

## 進化的フロアプラン生成における選択確率の検討

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/2324/1906107>

---

出版情報：計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会講演論文集. 2015, pp.734-737, 2015-11-20. The Society of Instrument and Control Engineers

バージョン：

権利関係：© 2015 SICE

# 進化的フロアプラン生成における選択確率の検討

○井上誠（秋田工業高等専門学校） 高木英行（九州大学）

**概要** 計画するフロアの起点から徐々にフロアを成長させることで様々なフロアプランを生成し、多目的進化的にこれらのフロアプランを最適化する。従来法の成長は一定のフロア順に行っており、その順序がフロアプランに与える影響は大きいとの指摘がある。そこで、各フロアの目標面積に比例した選択確率で成長させるフロアを決定する方法を実験的に評価し、検討を行う。

**キーワード:** 建築計画, 成長アルゴリズム, 進化的多目的最適化

## 1 はじめに

### 1.1 背景

建築のフロア・プランニングは、建築家が行っている。建築計画を行うには、技能と経験が要求される。もし、建築の規模が大きくなり、要求が複雑になれば、計画には長い時間を要するようになる。なお、本研究の最適化対象は建築のフロアプランであるが、大規模集積回路 (LSI) 等のフロアプランについても同様のアプローチで計画が可能であると我々は考えている。

### 1.2 現状

我々は、この建築計画をコンピュータで自動的にある程度まで行い、計画支援となる仕組みを研究し、提案してきた。計画するフロアの起点から徐々にフロアを成長させることで様々なフロアプランを生成し、多目的進的にこれらのフロアプランを最適化する。

### 1.3 先行研究

コンピュータによる建築計画の研究は review 論文<sup>1)</sup>に見られるようなものがある。これらと比較して我々の方法は、最適化手法として多目的最適化や対話型進化計算を使用していることと、フロアの起点を中心として成長させる手法で作成していることが独自である。また、類似するものとして谷垣らの研究<sup>2)</sup>があるが、我々の手法はセルを面的に成長させる点が、それとは大きく異なっている。

## 2 進化的フロアプラン生成

### 2.1 これまでの我々の研究

我々は、これまでフロアプラン計画支援システムの研究をしてきた。このシステムは、フロアプラン作成部 (Fig. 1 -上) と最適化部 (Fig. 1 -下) の2つの部分からなる。

最適化部は Evolutionary Multi-objective Optimization (EMO)<sup>9)</sup> と Interactive Evolutionary Computation (IEC)<sup>8)</sup> からなるが、本論では EMO だけを用いている。

フロアプラン作成部は、本論の主題である。最適化するタスクとして、フロアプランを扱っており、フロアプランを作成する空間成長アルゴリズム<sup>3, 4, 5, 6, 7)</sup>を提案してきた。この成長アルゴリズムのステップ概要は以下の通りである。

1. 各フロアの成長開始点を  $m \times n$  のセルにランダムあるいは任意に配置をする (Fig. 2 -左)。
2. 各フロアの隣接セル 8 方向について 1 セル分成長させるが、まずは上下左右方向に成長させ、その後角 (45 度) 方向に成長させる。この時、計画範

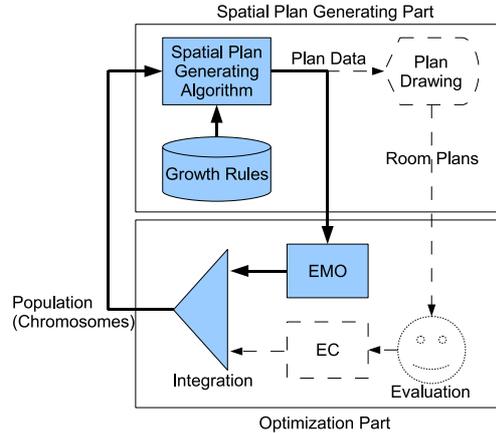


Fig. 1: フロアプラン計画支援システム 上のフロアプラン作成部と下の最適化部の2つの部分からなる。

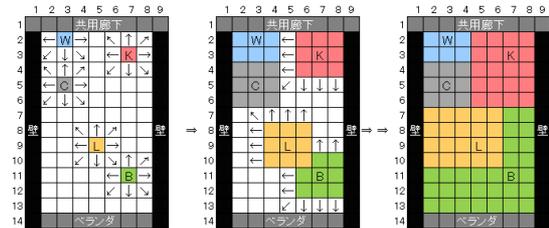


Fig. 2: フロアの成長プロセス例 L, K, B, W, C はそれぞれ、リビングルーム、ダイニングキッチン、寝室、水周り、住戸内通路の起点を示す。

囲の境界や他のフロアが成長方向のセルにあった場合は、成長させない (Fig. 2 -中)。

3. 各フロアを順番に成長させる (Fig. 2 -中)。
4. 成長方向に他の空間があり、成長できなくなるまで各フロアを成長させ続ける (Fig. 2 -右)。

