

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と評価
Solving Facility Layout Problems using Genetic Algorithms
with Different Decoding Method and Its Evaluation

趙 冬青*1
Dongqing Zhao

アランニャ・クラウス*2
Claus Aranha

狩野 均*2
Hitoshi Kahon

*1 筑波大学大学院システム情報工学研究科
Graduate School of System and Information, University of Tsukuba

*2 筑波大学システム情報系
Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

This paper introduces a new way to solve the facility layout problem. The goal of the problem is to optimal facilities layout in manufacturing systems in a production facility, so that material-handling costs are minimized. In recent years, MIP(Mixed-Integer Programming) model plus Meta-Heuristics is often used in this research. We solve this problem using Genetic Algorithms with different decoding method in order to get different layouts and better solutions. Performance is compared with other specify. Experiments using benchmark problems with 9 to 30 departments show the effectiveness of the proposed method.

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。FLP の計算複雑さは NP 困難であることが知られている [Drira 07]。このため、メタヒューリスティックを用いた解法が古くから研究されている。

本論文では、一つの長方形の施設内に面積が不揃いな長方形の配置物を運搬コストが最小になるように位置と縦横比を決定する問題を対象とする (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) [El-Baz 04][Tate 95][Liu 07]、焼き鈍し法 (SA) [Tam 92]、アントコロニー最適化法 (ACO) [Komarudin 10]、タブーサーチ [Scholz 09] 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、ベンチマーク問題を対象として運搬コストを最小化することに主眼が置かれている。しかし、現実の問題を考えると、施設内で働く人々の個性、直感、快適性、利便性などを考慮して問題を定式化することは難しいと思われる。著者らは以前、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に基づいた方法を提案した [Zhao 14]。そして、縦横比が固定された配置物の位置を決定する実世界の問題に適用し、有効性を示した。この方法は、GA における集団を部分集団 (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、最終世代の個体にはばらつきを持たせるというものである。

本論文では、この方法を一般に用いられている FLP のベンチマーク問題に適用できるように改良し、GA、ACO、タブーサ

ーチを用いた従来手法と比較検討する。

2. 研究分野の概要

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 の定式化を MIP(Mixed-Integer Programming)-FLP モデル [Liu 07] を参照し、以下に示す。

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^N \sum_{j>i}^N f_{ij} (d_{ij}^x + d_{ij}^y)$$

Subject to

$$d_{ij}^x = |c_i^x - c_j^x| \quad (1)$$

$$d_{ij}^y = |c_i^y - c_j^y| \quad (2)$$

$$l_i^x \leq c_i^x \leq L^x - l_i^x \quad (3)$$

$$l_i^y \leq c_i^y \leq L^y - l_i^y \quad (4)$$

$$lb_i \leq 2l_i^x \leq ub_i \quad (5)$$

$$lb_i \leq 2l_i^y \leq ub_i \quad (6)$$

$$c_i^x + l_i^x \leq c_j^x - l_j^x \quad (7)$$

$$c_i^y + l_i^y \leq c_j^y - l_j^y \quad (8)$$

$$\alpha_i l_i^x + 4\bar{x} l_i^y \geq 2\alpha_i \bar{x} \quad (9)$$

連絡先：趙 冬青, 筑波大学大学院システム情報工学研究科,
〒305-8573, 茨城県つくば市天王台 1-1-1, 029-853-6909,
zhaodongqing@kslab.cs.tsukuba.ac.jp

d_{ij}^x, d_{ij}^y : 職場 ij 間の x, y の方向の距離

c_i^x, c_i^y : 職場 i の x, y 座標

l_i^x, l_i^y : 職場 i の長さと同幅の半分

lb_i : 下限

ub_i : 上限

\bar{x} : 職場の形状制約の外接点 (計算方法は文献[Sherali 03]に参照)

α_i : 職場の面積

∂_i : 職場の最長の辺と最短の辺の比率

L^x, L^y : 施設の横幅と長さ

N : 職場の数

H_{ij}, V_{ij} : 水平方向と垂直方向への職場 ij 間の相対位置を示す変数.

