

多因素展架托盘装载布局的优化与影响分析

刘桓秀¹, 陆佳平¹, 李新栋²

(1.江南大学, 无锡 214122; 2.诺光照明(苏州)有限公司, 苏州 215021)

摘要: **目的** 用人工智能算法解决展架在托盘上的布局问题, 以满足企业需求, 提高装载效率。**方法** 依据实际性能约束, 将展架托盘装载的三维布局问题转化为二维问题, 用布置点的定位和分块的定序规则, 基于遗传算法在几分钟内求出布局解。将空间长度 L 及宽度 W , 待布物体长度 L_1 及宽度 W_1 、 W_2 等 5 个参数组合作为变量, 探究托盘规格、包装材料、展架尺寸等三因素对布局解的影响。**结果** 当参数 $L=1000$ mm, $W=800$ mm, $L_1=700$ mm, $W_1=380$ mm, $W_2=50$ mm 为定量, 可得到特定案例的最优装载量为 17 及其装载方式 $C: 0$ 。当参数为变量, 采集了布局解数据, 拟合了三因素对布局影响的图像与关系。**结论** 运用信息智能包装技术, 参考布局解形成的数据源, 利用数据突变特性, 在前期可帮助用户更好地设计产品, 在后期可提高包装工程师布局方案的选择效率。

关键词: 展架; 布局模型; 托盘; 装载优化; 遗传算法

中图分类号: U294.29 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)19-0006-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.19.002

Optimization and Effect of Multiple-factor Stand Pallet Loading Placement

LIU Huan-xiu¹, LU Jia-ping¹, LI Xin-dong²

(1.Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2.Nordic Light (Suzhou) Investment Co., Ltd., Suzhou 215021, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the placement problem of stand on the pallet by means of artificial intelligence algorithm, so as to meet the requirements of enterprises and improve the loading efficiency. According to the actual performance constraints, the three-dimensional placement problem of the stands' pallet loading was transformed into a two-dimensional problem. On the basis of the location of placement points and the order rule of blocks, the genetic algorithm was used to find out the placement solution within a few minutes. The five parameters, including space length L and width W , length L_1 of object to be placed and width W_1 and W_2 were combined as variables to explore the effects of three factors (pallet specifications, packaging materials and stand size) on the placement solution. When the five parameters ($L=1000$ mm, $W=800$ mm, $L_1=700$ mm, $W_1=380$ mm and $W_2=50$ mm) were quantitative, the optimal loading of the established case was 17 and the loading mode was $C: 0$. When the parameters were variables, the placement solution data were collected, and the images of the effects of three factors on the placement and the relationships between them were fitted. By applying the information intelligent packaging technology, by reference to the data sources of placement solution and making use of the data mutation characteristics, it is effective to help users design products better in the early stage and improve the selection efficiency of the packaging engineer's placement scheme in the later stage.

KEY WORDS: stand; placement model; pallet; loading optimization; genetic algorithm

随着信息技术和物流产业的迅速发展, 信息智能包装技术集合多元学科实现了物流和运输的自动化、最优化和即时化, 智能包装技术成为了目前的研究热点^[1]。托盘货物运输包装的合理性和效率影响着物流

的安全和成本。对于不规则形状的货物在托盘上的包装和紧固, 其首要问题是如何布局货物。由于布局对空间的影响更大程度上影响着物流成本。再则不规则形状造成多种约束, 以至于更大程度上制约了包装方

收稿日期: 2018-05-28

作者简介: 刘桓秀(1994—), 女, 江南大学硕士生, 主攻包装技术与工艺。

通信作者: 陆佳平(1964—), 男, 硕士, 江南大学副教授、硕导, 主要研究方向为包装工程技术。

式。布局问题已被研究多年,其求解方法也得到了充分发展,常用求解方法有数学规划法^[2]、启发式算法^[3]、遗传算法^[4]和模拟退火算法^[5]等元启发式算法和综合算法^[6]。

文中考虑的是一款典型商用展架在立方状态下其主体在托盘上的最优装载方式,参照 Dyckhoff^[7]提出 C&P 问题的类型学,该问题属于 3/B/O/R 问题。2007 年,Wascher 等^[8]构建了一种更加精细统一的类型学,该问题则应被归类为不规则弱异性三维单布局空间布局问题,即 SLOPP 问题。Ratcliff 和 Bischoff^[9]考虑了承重能力和脆弱性因素,利用分层迭代、单层分块的启发式算法解决了一种 3/B/O/R 的问题,同时这也属于典型的三维矩形 SLOPP 例子。Haims 和 Freeman^[10]介绍了模版布局的二维 SLOPP 类型问题。同样的,Herz、Christofides 和 Whitlock 等^[11-13]对不同维度的 SLOPP 问题提出了相应的解决方案。