### 2.2 問題・課題

従来法の成長は一定のフロア順に行っており、その順序がフロアプランに与える影響は大きいとの指摘が度々あった。だが、我々の方法は各フロアの成長起点の位置関係によって領域を分けるアルゴリズムであり、それら起点位置こそが最適化すべき重要事項であると捉えている。成長順序はフロアプランに影響を与えるが、その影響は起点位置の最適化でカバーできるとも考えている。

### 2.3 研究の方法

解決案として、各フロアの目標面積に比例した選択確率で成長させるフロアを決定する方法を実験的に評価し、検討を行う。

### 3 実験手法

#### 3.1 全体の設定

フロアプランの対象を集合住宅の1つの住戸とし、計画範囲を  $12m \times 7m = 84m^2$  とする。計画の最小単位は  $1m \times 1m$  とする。そこに7つの空間（リビングルーム、ダイニングキッチン、寝室3つ、水周り、住戸内通路）を計画する。計画範囲の境界は、上部には住戸にアクセスする共用廊下、左右には隣接する住戸を隔てる壁、下にはベランダを配する。

実験環境は、プロセッサを Celeron E3300 @2.5GHz  $\times 2$ 、実装メモリは 3.50GB 使用、OS は Windows7 Professional 32bit とし、数値解析アプリケーションは ScicosLab 4.4.1 を用いた。

#### 3.2 進化的計算の設定

50 試行, 50 世代, 21 個体, 一様交差, 交差率 100%, 突然変異率 1% とした。生成したプランの評価は次に示す 4 目的で行い、各フィットネス値の最大値を 1 とし正規化する。

各空間のフロア面積、各フロアの形状、住戸の動線、住戸の採光の 4 目的<sup>3, 5)</sup>について、MOGA<sup>9, 10)</sup>によって多目的最適化を行う。

目的 1 のフロア面積について、フロア面積の目標をリビングルーム  $20m^2$ 、ダイニングキッチン  $16m^2$ 、寝室 3 室各  $12m^2$ 、水周り  $9m^2$ 、住戸内通路  $1m^2$  とする。床面積と目標床面積より各部屋のフィットネス値を定め、住戸全体のフィットネス値を求める。

目的 2 のフロア形状について、各空間の短辺長/長辺長比が 0.5 以下になるようなメンバシップ関数からフィットネス値を求める。またフロア形状の度合いとして、矩形からの欠け具合の割合をフィットネス値に反映させる。

目的 3 の動線について、リビングルーム、ダイニングキッチン、住戸内通路は通過経路として使用できることとし、寝室と水周りは通過経路にできないと設定する。これらの隣接関係毎に加点しフィットネス値とする。

目的 4 の採光について、各居室のフロア面積の 1/7 以上の窓面積でフィットネス値を 1 とする。建築基準法第 28 条に拠る。窓は共用通路側で壁に  $1m^2/m$ 、ベランダ側に  $2m^2/m$  取ることができるものとして、そのフィットネス値を算出する。

#### 3.3 フロアの成長順と選択確率

フロアプラン作成の従来法では、フロア成長は一定のフロア順に行う。それは、リビングルーム、ダイニングキッチン、寝室 1、寝室 2、寝室 3、水周り、住戸内通路の順である。

本論の提案法は、各フロアの目標面積に比例した選択確率とする。ここで、Fig. 2-左の状態から、1 回目の成長機会が与えられた時、成長方向に他のフロアや計画範囲の境界がなければ、フロア面積は  $9m^2$  となる。同様に、2 回目の成長機会が与えられた空間のフロア面積は  $25m^2$  となる。このように考えていくと、 $n$  回の成長機会が与えられた空間のフロア面積は式 (1) ので与えられる。

$$\text{フロア面積} = (2n + 1)^2 \quad (1)$$

式 (1) を変形すると、フロア目標面積から成長機会回数  $n$  を導く式 (2) が得られる。

$$n = \frac{\sqrt{\text{フロア目標面積} - 1}}{2} \quad (2)$$

目標とするフロア面積、リビングルーム  $20m^2$ 、ダイニングキッチン  $16m^2$ 、寝室 3 室各  $12m^2$ 、水周り  $9m^2$ 、住戸内通路  $1m^2$  を式 (1) に代入すると、成長機会回数  $n$  が Table 1 のように求まる。

