

島ごとに異なるデコード化法を用いた GA による施設レイアウト問題の解法

趙冬青^{†1} アランニャ・クラウド^{‡2} 狩野均^{‡2}

遺伝的アルゴリズムを用いた施設レイアウト問題 (FLP) の新たな解法を提案する。FLP とは与えられた施設内に目的関数を最小化するように設備、機械などの配置を決定する問題である。本研究では、多様なレイアウトを生成することを主な目的としている。満足できる目的関数値を有する複数の異なる解を求め、どの解を採用するかは、ユーザが決定するという戦略をとる。本手法は島モデル GA において異なるデコード化を用いることにより、多様性の維持を図るものである。

Facility Layout Problems Using An Island Model GA With Different Decoding Methods

DONGQING ZHAO^{†1} CLAUS ARANHA^{‡2}
HITOSHI KANO^{‡2}

This paper introduces a new way to solve the facility layout problem. The goal of the problem is to optimize the layout of manufacturing systems in a production facility, so that material-handling costs are minimized. The goal of the research is to produce a variety of layouts. Our strategy is to offer a variety of solutions that can be selected by the user. We solve this problem using an island model GA with different decoding methods. The results show the effectiveness of the diversity provided by the GA.

1. はじめに

施設レイアウト問題 (FLP: Facility Layout Problem) とは、施設内に配置物 (設備、機械、備品、家具、部署、職場など) を仕事の効率や作業時間が最適になるように配置する探索問題である。適切な配置は仕事の運営費を 50%削減できるといわれており、古くから、FLP に対する多くの研究が行われている。FLP の計算複雑さは NP 困難であることが知られている[3]。このため、問題を分類して近似解を求めるというアプローチが主流となっている。

本論文では、一つの長方形の施設内に大きさが不揃いな複数の長方形の配置物を目的関数値が最小となるように配置する問題 (Unequal Area FLP) を対象とする (以下、単に FLP と記す)。この問題の解法としては、遺伝的アルゴリズム (GA) [4][9][6]、焼き鈍し法 (SA) [7]、アントコロニー最適化法 (ACO) [8]、粒子群最適化法 (PSO) [10]などの近似解法が提案されている。これらの研究においては、配置物間の物流量の合計を目的関数として、この値がなるべく小さい配置を一つ求めることを主な目的としている。ま

た、主な制約条件は、①配置物は施設からはみ出さない、②配置物は重なってはいけない、という単純なものである。

しかし、現実の問題を考えると、目的関数も制約条件も複雑であり、施設内で働く人々の個性、直感、快適性、利便性などを含めて全てを定式化することは難しいと思われる。そこで本研究では、満足できる目的関数値を有する複数の異なる解を求め、どの解を採用するかは、ユーザが決定するという戦略をとる。このため、多様性の維持に重点を置いた新しい GA の一例を提案する[11]。本手法は、GA における集団を複数の部分集団 (島) に分割し、部分集団毎に異なるデコード化法を採用することにより、集団全体の多様性の維持を図るものである。従来の GA[2]における多様性の維持は、最終世代の最良解の適応度を高めることが主な目的であるのに対して、本手法では、最終世代の個体にばらつきを持たせることを主な目的としている。

以下、2 章では FLP の定式化と従来研究について述べる。3 章では、提案する手法のアルゴリズムを説明する。4 章では、提案する手法を実用問題に適用する一つの方法を示す。5 章では、まず FLP のベンチマーク問題を対象として、本手法で求めた目的関数値と従来手法の文献上の値を比較する。次に、本手法と通常の GA を現実の問題に適用した例を示し、本手法の有効性を確認する。

^{†1} 筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻
Department of Computer Science, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba
^{‡2} 筑波大学システム情報系情報工学域
Division of Information Engineering, Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

2. 研究分野概要

2.1 施設レイアウト問題

慣例に従って配置物のことを職場と記す。FLPの目的は、職場間の物流量を最小化する最適な職場配置を決定することである。本研究で扱うFLPの定式化を以下に示す。

- M : 職場数
- W : 施設の幅
- H : 施設の高さ
- w_i : 職場 i の幅
- h_i : 職場 i の高さ
- x_i : 職場 i の x 座標
- y_i : 職場 i の y 座標