不规则的三维布局问题是布局问题中较复杂的问题。Egeblad 等^[14]提出了二维多边形嵌套问题的启发式算法,然后推广到三维,解决三维嵌套问题。Y. G. Stoyan、Egeblad 等分别给出了处理多面体布局的不同方法^[15-16]。用于包装行业的实际问题可以参照一个典型的家具运输装载案例,Egeblad 等^[17]将家具模型简化,依据大小、复杂性分为不同组,利用子启发式解决特性问题,形成一套启发式算法。该方法能在几分钟内找到良好解决方案,并达到 90%左右的利用率。解决不规则物体布局问题有 2 种策略:根据不规则物体的具体情况,设计相应的模型、表达式和算法^[18-19];建立不规则物体优化模型,适应已有矩形、圆形、长方体等模型解决方案^[20]。文中利用物体实际性能约束及分层思想,将不规则的三维展架实体简化为不规则的二维模型。对于不规则的二维模型,采用包络矩形将问题转化为弱异性矩形的二维单布局空间托盘装载问题。

Dowsland 等^[21]对布局问题进行了一般性调查,其中指出托盘装载问题是将相同的矩形货箱装入矩形装载区或矩形货盘中,并要求货箱正交、分层放置。根据生产约束将三维问题转化为二维问题,并采用分块启发式算法,该方法是解决托盘装载问题的典型方法。Steudel 和 Smith、Cani^[22-23]都提出了 4 块分块启发式算法。Steudel 方法将托盘分成 4 个方向相同的矩形,通过对第 1 阶段最大周长的使用和第 2 阶段的修改确定矩形的尺寸。相较而言,Smith 和 Cani 的方法可以检查更多的装载模式。在这种方法中,若中心出现空缺,可继续推出 5 块、7 块算法。在此之后,Bischoff 和 Dowsland^[24]提出了一种改进算法,允许 5 个块的布局,并用 1 个额外的步骤来有效地填充中心空缺。与向中心聚拢的分块思想不同,Adamowicz 和 Albano 将若干个矩形装入大小相似的

条带中,启发性的进行片的分割,类似的参见 Hodgson 的研究^[13,25]。同样的,Alvarez-Valdes^[26]、Charalambous 等^[27]众多研究者^[28-30]也给出了分块启发式算法的详细应用。

该问题出现在一个典型的展具制造企业中,并且异构化形状的展架带来的包装费用和物流成本已引起企业的高度重视。解决一款展架的布局问题,并不能满足企业所有展架布局问题的需求。同时,对于布局影响因素的分析可以为前期产品设计和后期包装选择提供有力的理论支持。经过调研发现,现有成果基本上都是针对解决方法与算法的精确完善,很少针对问题本身参数的影响进行研究。实际上,对于布局问题的解决技术可以成为迎接未来工业包装问题挑战的新一代工具的来源^[21]。信息型智能包装技术是最具发展前景的智能化包装技术之一。当类似工业化大宗产品考虑布局特性时,结合信息技术形成的巨大数据库,引用和衍生成为新的信息型智能包装技术链,以构建智能物流体系,加快包装产业技术升级,满足未来工业高效发展的要求。

1 展架布局与算法

1.1 展架及其布局问题

针对一款 T 型展架做深入研究,其构成组件主要包括顶管、底管、盖板、泡沫板、紧固件和底板等,见图 1。

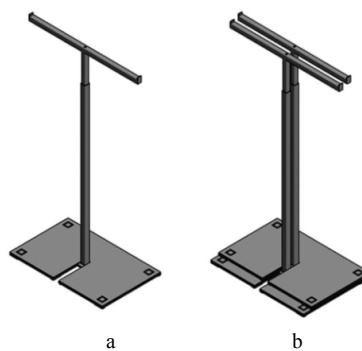


图 1 无盖板的 T 型展架及其堆叠示例

Fig.1 Example of T.Stand without cover plate and its stacking

运输过程中,展架有躺放和立放等 2 种放置方式。若采用躺放方式,展架之间的空间参数则不可控,易产生摩擦。如果采用全面裹包的包装方式,则势必会增加包装材料的使用。当展架最终运输到各大商场超市时,对门店产生的包装材料废料要求则十分严格,甚至会收取一定费用。如果采用立放,展架之间的空间参数则可以控制,同时客户要求采用立放方式。