Table 1: 成長機会回数  $n$

フロア名	目標面積	$n$	$n$ の累計
リビングルーム	$20m^2$	1.73607	1.73607
ダイニングキッチン	$16m^2$	1.5	3.23607
寝室 1	$12m^2$	1.23205	4.46812
寝室 2	$12m^2$	1.23205	5.70017
寝室 3	$12m^2$	1.23205	6.93222
水周り	$9m^2$	1	7.93222
住戸内通路	$1m^2$	0	7.93222

従来法では、ある一定の順番で成長機会を与えていたが、提案法では、 $n/(n$  の累計) の選択確率によるルーレット選択によって成長機会を与えるものとする。例えば、リビングルームの選択確率は、 $1.73607/7.93222$  である。

なお、その成長機会回数が従来法での成長機会と同数では、計画する空間で計画範囲を十分に埋めることができなかつたので、その回数を 1, 3, 5, 7, 11, 13, 15, 17 倍として、それぞれ実験した。

## 4 実験結果

### 4.1 結果

従来方法と提案方法の結果を、作成されたフロアプランと 4 目的値のプロットで示す。

Fig.3 は従来法で作成された第 1 試行, 第 50 世代目の 21 個体のフロアプランである。Fig.4 は従来法での 4 目的値の世代を追ってのプロットである。

Fig.5 は成長機会 1 倍の提案法で作成された第 1 試行, 第 50 世代目の 21 個体のフロアプランである。成長機会回数 1 倍では隙間が目立つ。Fig.6 は成長機会 1 倍の提案法での 4 目的値の世代を追ってのプロットである。隙間が多いため、フロア面積の目的値が悪い。また、採光の目的値が悪い。隙間は自由な動線経路として機能できるため、動線の目的値が良い。成長機会が少なく、フロア形状が矩形のままであったので、その目的値が良い結果となった。

Fig.7 は成長機会 3 倍の提案法で作成された第 1 試行, 第 50 世代目の 21 個体のフロアプランである。また、隙間が多少見られる。Fig.8 は成長機会 3 倍の提案法での 4 目的値の世代を追ってのプロットである。

Fig.9 は成長機会 13 倍の提案法で作成された第 1 試行, 第 50 世代目の 21 個体のフロアプランである。隙間は、従来法程度に減った。Fig.10 は成長機会 13 倍の提案法での 4 目的値の世代を追ってのプロットである。最終世代において、採光の目的値は従来法と同等であるが、フロア形状と動線の目的値は従来法と比べて 0.05 程度減少し、フロア面積の目的値はそれ以上悪くなっている。

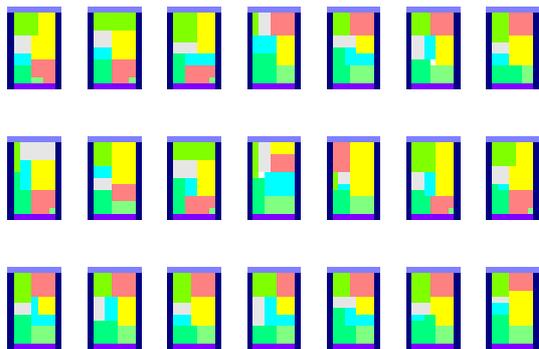


Fig. 3: 従来法でのフロアプラン例 第1試行, 第50世代. 黄:リビングルーム, 赤:ダイニングキッチン, 緑:寝室1~3, 青:水周り, 灰:住戸内通路, 白:隙間.



Fig. 5: 成長機会1倍の提案法でのフロアプラン例 凡例はFig.3と同様.

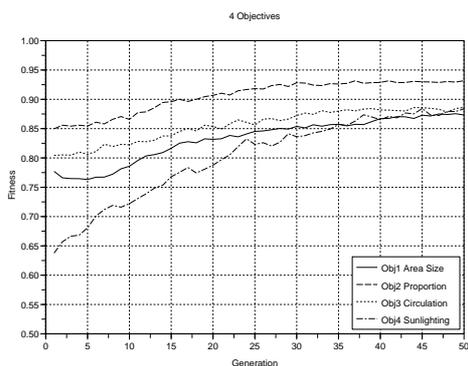


Fig. 4: 従来法での4目的-世代のプロット.