目的関数:

$$f = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M D_{ij} F_{ij} \quad (1)$$

D_{ij} は職場間の運搬距離、
 F_{ij} は職場間の運搬量である。

制約条件:

- $X_{ij}Y_{ij}=0$;
 $X_{ij}=\max\{0, (w_i+w_j)/2-|x_i-x_j|\}$;
 $Y_{ij}=\max\{0, (h_i+h_j)/2-|y_i-y_j|\}$;
- $w_i/2-x_i \leq 0$;
- $h_i/2-y_i \leq 0$;
- $x_i-(W-w_i/2) \leq 0$;
- $y_i-(H-h_i/2) \leq 0$;

これらの式は職場同士が重ならない、施設内に配置されることを確保する。

2.2 島モデル GA

遺伝的アルゴリズム (GA) において集団の多様性を維持する方法の一つとして、個体集団をいくつかの独立した部分集団 (島) に分ける島モデル GA が提案されている。島ごとに通常の GA を用いて進化を進めていき、数世代置きに各島の間で個体を交換する「移住」という方法で遺伝情報の交換が行われる。ある島が一様になっても、他の島の中に別の形質を持った個体が存在すれば、その個体と遺伝情報をやりとりすることで、多様性が維持される可能性は残っている。

移住操作は、適応度の評価や遺伝的演算に比べ計算量が小さいので、大きな効果を期待することができる。また、集団を複数に分けることで、島ごとに計算機を割り当てる並列化が容易に実現できる。しかし、移住操作を行う間隔を短くすると集団全体での多様性が維持しづらく、集団を一つにした場合と差が無くなってしまふ。逆に、移住の間隔を長くし過ぎると進化に遅延が生じるという問題点がある。

る。

2.3 MGG(Minimal Generation Gap)

佐藤らは、多様性維持ならびに初期収束回避に優れた MGG モデル (Minimal Generation Gap) を提案した[1]。MGG モデルとは、探索序盤における選択圧をできるだけ下げて初期収束を回避するとともに、探索の後半においても集団内に多種多様な個体を生存させやすくして進化的停滞を抑制することを意図したモデルである。

MGG はほかのモデルに比べて多様性の維持に優れていることから、より小さい集団サイズであっても高い性能を期待することができる。MGG はより大規模かつ困難な問題に GA を適用する際の世代交代モデルとして有用である。

2.4 従来研究

FLP の解法として様々な近似解法が提案されている。Tam は SA を用いて、目的関数最小となるレイアウトを表す Slicing Tree を探索した[7]。Kowamain らは、解の表現として木構造を用いた Ant System を FLP に適用した。局所探索法を組み合わせることにより性能の向上に図っている[8]。Kulturel-Konak らは、FLP に PSO を適用し、従来手法と同等の性能を高速に得ることができることを示している[10]。

レイアウト問題は、一般に問題の規模が大きく、探索空間が膨大である。GA は特に大域探索の性能が高いので GA を用いた手法が多く提案されている。El-Baz は、ベンチマーク問題を用いてコストを最小化する最適化レイアウトを生成し、他の探索アルゴリズムと比べて、実用性の高いシステムであることを示した[4]。大森らは、効率的な探索するために、実数値 GA (RCGA: Real-Coded GA) を用いた連続最適化アプローチによる FLP の解法を提案した[2]。RCGA は、探索に用いる個体を、実数値ベクトルを用いて表現するという特長がある。また、従来のエンコード手法では表現できなかったレイアウトが表現可能となり、より優れたレイアウトを探索できるようになった。

さらに、探索にユーザの好みを反映させるためには、対話型遺伝的アルゴリズム (IGA) [5] が広く用いられている。FLP は探索空間が広いため、探索が収束するまでに多数の世代ステップが必要になり、ユーザの対話回数が多くなりすぎる。ユーザとの対話を数世代毎にして回数を減らすと、収束時に集団の多様性が低くなり、ユーザの選択肢が少なくなる。この結果、ユーザの好みを反映したレイアウトを求めることができない可能性がある。