根据产品特性、客户的要求确定了立放的放置方式,且在集装运输过程中,集装箱内设有集装架,因

此不用考虑托盘堆码的问题。在考虑经济成本及产品拆分限制的情况下,拟将底座盖板从展架上分离,形成独立包装,针对拆除盖板的展架主体在托盘上的布局解决方案进行了研究。T型展架仅有1个顶杆,且顶杆方向与卡槽方向垂直,因此展架可以在托盘上叠放。一般的,展架堆叠码放要满足托盘装载的尺寸、承重和稳定性等要求(稳定性非研究重点,先不考虑)。

1.2 布局模型的建立

大多数布局问题的研究为无性能约束,带有性能约束的研究相对较少^[31]。这里利用物体的性能约束对问题进行优化,以达到算法简化的目的。拆除了展架的盖板,展架主体的底座会形成一个凹槽,使得展架之间可以堆叠放置。展架的实际装载受到展架结构、体积、质量、容器尺寸、载重等方面的限制,需要满足以下约束。

1) 方向约束。在布局过程中,展架底座的长边或宽边必须平行于托盘的长边或宽边放置。展架底座要置于底部垂直放置,只可以水平正交旋转,不能倒置或翻倒。

2) 抗压能力约束。在装载过程中,展架底座所能承受的最大压力受到展架材料特性、包装支撑衬垫等方面的限制,因此在布局模型中先不作考虑。

3) 承载能力约束。装载结束后,展架的总质量不得超过托盘的最大限质量,一般应小于或等于2000 kg,该展架质量约为20 kg,因此单个托盘装载不得超过100个展架。

4) 配置位置约束。展架不得悬空放置,且在空间允许的条件下,后一个展架要沿凹槽叠摞在前一个展架上。

5) 装载尺寸约束。展架的总尺寸不得超过托盘的总尺寸。

根据方向约束和配置位置约束,不考虑摞与摞叠放的情况,可以将展架模型简化。展架排布主要依赖于底座的排布,架子主要影响展架长度方向的排布,可以将其长度方向尺寸扩大到架子的长度尺寸,便可避免受到影响,即采用矩形包络法简化模型^[32],见图2。将展架模型简化成矩形 R_1 ,将展架底座堆叠多出部分简化为矩形 R_2 ,托盘简化为矩形 S ,见图3。

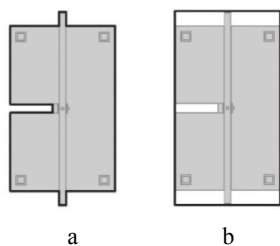


图2 T型模型优化

Fig.2 T.Stand's model optimization

将模型简化后,对于算法的约束简化为以下形式。

1) 方向约束。矩形 R_1 的长 L_1 或宽 W_1 ,矩形 R_2 的长 L_2 或宽 W_2 须平行于矩形 S 的长 L 或宽 W 放置。

2) 承载能力约束。矩形 R_1 与矩形 R_2 的数量之和应小于或等于100。

3) 配置位置约束。矩形 R_2 依存于矩形 R_1 ,其长度方向与 R_1 平行且须沿着矩形 R_1 的宽度方向依次排布。

4) 装载尺寸约束。矩形 R_1 与矩形 R_2 不成超出矩形 S 的区域排布。

将矩形 R_1 与矩形 R_2 排列到矩形 S 中,使矩形 R_1 和矩形 R_2 的数量之和最多。

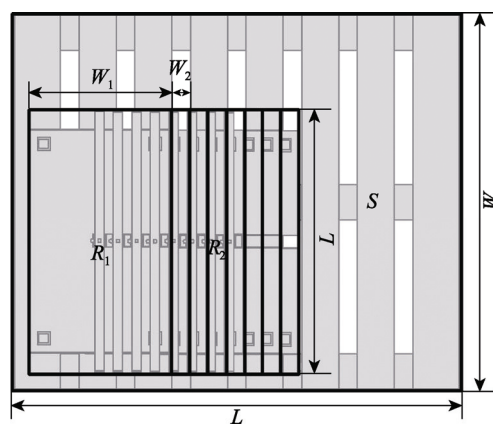


图3 整体托盘装载模型

Fig.3 Overall pallet loading model

1.3 定序和定位

基于配置位置约束和方向约束,应先将待布物体 R_1 正交放入空间 S 之后,才能放入待布物体 R_2 ,因此,待布物体 R_1 形成了可行域,见图4。图4中虚线部分是待布物体 R_1 形中心可以放置的位置点。