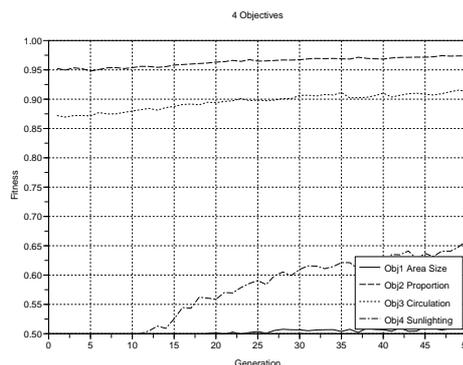


Fig. 6: 成長機会1倍の提案法での4目的-世代のプロット.

## 4.2 評価

4目的の値の推移の他に、50試行×最終50世代目の21個体=1050個体でのHypervolume<sup>11)</sup>と、計算コスト(時間)を評価指標として用いた。

Hypervolumeは、多目的最適化において、解の進展と多様性の両方を評価する指標である。その結果は、Fig.11の通りとなった。成長機会の回数倍率13倍で最大に達したが、それでも提案法では従来方法を超えることはなかった。4目的のそれぞれの最大値は1となるように正規化されているので、Hypervolumeの最良(最大)値は1である。タスクの設定が最適化され易いためか、従来法で既に最良の1に近い値である。

それぞれの設定での50世代、50試行の計算コスト(分秒)は、Fig.12の通りとなった。従来法でのコストが約48秒4秒であるのに対して、提案法は約41分44秒から約49分46秒の間となった。成長機会の違いでは、差ほど大きな違いは無いように思われる。なお、バックグラウンドでのアプリケーションの動作等のため誤差は多少ある。

## 5 考察

成長機会倍率13倍で最適化されたフロアプランの隙間は多くはなかったので、Hypervolumeの結果が悪かった原因ではないと思われる。また、従来法で既にHypervolumeが1に近い値であったことは、今回の提案法の検証意義と実験効果を分かり難くした。

従来法は、フロアの起点間の位置関係で計画範囲を分け、その位置を最適化することでフロア面積等の目的を向上している。フロアの成長順も目的に影響はす

るが、フロアの起点の位置関係によってフロア成長順の影響は吸収される可能性がある。

従来法は一つの染色体から一つのフロアプランが生成されている。一方、提案法は確率的に生成しているため、例え同じ染色体であっても確率的に変わる。そのため、安定したECの効果が損なわれた可能性がある。その影響の方が今回の提案法の結果が芳しくなかった理由である可能性も否定できない。

## 6 まとめ

フロア目標面積の大きさに比例した選択確率を成長機会に用いた提案法は、今回の設定では、従来法と比べて良い結果にはならなかった。プランが確率的に作成されるために進化的計算の効果が不安定になっていることが、その原因ではないかと考える。

## 謝辞

本研究はH26-28年度科学研究費基盤研究(C)(研究課題番号:26350032)の助成を受けたものである。

## 参考文献

- 1) Kamlesh Dutta and Siddhant Sarthak, "Architectural space planning using evolutionary computing approaches: a review," Artificial Intelligence Review, 2011, Volume 36, Issue 4, pp.311-321.
- 2) 谷垣進也, 谷明勲, 山邊友一郎, 「多重最適化による動線及び室形態の最適化システム—室接続に複数経路を有する場合における住宅室配置の最適化—」日本建築学会第30回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 論文, 東京, 2007, pp.7-12.
- 3) Makoto Inoue and Hideyuki Takagi, "EMO-based Architectural Room Floor Planning," IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics

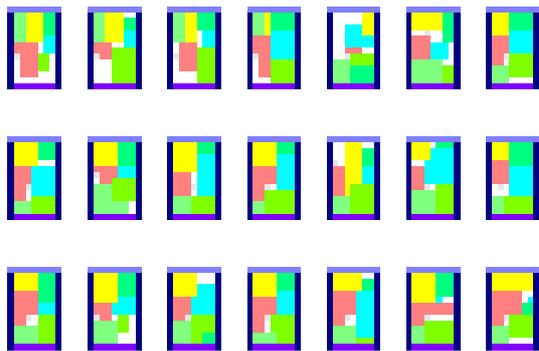


Fig. 7: 成長機会 3 倍の提案法でのプロアプラン例 第 1 試行, 第 50 世代. 凡例は Fig.3 と同様.

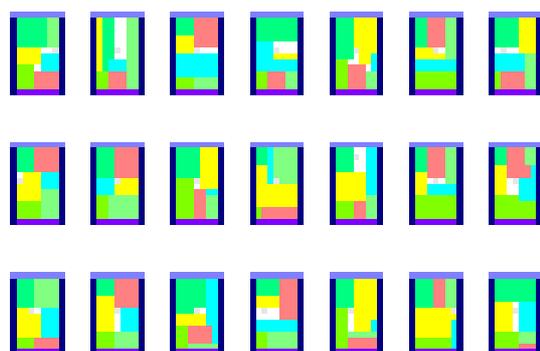


Fig. 9: 成長機会 13 倍の提案法でのプロアプラン例 第 1 試行, 第 50 世代. 凡例は Fig.3 と同様.

