pp. 524-529, San Antonio, Texas, USA, October 2009.
- 8) R. Kamalian, Ying Zhang, H. Takagi, and A.M. Agogino: Reduced human fatigue interactive evolutionary computation for micromachine design, ICMLC 2005, Vol.9, pp. 5666-5671, Guangzhou, China, Aug. 2005.
- 9) H. Takagi: Interactive Evolutionary Computation: Fusion of the Capabilities of EC Optimization and Human Evaluation, *Proceedings of the IEEE*, Vol.89, No.9, pp.1275-1296, 2001.

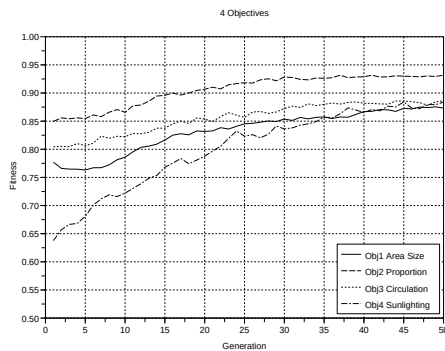


図-3 (a) 第1~50世代を4目的による評価での多目的最適化の21個体平均50試行平均の収束特性。

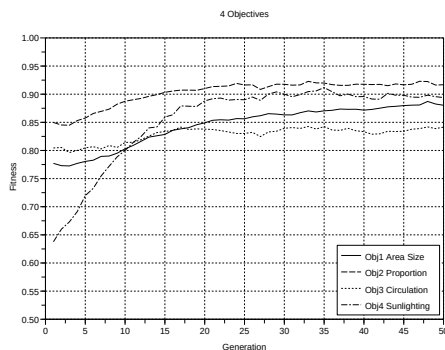


図-4 (b) 第1~50世代を擬似人間による評価での単目的最適化の21個体平均50試行平均の収束特性。

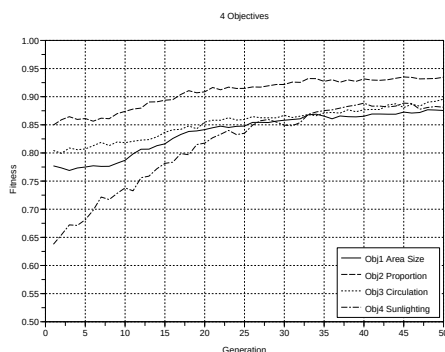


図-5 (c) 第1~50世代を4目的と擬似人間による評価での多目的最適化の21個体平均50試行平均の収束特性。

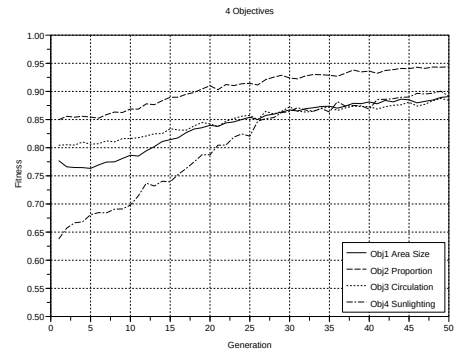


図-6 (d) 第1~4世代を4目的の多目的最適化, 第5世代を擬似人間による評価での単目的最適化の10回繰り返し21個体平均50試行平均収束特性。

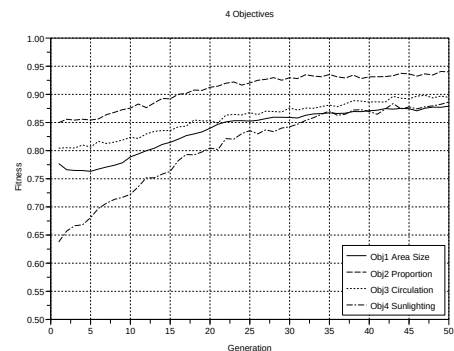


図-7 (e) 第1~4世代を4目的の多目的最適化, 第5世代を4目的と擬似人間による評価での多目的最適化の10回繰り返し21個体平均50試行平均収束特性。

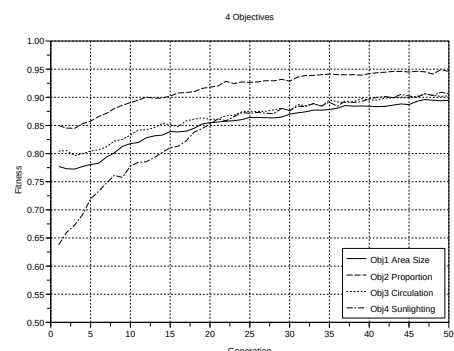


図-8 (f) 第1~5世代を擬似人間による評価での単目的最適化, 第6~50世代を4目的の多目的最適化の21個体平均50試行平均収束特性。

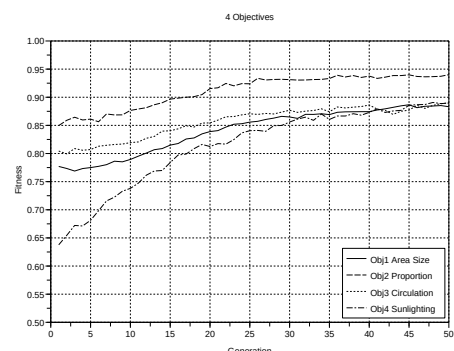


図-9 (g) 第1~5世代を4目的と擬似人間による評価での多目的最適化, 第6~50世代を4目的の多目的最適化の21個体平均50試行平均収束特性。