3. 提案手法

3.1 開発方針

本研究では次の開発方針に基づくシステムを開発することとした。

- ① 島モデル GA を採用する。

- ② 各島の染色体（遺伝子型）に対して、島ごとに異なるデコード化法を適用し、多様なレイアウト（表現型）を生成する。これにより、多様性の維持を図る。

本手法では、複数の島からなる島モデル GA（移住なし）を用いる。各島では、染色体に対して遺伝的演算を行う。適応度を計算するときは、以下の手順でレイアウトを生成する。

- Step1. 職場を配置する順番を染色体から読み取る。
 Step2. 図 2 に示した矢印の順番（島毎に異なる）に従って空いているメッシュを探す。
 Step3. 職場の重複と施設からのみ出しが生じなければ、そのメッシュに配置する。
 Step4. 各職場の座標を記録する（ファイルに書き込む）。
 Step5. 各職場の距離を計算する。
 Step6. 職場間のコストファイルを読み込む。
 Step7. 職場間の総運搬コストを計算する。

3.2 適応度関数

本研究では式(1)の目的関数値を適応度とする。すなわち、職場間の総運搬コストを最小化するレイアウトを求める。

3.3 コード化

図 1 に染色体の例を示す。職場番号を遺伝子とする。職場の向きなどは考慮しない。

本研究では各島の染色体（遺伝子型）に対して、島ごとに異なるデコード化法（図 2）を適用し、多様なレイアウト（表現型）を生成する。これにより、多様性の維持を図る。

本論文では、代表例として 4 つの島からなる島モデル GA（移住なし）を用いる。各島では、図 2 の染色体に対して遺伝的演算を行う。島 1 は左上から右下、島 2 は右上から左下、島 3 は左下から右上、島 4 は右下から左上の順番に配置した。デコード化の方法は他にも多く存在する。例えば、渦巻型に配置する方法や、左右交互に配置する方法等が考えられる。

職場番号	2	1	4	5	3	6	8	7	9
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

図 1 染色体の例(1～9 は職場番号)

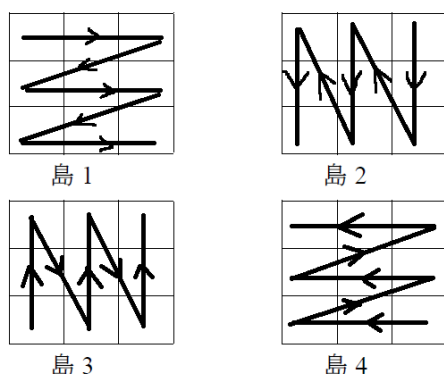


図 2 染色体の例

3.3 遺伝的演算

3.3.1 交叉

本研究では次の交叉方法（図 3）を採用する。

- step1 親 1 の交叉ポイント前の遺伝子の子個体にコピーする。
 step2 親 2 の交叉ポイント後の遺伝子で子に使われていない遺伝子を親 2 と同じ遺伝子座にコピーする。
 step3 子に使われていない遺伝子を親 2 の遺伝子座の小さいほうから順に探し格納する。

3.3.2 突然変異

本研究の染色体は重複を許さないため、図 4 の様な突然変異を用いた。ランダムに 1 つの個体を選び、ランダムに選んだ 2 つの遺伝子座の遺伝子を交換する。

3.3.3 世代交代

GA によって良質な解を得るためには、適切なコード化/交叉に加えて、多様性維持に優れた世代交代モデルが不可欠である。このため、本研究では、MGG を採用した。

4. 室内レイアウト問題への応用

室内レイアウト問題は、ユーザの要望に合うように、テーブル、テレビ、ベッドなどの家具一式の配置を決定する問題である。ただし、その配置にはドアや窓の位置、家具の向きなどを考慮する必要がある。また、ベンチマーク問題と異なり、多種多様な制約条件が存在する。従って、コード化方法と違反点数の計算方法は 3 章で述べた方法から、以下のように変更した。

