

GAによるパライジングにおける 積荷安定化のための制約条件に関する考察

A Consideration on Restrictions for Loads Stabilization in Palletizing by GA

谷口 典之
Noriyuki Taniguchi

亀井 且有
Katsuari Kamei

立命館大学 理工学部
School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

Abstract: The palletizing is a work to load many boxes on a pallet. The conventional palletizing has dealt with a loading for same size boxes on a pallet. On other side, recently, the needs to load various size boxes on a pallet is increasing. However, it is difficult to stably load the boxes on a pallet because the pallet is different from a container and has an open space except a bottom. In this report, we discuss restrictions for palletizing the various size boxes stably on a pallet by GA.

1 はじめに

図1のように、パレットと呼ばれる敷板の上に、積荷を積上げる作業をパライジングという。

これまでに、コンテナや倉庫のような一定の容積空間を対象とした3次元箱詰め問題に対しては、いくつか解法が提案されている[1, 2]。しかしながら、パレットのように底面積以外が全て開放状態である問題はあまり扱われていない。これは、空間容積が一定でないため、空間充足率のように明確な評価規範をとることが困難であり、荷崩れを防ぐために多くの制約が存在するためである。

筆者らはこれまでに、熟練者が行った積載結果に見られる階層構造に着目し、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA)[3] により積荷配置を決定する手法を提案した[4]。その際、各積荷の底面の状態と全体の高さで積載状態の評価を行ったが、実現不可能な配置が残るなどの問題が残った。

そこで本稿では、各層の構成に関する評価を新たに追加し、解の改善を試みると共に、さらに考慮すべき制約についての考察を行う。

2 問題設定

パライジングを行う際の必要条件を以下に示す。

1. 全積荷がパレット面積の範囲を超えない
2. 各種の積荷個数が全ての要求を満たす

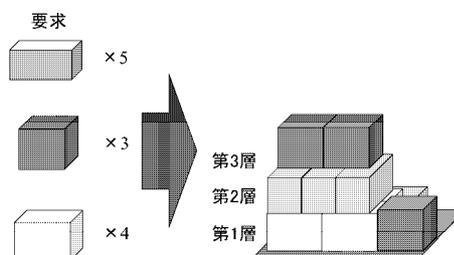


図 1: 問題設定の例

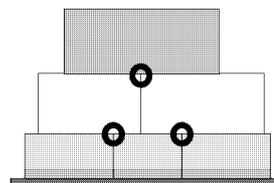


図 2: レンガ積み の例

ここで、積載結果において、図2に印で示すように、下層の積荷と積荷の境界上に上位の積荷が積まれている状態が望ましい。これは、運搬の際に生じる揺れに対して強固な積載状態であることが知られているためである。この状態を「レンガ積み」と呼ぶものとする。また、安全性や利便性の問題から、全体の構成として高さを低く押さえる事が望ましい。これは各層がパレット面積を有効利用することで実現可能であると考えられる

以上のことから、積載状態の安定性に関する評価項目を以下のものとする。

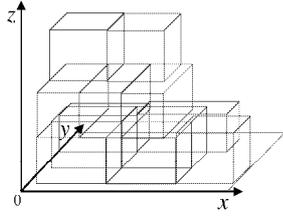


図 3: 配置位置表現

- (1) 各積荷の安定性
- (2) 各層が形成する平面の状態
- (3) パレット面積の利用効率
- (4) レンガ積みの実現度合

以下、これらの定式化を行う。その際、各評価項目の評価関数を、それぞれ V_1, V_2, V_3, V_4 とする。パレットは長方形で、その長辺、短辺の長さをそれぞれ W, L とする。したがって、パレットの面積は $S = W \times L$ である。パレット上の空間は図 3 に示すように、パレットの左手前角を原点とし横方向を x 軸、奥行き方向を y 軸、高さ方向を z 軸とする。

このパレットに対し数種類の積荷 i を要求に合わせた数ずつ合計 I 個積載する。各積荷は積荷番号 i ($i = 0, 1, 2, 3, \dots, I$) を持つものとする。ただし、積荷番号 0 はパレットを指す。各積荷は直方体であり、底面の長辺の長さを w_i 、短辺の長さを l_i 、積荷の高さを h_i とすると、底面積 $s_i = w_i \times l_i$ である。この時、積荷 i の底面と上面の接する積荷、つまり、積荷 i を支える下層の積荷の積荷番号集合を J_i とする。

また、図 1 に示すように、 z 軸に沿って構成される k 番目の層を第 k 層 ($k = 1, 2, 3, \dots, K$) とする。この時、第 k 層に含まれる積荷の積荷番号の集合を f_k とする。