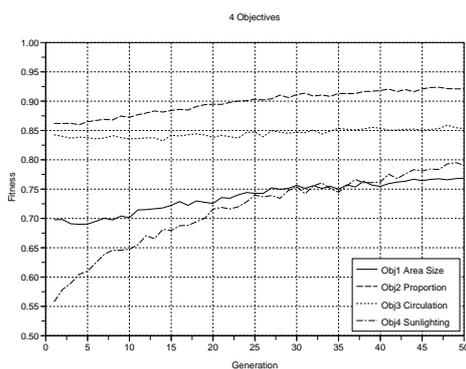


Fig. 8: 成長機会 3 倍の提案法での 4 目的-世代のプロット.

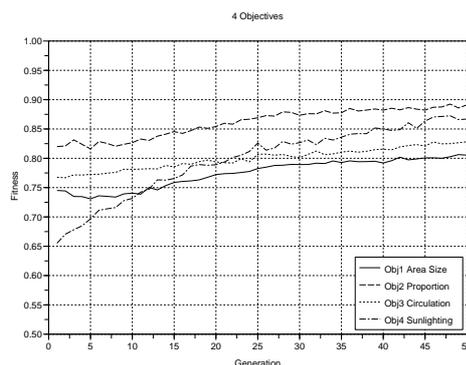


Fig. 10: 成長機会 13 倍の提案法での 4 目的-世代のプロット.

(SMC2009), San Antonio, Texas, USA, 2009, pp.524-529.

- 4) 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, 24 巻 1 号, 2009, pp.25-33.
- 5) 井上誠, 高木英行, 「空間配置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最適化 - 集合住宅における 6 部屋と住戸内廊下の配置 -」日本建築学会第 31 回情報・システム・利用・技術シンポジウム, 報告, 東京, 2008, pp.163-166.
- 6) Makoto Inoue and Hideyuki Takagi, "Layout Algorithm for an EC-based Room Layout Planning Support System," IEEE Conference on Soft Computing in Industrial Applications (SMCia/08), Muroran, Hokkaido, Japan, 2008, pp.165-170.
- 7) 井上誠, 高木英行, 「進化的空間計画のための計算幾何モデル」電子情報通信学会総合大会, 北九州, D-8-29, 2008, p.137.
- 8) 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.
- 9) Kalyanmoy Deb, "Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms," John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- 10) C. Fonseca and P. Fleming, "Genetic Algorithms for Multi-objective Optimization: Formulation, Discussion and Generalization," ICGA '93, pp.416-423, Urbane/Champaign, IL, USA, July 1993.
- 11) Zitzler, E., Brockhoff, D. and Thiele, L., "The Hypervolume Indicator Revisited: On the Design of Pareto-compliant Indicators Via Weighted Integration," 4th Int. Conf. on Evolutionary Multi-Criterion Optimization, (EMO2007), LNCS 4403, pp.862-876, Berlin, 2007. Springer.

成長機会の倍率

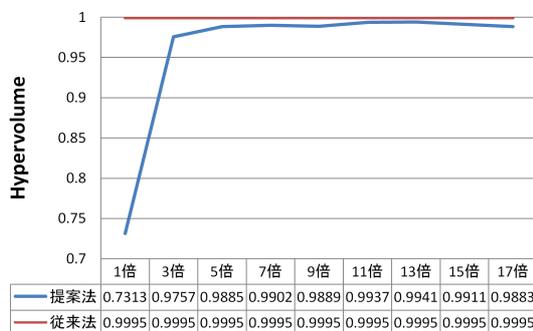


Fig. 11: 提案法 (成長機会倍率毎) と従来法の Hypervolume 比較.

成長機会の倍率

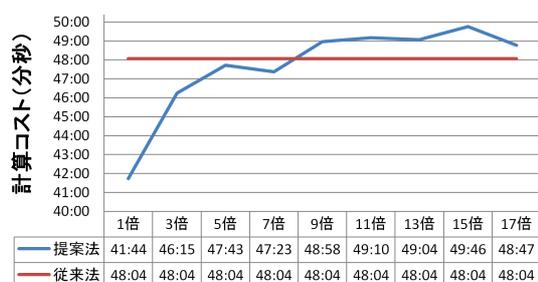


Fig. 12: 提案法 (成長機会倍率毎) と従来法の計算コスト比較.