4.1 制約条件

本研究では、実例として、机、棚、ベッドなどの家具を 2 部屋に配置する問題を扱う。本問題における制約条件を

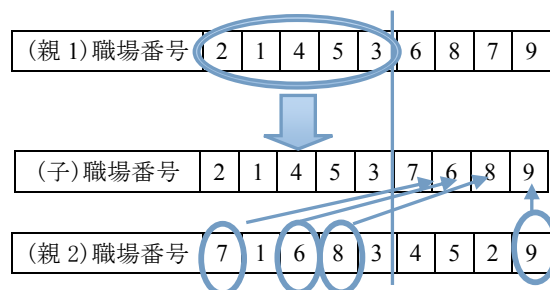


図 3 染色体交叉の例

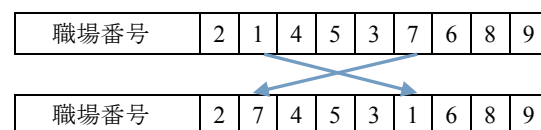


図 4 突然変異の例

表 1 に示す。各制約には、その重要度に応じて制約違反点数が設定されている。

4.2 適応度関数

式(2)は適応度関数を示している。 W_i は個体 i を違反している違反点数の和、 n は個体数である。総合違反点数を最小化することが本システムの目的である。

$$W_{total} = \sum_{i=1}^n W_i \quad (2)$$

4.3 コード化

図 5 に染色体の例を示す。家具番号または部屋名、ならびに家具の向きを遺伝子とする。

この例では、家具 1、6、5、3 をこの順番で部屋 A に配置し、次に家具 2、4 をこの順番で部屋 B に配置することを意味している。また、配置するときは、家具番号の下に記述された向きに配置する。家具は保守スペース(白い部分)、作業スペース(掛け線の部分)を含め図 6 のように向きを決める。

部屋と家具	A	1	6	5	3	B	2	4
家具の向き	-	左	右	上	下	-	左	上

図 5 染色体の例(1~6 は家具番号、A と B は部屋名)

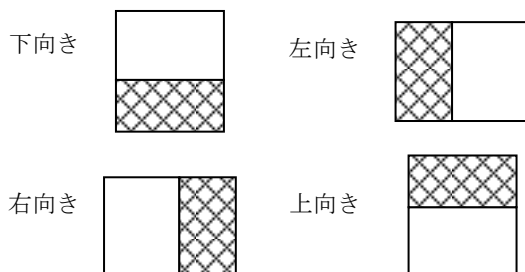


図 6 家具の向き

表 1 制約条件と違反点数

制約条件	違反点数
家具は室内に配置	50
窓をふさぐ配置を行わない	8
入り口付近にスペースがある	20
壁際に配置すべき家具は壁際に配置	10
家具のある場所と向きが合っている	10
配置する部屋が希望と合っている	15
類似・関連する家具は近くに配置	15

なお、部屋のサイズと家具の合計面積からスペースを計算し、小さく分割して空きスペースとして、家具に加え、遺伝子のひとつとする。また、スペースの向きは考慮しない。島ごとのデコード化は図 2 と同じとする。

5. 評価実験

5.1 本手法探索性能

5.1.1 実験方法

提案する手法の有効性を確認するため、文献[2]に示されているベンチマーク問題を用いて、従来手法[2][7]との比較実験を行った。問題 Y10 は、部屋の大きさが 4m×4m、職場数 10、問題 Y15 は 5m×5m、15 である。職場の形状及び職場間物流量は文献[2]の付録を参照のこと。

まず集団サイズと突然変異率の設定を行う。突然変異率を決めるときは、集団サイズを固定し、集団サイズを決めるときは、突然変異率を固定した。表 2 と表 3 は突然変異率、集団サイズと最良個体の関係を示している。これらより、パラメータの値は、表 4 のように設定した。

5.1.2 実験結果

問題 Y10 と Y15 の最終世代における最良解の適応度を表 5 に示す。また、各島における最良解のレイアウト(Y10)を図 7 に示す(括弧内は各島の染色体を示す)。これらにより、次のことがわかる。

- ① 表 5 において、本手法と RCGA を比較すると、best については、標準偏差を考えるとほぼ一致しているが、mean と worst は優れている。次に本手法と SA を比較すると、すべての場合で本手法は優れている。本手法は MGG モデルを用いて、集団内の悪い個体を除くので、集団の平均値が高くなると考える。

表 2 突然変異率と総運搬コスト

突然変異率	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
最良個体	33040	33096	33096	32862	33444