評価項目 (1) において、各積荷の底面が、下層の積荷によって出来るだけ広い範囲で支持されていることが重要であると考えられる。そこで積荷 i の安定性の評価関数 v_i^1 を次式で与える。

$$v_i^1 = \frac{\sum_{j \in J_i} \bar{s}_{ij} \cdot v_j^1}{s_i} \quad (1)$$

ここで、 \bar{s}_{ij} は、積荷 i の底面と積荷 j 上面が接する面積とする。式 (1) より評価関数 V_1 を次式で与える。

$$V_1 = \frac{\sum_{i=0}^I v_i^1}{I} \quad (2)$$

次に、評価項目 (2) において、レンガ積みを実現するために、凹凸のない平面を形成する層を構成する事が重要であると考えられる。そこで評価関数 V_2 を次式で与える。

$$V_2 = \frac{\sum_{k=1}^K \frac{h_{\min_k}}{h_{\max_k}}}{K} \quad (3)$$

ただし、

$$h_{\min_k} = \min_{i \in f_k} h_i$$

$$h_{\max_k} = \max_{i \in f_k} h_i$$

とする。続いて、評価関数 V_3 を次式で与える。

$$V_3 = \frac{\sum_{i=1}^I \frac{\sum_{j \in f_k} s_j}{S}}{K} \quad (4)$$

さらに、評価項目 (4) に関して、積荷 i がレンガ積みであるための制約条件 v_i^4 を、

$$v_i^4 = \begin{cases} 1 & (\sum_{j \in J_i} \bar{v}_{ij}^4 \geq 2) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

であるものとする。ただし、

$$\bar{v}_{ij}^4 = \begin{cases} 1 & (\bar{s}_{ij} \neq 0) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

である。これは、積荷 i の底面を支える積荷数が 2 個以上であることを意味し、これによりレンガ積みの条件を満たすものとする。そこで、評価関数 V_4 を次式で与える。

$$V_4 = \frac{\sum_{i=0}^I v_i^4}{I} \quad (5)$$

式 (2) ~ (6) より、本問題の目的関数 V を次式で与える。

$$\max V = c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 + c_3 \cdot V_3 + c_4 \cdot V_4 \quad (6)$$

このとき、 c_n ($n = 1, 2, 3, 4$) は $\sum_{n=1}^4 c_n = 1$ を満たす重みパラメータであり、非負の値をとる。

3 システム構成

3.1 コーディング及び表現型への変換

表現型への変換は、境界線法で用いる幾何学的手続き PACK BY BOUNDARY [5] を拡張し用いた。そのため、 I 個の積荷が与えられたとき、積荷 i の code, order として互いに相異なる $1 \sim I$ の 2 つの

順序列, 及び積載方向情報として 0, 1 の 2 値を割り当てた. 積載方向情報は 0 ならば横置き, 1 ならば縦置きとした. 積荷番号, code, 積載方向情報をそれぞれ order 順に並べ, これを GA における一個体とする.

これらの遺伝子情報をもとに各種荷の底面積に基づき複数層を構成する. アルゴリズムを以下に示す.

=複数層構成アルゴリズム=

1. 積荷を 2 次元的に配置する層を生成
2. $R = r_1, r_2, \dots, r_l$ を order の昇順にソート
(2 回目以降は未確定の積荷のみ対象)
3. $P = \{p_0, p_{l+1}\}$ とする.
(但し $p_0 = (0, \infty), p_{l+1} = (\infty, 0)$)
4. for $m \leftarrow 1$ until l do
 - (a) $b = \text{code}(r_m)$
 - (b) P から 2 点 p_a, p_c を選択
(但し $a < b < c$ かつ b 最近傍)
 - (c) r_m の左下座標を点 (x_a, y_c) と仮定する
 - (d) r_m の右上座標 p_b がパレット内ならば P へ加える. それ以外は (a) へ
 - (e) $a < b$ かつ $y_a \leq y_b$ なる p_a を全て削除
 - (f) $c > b$ かつ $x_c \leq x_b$ なる p_c を全て削除
5. 積載位置が確定した数を s とし, $s = l$ ならば終了, それ以外は手順 1 へ

ここで, 引数 R は order の昇順に並べた積荷の集合をリスト構造で表したものとし, P は既配置の積荷の包絡線が定める境界線 L 上の点系列とする. また, 積荷 i に割り当てた code と order の値をそれぞれ $\text{code}(i)$, $\text{order}(i)$ とする. code と order による層の構成手順を図 4 に示す.

これは境界線法で用いられる幾何学的手続き PACK_BY_BOUNDARY を元に, 積荷の配置を決定する際に, その位置がパレットサイズを超えた場合, 次層へ配置するよう拡張したものである. これにより全積荷をいくつかの層に分割して配置することが可能となる. 拡張部分の動作を図 5 に示す.

次に, 全積荷が分割配置された各層を, 構成された順に積み重ねる. この際, 各層の矩形の中心がパレットの中心に一致するようにする. これにより三次元空間での積荷の積載位置を算出し, パレット上の全積荷の配置を決定する. その概念図を図 6 に示す.