(1)と(2)は職場間の距離を計算する。(3)と(4)は職場を施設内に配置することを示す。(5)と(6)は職場の長さと同幅が上限と下限の範囲内にあることを示す。上限 (ub_i) と下限 (lb_i)は、式(10)と(11)を用いて計算する。

$$ub_i = \min\{\sqrt{\partial_i \alpha_i}, \max_s\{L^s\}\} \quad (10)$$

$$lb_i = \alpha_i / 4ub_i \quad (11)$$

(7)と(8)は、各職場が重ならないための制約である[Ohmori 13]。(9)は職場の縦横比が変わっても面積を一定に保つための制約である。

\bar{x} は式(12)で計算する。従来研究[Sherali 03]により $\Delta=20$ が推奨されている。

$$\bar{x} = lb_i + \frac{r}{(\Delta-1)}(ub_i - lb_i) \quad \forall r = 0, 1, \dots, \Delta-1 \text{ for } \Delta \geq 2 \quad (12)$$

2.2 従来研究

Konak らは、FBS(Flexible Bay Structure)を用いた解法を提案した[Konak 11]。この方法は、施設をあらかじめ Bay に分割することにより、解空間の縮小と計算の高速化を図っている。Bay に含まれる職場の数と Bay の幅は固定されていない。職場の幅は Bay に配置した職場の数によって自動的に決定される。施設の領域を再帰的に分割してレイアウトを表現している。

Komarudin 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[Komarudin 10]。局所探索法と組み合わせることにより性能の向上を図っている。Scholz らは、FLP にタブーサーチを適用し、木構造を用いて解の精度を高める方法を提案した[Scholz 09]。

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。Liu and Melle は Meta-Heuristics と MIP をハイブリッド化することにより、大規模な問題に適用できるようにした[Liu 07]。

3. 提案手法

3.1 アルゴリズム

提案手法の全体の流れを図1に示す。以下、(a)~(c)に詳細を示す。

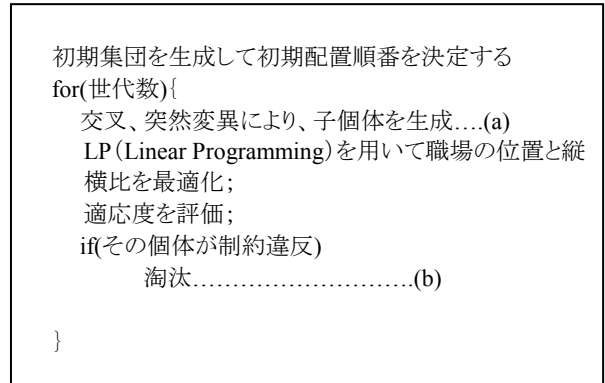


図1 提案手法の流れ

- (a) 提案手法では、世代交代モデルとして MGG を用いる。MGG は他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。
- (b) 交叉または突然変異により施設をはみ出す職場が生成される可能性があるため、そのような個体は、ペナルティとして式(13)で適応度を再計算する。
- $$\text{fitness_new}_j = \text{fitness}_j * 100 \quad (13)$$

3.2 コード化

図 3.1 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。

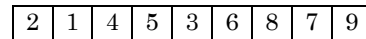
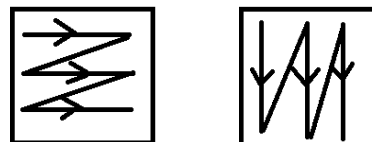


図 3.1 染色体の例(1~9 は職場番号)

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、2 つの島からなる島モデル GA(移住なし)を用いる。図 3.2 は、各島において施設内に職場を配置する方向と順番を示している。染色体に記載された職場をこの順番に矢印に沿って配置する。デコード化の方法は他にも考えられるが、本論文では、異なるデコード化により異なるレイアウトが得られることを確認することが目的なので、2種類のデコード化を用いている。



島 1

島 2

図 3.2 島ごとのデコード化

3.3 遺伝操作

3.3.1 交叉

本研究では次の交叉方法(図 3.3)を用いる。

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 子に格納さ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次の突然変異方法を用いた(図 3.4)。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。

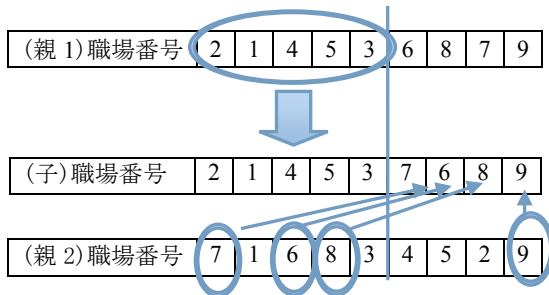


図 3.3 染色体交叉の例

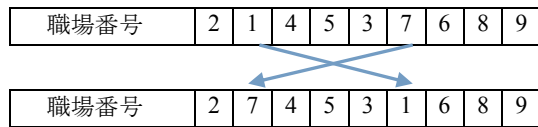


図 3.4 突然変異の例

4. 評価実験

4.1 実験方法

提案する手法の有効性を確認するため、施設の大きさ、職場数、職場の面積及び職場間物流量の異なるベンチマーク問題 O7、O8、O9、AB20、SC30(データは表 4.1 に示す)を用いて従来手法との比較実験を行った。問題の詳細は、文献 [Komarudin 10]に記載されている。