表 3 集団サイズと総運搬コスト

集団サイズ	100	500	800	1000	1200
最良個体	33444	32862	32862	32761	32760

表 4 5.1 節の実験を用いたパラメータ

パラメータ	設定値	単位
突然変異率	25	%
島ごとの個体数	500	個
評価回数	30000	回
試行回数	20	回

- ② 図7を見ると、島1と島4、島2と島3は同じレイアウトになっている。この理由は、施設が正方形であることと問題サイズ小さいことが考えられる。

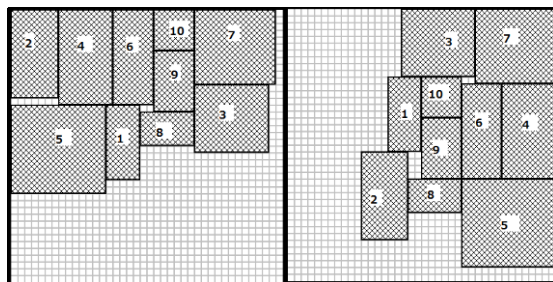
5.2 室内レイアウト問題の探索性能

複雑な問題を対象として、具体的なレイアウト問題の評価実験を行った。

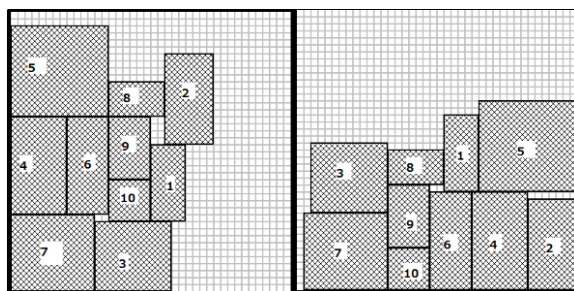
5.2.1 実験方法

部屋の大きさを3.6m×7.2m、3.9m×3.9m、家具の数12をとして、評価実験を行った。

パラメータの値は、5.1節の実験と同様の実験により、表6のように決定した。表6は今回の実験のパラメータを示している。



島1=(2 4 6 10 7 9 3 5 1 8) 島2=(7 4 5 6 3 10 9 8 1 2)



島3=(7 4 5 6 3 10 9 8 1 2) 島4=(2 4 6 10 7 9 3 5 1 8)

図7 4つの島の最良個体の一例

5.2.2 実験結果

GAの最終世代における最良解の適応度を表7に示す。また、各島における最良解のレイアウトを図8に示す。表8、図9に通常の島モデルGAの結果を表す。

表6 5.2節の実験を用いたパラメータ

パラメータ	設定値	単位
突然変異率	10	%
島ごとの個体数	1000	個
評価回数	800000	回
試行回数	10	回

表7 提案手法における最良解の適応度

	島1	島2	島3	島4
平均値	22	22	22	24
標準偏差	11	10	10	5
最小値	10	10	10	20

表8 通常の島モデルGAにおける最良解の適応度

	島1	島2	島3	島4
平均値	22	24	24	22
標準偏差	11	7	10	10
最小値	10	20	10	10

表5 実験結果（括弧内は標準偏差である）

問題	結果	島1	島2	島3	島4	RCGA[2]	SA[7]
Y10	Mean	35173 (2137)	35004 (1874)	35145 (2463)	34828 (1026)	40801	45728
	Best	33037 (235)	33091 (241)	33045 (252)	33083 (238)	33172	37792
	Worst	45574 (1732)	44642 (1524)	45127 (1547)	44873 (1770)	48962	64020
Y15	Mean	127476 (8934)	126884 (9287)	127184 (9062)	124057 (9147)	140792	156832
	Best	103471 (3296)	103369 (3048)	103589 (2875)	103169 (3524)	106661	109672
	Worst	149872 (4035)	148752 (3782)	149765 (3643)	144862 (3487)	154871	208586

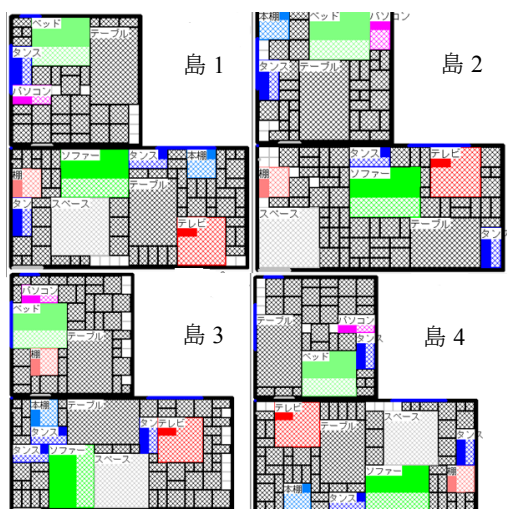


図8 提案手法で生成したレイアウトの例
(文字が記載されていない家具はスペース)