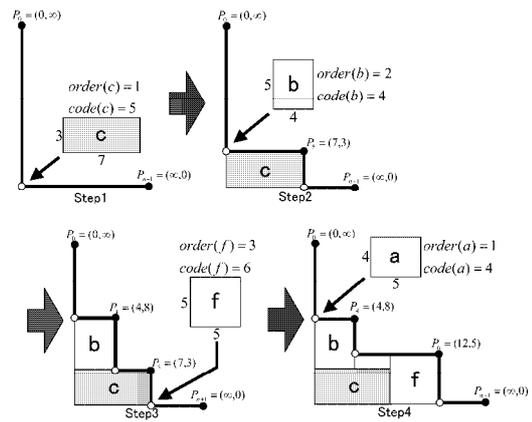


図 4: Code と Order による配置の決定

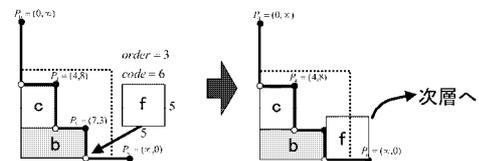


図 5: 複数層の構成

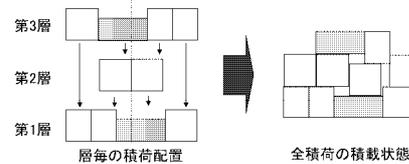


図 6: パレットへの積載状態の決定

3.2 選択交叉突然変異

選択は, エリート保存, およびルーレット選択とした. 交叉は積荷番号部, code 部, 積載方向部の 3 つ部位のうち, いずれかについて行うものとする. その際, 積載方向部については, 扱う遺伝子コードがバイナリ表現であるため 1 点交叉を用いる. 積荷番号部, code 部については順序表現を用いるため, PMX を用いる.

また, 突然変異についても, 交叉と同様に積荷番号部, code 部, 積載方向部のいずれかの部位について行うものとする. 順序表現を用いた部分に関しては, 遺伝子座 2 つをランダムに選択し, 遺伝子情報を置換する. また, バイナリ表現を用いた部分に関しては, 遺伝子座 1 つをランダムに選択し, ビット反転を行うものとする.

表 1: 使用した積荷データ

積荷の種類名	横幅	縦幅	高さ	数量
a	41	27	13	20
b	33	27	11	15
c	29	19	30	15

表 2: 各積荷ごとの評価

積荷番号	評価値
9	0.106768
13	0.142116
16	0.527979
17	0.51643
29	0.798227
33	0.582318
34	0.743387
45	0.257674
47	0.77778
49	0.790606

4 シミュレーション実験

これまで述べたような構成で、目的関数の重みパラメータを変化させながらシミュレーション実験を行った。このとき各パラメータは、個体数 1000, 交叉率 0.9, 突然変異率 0.15, 世代数 1000 とした。パレットサイズは $W = 115, L = 98$ である。また、実験に用いた積荷データを表 1 に示す。

重みパラメータがそれぞれ $c_1 = c_2 = 0.1, c_3 = c_4 = 0.4$ のときに得た出力例を図 7 に示す。

図 7 より、全体として層ごとに同サイズの積荷が集ることにより、安定した層の構成が得られているのがわかる。しかし、下位の層よりも上位の層の面積が広い点などが問題であるといえる。

次に最上位層である第 5 層目の積荷の評価値 V_1 を表 2 に示す。表 2 より、いくつか極端な評価が見られる。これは、積荷種 a と b の高さの差が微小であったため、下層において評価関数 V_3 による制約の効果が薄れたことにより、関連する積荷がもつ評価値の影響が最上位に集中したと考えられる。

0040s071-40103011-001_08.csv

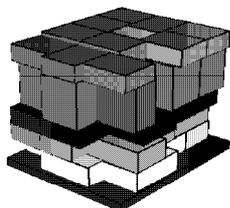


図 7: 各積荷の評価のみの場合の出力例

5 おわりに

本稿では、積載結果の安定性を測る指標として、4 つの評価項目の定式化を行い、これを用いて目的関数を定め、シミュレーション実験を行った。

実験の結果、比較的良好な結果が得られたが、上位層での安定性に問題が残った。

今後の課題として、重みパラメータのチューニング、スケーリングの導入などを行い、探索終盤での探索効率改善し、更なる安定性の向上を図りたい。

参考文献

- [1] 川上, 皆川, 嘉数, "GA による三次元箱詰め戦略の自動チューニングとルールベースの構築", 情報処理学会誌, Vol. 33, No. 6, pp761-768(1992)
- [2] 小森, 飯間, 三宮, "倉庫における容器積載問題の遺伝的アルゴリズムを用いた解法", 計測自動制御学会論文誌, Vol. 33, No. 2, pp127-134(1997)
- [3] 北野宏明編, "遺伝的アルゴリズム", 産業図書 (1993)
- [4] 谷口, 亀井, "遺伝的アルゴリズムによるパレタイジングの最適化に関する研究", 第 46 回システム制御情報学会研究発表講演解公演論文集, pp255-256(2002)
- [5] 長尾, 澤, 重弘, 白川, 神戸, "方形パッキング法の一算法", 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. j81-A, No. 10, pp1362-1371(1998)

[お問い合わせ先]

〒 525-8577
 滋賀県草津市野路東 1-1-1
 立命館大学理工学部情報学科亀井研究室
 谷口 典之
 TEL:077-561-2807
 Mail:nori@spice.cs.ritsumei.ac.jp