予備実験から得られたパラメータの最適値を表 4.2 に示す。

表 4.1 ベンチマーク問題を用いた施設のデータ

| 問題 | 施設のサイズ | 職場の数 |
|------|---------------|------|
| O7 | 8.54 × 13.00 | 7 |
| O8 | 11.31 × 13.00 | 8 |
| O9 | 12.00 × 13.00 | 9 |
| AB20 | 2.00 × 3.00 | 20 |
| SC30 | 15.00 × 12.00 | 30 |

表 4.2 実験を用いたパラメータ

| 問題 | 突然変異率 | 島ごとの個体数 |
|------|-------|---------|
| O7 | 0.15% | 200 個 |
| O8 | 0.15% | |
| O9 | 0.1% | |
| AB20 | 0.05% | |
| SC30 | 0.05% | |

4.2 実験結果

図 4.1 は、問題 AB20 の最良解の適応度の推移を示している。評価回数が 5000 程度で収束していることがわかる。

表 4.3 は、本手法ならびに従来手法によって得られた最良解の適応度を示している(従来手法は論文に記載されている値)。従来手法の GA, TS, ACO は、10 試行の平均値、力学モデルは、10 試行の最小値と最大値の平均値、本手法は、O7~O9 は 30 試行、AB20 と SC30 は 10 試行の平均値(括弧内には標準偏差)である。

表 4.3 から次のことがわかる:(1)本手法はすべての問題に対して、従来手法の中で最良な手法と同等の性能を示している。これに対して、従来手法は問題によって性能が大きく劣化する場合がある。この理由は 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。(2)O9 の施設の形状は正方形(表 4.1 参照)に近いので、二つの島の結果の差が小さくなっていると思われる。

(3) 図 4.2 は、島1と島2における問題 SC30 のレイアウトの例を示している。島1と島2で異なるレイアウトが得られていることがわかる。島 1 では、横方向に配置しているので縦長の職場が生成されやすくなっている。また、島 2 では、縦方向に配置しているので横長の職場が生成されやすくなっている。これより、デコード化を変えることにより、多様な解を生成できることが示されたと考える。

5. おわりに

本研究では面積が与えられている配置物の形状と位置を最適化する FLP の解法を提案した。本手法は、従来手法と同等以上の性能を示しつつ、多様なレイアウトを生成することができる。

今後は他のデコード化について検討すること、大規模な問題に対して探索効率の向上を図ることを実施する。

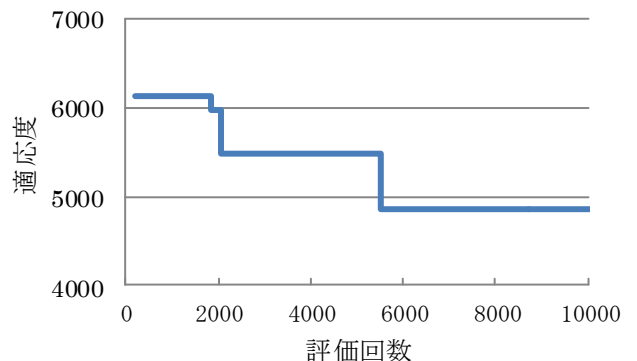
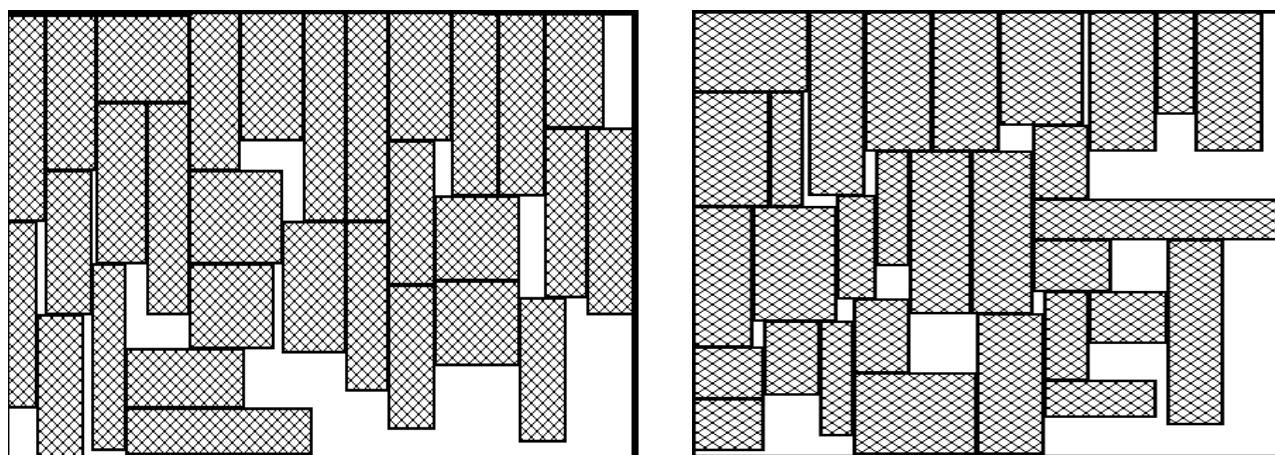