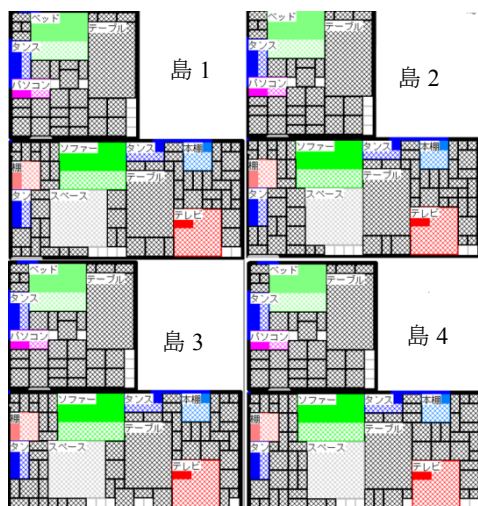


図9 通常の島モデルGAで生成したレイアウトの例

図8と図9を見ると、通常の島モデルを用いた場合、4つの島でほぼ同じレイアウトが生成されているが、本手法では、多様なレイアウトを生成することができるといえる。

この問題では、色々な制約条件があり(表1)、部屋の形状も複雑なので、各島で異なるレイアウトが得られている。

6.おわりに

本研究では、ベンチマーク問題と具体的な室内レイアウト問題を用いて、提案手法の有効性を示した。本手法の探索性能は実数値GAやSAと比べて優れている。また、多様なレイアウトを生成できる可能性がある。

今後は、本手法を大規模、複雑な問題に適用する予定である。そして、対称的なレイアウトが生成されないような、効率的なシステムを開発する。

参考文献

- 1) 佐藤,小野,小林,遺伝的アルゴリズムにおける世代交代モデルの提案と評価,人工知能学会誌,Vol.12,No.5,pp.734-744(1996)
- 2) 大森,三好,吉本,実数値 Genetic Algorithm を用いた施設レイアウト問題の解法, J Jpn Ind Manage Assoc 62, 182-189 (2011) 野口健一郎, 大谷真: OSIの実現とその課題, 情報処理, Vol.31, No.9, pp.1235-1244 (1990).
- 3) Amine Drira, Henri Pierreval, Sonia Hajri-Gabouj, Facility layout problems: A survey, Annual Reviews in Control, Vol.31, 255-267(2007)
- 4) M. Adel El-Baz, A genetic algorithm for facility layout problems of different manufacturing environments, Computers & Industrial Engineering, Vol.47,233-246 (2004)
- 5) 菅原, 三木, 広安, 好みのカラーイメージに基づく初期個体を生成させる対話型遺伝的アルゴリズム, 人工知能学会 第22回全国大会 2B1-2 (2008)
- 6) DAVID M.TATE and ALICE E.SMITH: Unequal-area facility layout by genetic search, IIE Transactions Vol27,465-472(1995)
- 7) Tam,K,Y.: A Simulated Annealing Algorithm for Allocation Space To Manufacturing Cells, Int.J.Prod.Res., Vol.30, pp.63-87(1992)
- 8) Komarudin, Kuan Yew Wong: Applying Ant System for solving Unequal Area Facility Layout Problems, European Journal of Operational Research 202 730-746(2010)
- 9) Heng Li, Peter E.D. Love: Genetic search for solving construction site-level unequal-area facility layout problems, Automation in Construction 9. 217-226(2000)
- 10) Sadan Kulturel-Konak and Abdullah Konak, A new relaxed flexible bay structure representation and particle swarm optimization for the unequal area facility layout problem, Engineering Optimization, Vol. 43, No. 12, pp. 1263-1287, 2011.
- 11) 趙,狩野: 対話型遺伝的アルゴリズムを用いた室内レイアウトシステムの開発, 情報処理学会 第76回全国大会 3T-9 (2014.3)