図 4.1 問題 AB20 の進化グラフ



島 1

島 2

図 4.2 問題 SC30 のレイアウトの例

表 4.3 実験結果と従来研究の比較(太字は最良値を示す)

| 問題 | GA [Liu 07] | Tabu Search [Scholz 09] | ACO [Komarudin 10] | 力学モデル [Ohmori 13] | 提案手法 | |
|------|----------------|----------------------------|-----------------------|----------------------|-----------|-------------------|
| | | | | | 島 1 | 島 2 |
| O7 | 131.63 | 132.00 | 131.68 | 226.7 | 134(5) | 123(9) |
| O8 | 245.41 | 243.16 | 243.12 | 419.8 | 245(27) | 229(15) |
| O9 | 246.26 | 239.07 | 236.14 | 371.9 | 231(22) | 225(11) |
| AB20 | 5668.00 | N/A | 4972.56 | 5188.7 | 4914(184) | 4898 (270) |
| SC30 | 3707.0 | N/A | 3868.55 | 3106 | 3822(377) | 3204(398) |

参考文献

[Drira 07]Amine Drira, Henri Pierreval, Sonia Hajri Gabouj ,Facility layout problems: A survey, Annual Reviews in Control ,Vol.31, 255–267(2007)

[El-Baz 04]M. Adel El-Baz, A genetic algorithm for facility layout problems of different manufacturing environments, Computers & Industrial Engineering ,Vol.47,233–246 (2004)

[Tate 95]David M.Tate , Alice E.Smith:Unequal-area facility layout by genetic search,IIE Transactions,Vol27,465-472(1995)

[Liu 07]Qi Liu, Russell D.Meller: A sequence-pair representation and MIP-model-based heuristic for the facility layout problem with rectangular departments, IIE Transactions,Vol 39, 377–394(2007)

[Tam 92]Tam,K,Y.:A Simulated Annealing Algorithm for Allocation Space To Manufacturing Cells,Int.J.Prod.Res.,Vol.30,pp.63-87(1992)

[Komarudin 10]Komarudin, Kuan Yew Wong, Applying Ant System for solving Unequal Area Facility Layout Problems, European Journal of Operational Research 202 730–746(2010)

[Scholz 09]Scholz, D., Petrick, A., Domschke, W.: A slicing tree and tabu search based heuristic for the unequal area facility layout problem. European Journal of Operational Research 197 (1), 166–178(2009)..

[Sherali 03]Sherali, H.D., Fraticelli, B.M.P. and Meller, R.D. Enhanced model formulations for optimal facility layout. *Operations Research*, **51**,629–644(2003).

[Konak 11]Konak,S.K.and Konak,A.: A New Relaxed Flexible Bay Structure Representation and Particle Swarm Optimization for the Unequal Area Facility Layout Problem,Eng.Optim.,Vol.43,No.12 pp. 1263-1287(2011)

[Ohmori 13]大森,吉本:力学的モデルを用いた施設レイアウト問題の解法, J Jpn Ind Manage Assoc 64, 145-156 (2013)

[Zhao 14]趙, アランニャ クラウス,狩野: 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,情報処理学会 数理モデル化と問題解決研究会 2014-MPS-100(9)(2014.9)

[Sato 96]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.734-7448(1996)