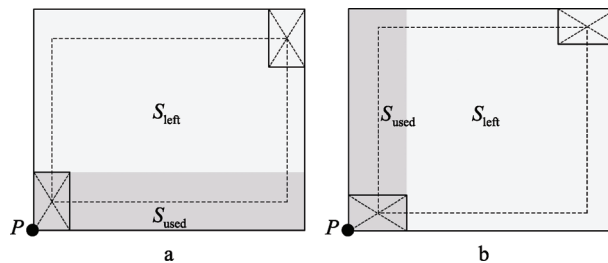


图4 可行域

Fig.4 Feasible region

欲使待布物体 R_1 与待布物体 R_2 的数量之和最大,则每当排好一个待布物体 R_1 ,便希望一直排布待布物体 R_2 (R_1 面积 $>$ R_2 面积)。根据这种排布规律,一个待布物体 R_1 和若干个待布物体 R_2 总是沿一个方向排满,占据待布空间 S ,分割出剩余空间 S_{left} 作为布局子空间。待布物体 R_1 纵向(或横向)排布,占

据可行域任意位置点, 空间 S 都被分为 S_{used} 和 S_{left} , 且 S_{left} 的面积总和相等。欲使布局子空间 S_{left} 更加规整、方便操作, 规定待布物体 R_1 从待布空间左下角的点 P 开始正交排布。点 P 即为布置点, 规定了布局空间的定位规则。

待布物体 R_1 与待布物体 R_2 按照布置点 P 继续按横向或纵向排布, 将 S_{used} 分割成若干个矩形“块”, 见图 5。“块”依次沿布置点 P 分割, 以区别为第几个“块”, 依次编号为 1, 2, 3... N 。当“块”的排布方向为纵向 (即待布物体 R_1 的长度方向平行于空间 S 的长度方向放置), 记该“块”代码为 0, 块的数量为 n 。当“块”的排布方向为横向 (即待布物体 R_1 的宽度方向平行于空间 S 的宽度方向放置), 记该“块”代码为 1, 块的数量为 m 。当待布物体 R_1 无法放入待布空间, 则停止排布, 记剩余布局子空间 S_{left} 代码为 2。根据“块”的摆放方式及布置点确定该“块”的编号, 依次从小到大计算每个“块”可排布矩形的数量, 从而迭代得到每种排布方式待布物体 R_1 与待布物体 R_2 的数量之和。

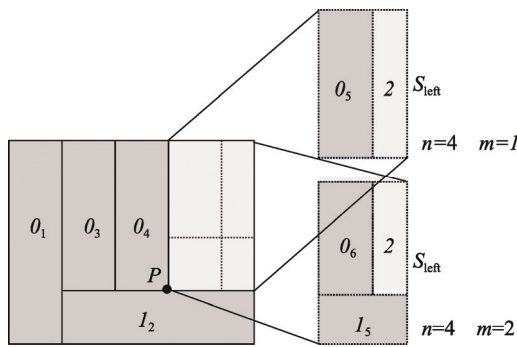


图 5 布局空间分解与放置

Fig.5 Layout space decomposition and placement

1.4 编码和解码

针对布局解要确定的问题, 即块的个数、块的排列方式、块的顺序、块的位置及装载量的个数, 确定编码形式:

$$C: [a_1, a_2, a_3, \dots, a_i] \quad (\text{其中 } a_i = 0, 1, 2) \quad (1)$$

当布置点右侧的剩余布局子空间 S_{left} (设空间 S_{left} 的长为 L_{left} , 宽为 W_{left} , 其中 L_{left} 初始值为 L , W_{left} 初始值为 W) 可放入矩形 R_1 时 ($W_{\text{left}} > L_1$, 或 $W_{\text{left}} < L_1$ 且 $W_{\text{left}} > W_1$ 且 $L_{\text{left}} > L_1$), 则放入一个“块”并判断下个代码 a_i 的数值, 否则结束 (即 $a_i = 2$, 待布物体 R_1 无法放入待布空间), 则停止排布, 迭代得到该种排列方式的装载量 F (装载量 F 为可排布矩形 R_1 和矩形 R_2 的数量, 其初始值为 0)。

当 $a_i = 0$ (即“块”的排布方向为横向, 矩形 R_1 的长度方向平行于空间 S 的长度方向放置), 则迭代总共可排布矩形 R_1 、矩形 R_2 的数量为:

$$F = F + \text{INT} \left[\frac{W_{\text{left}} - W_1}{W_2} + 1 \right] \quad (2)$$

同时布置点的右侧空间 S_{left} 的长度为:

$$L_{\text{left}} = L_{\text{left}} - L_1 \quad (3)$$

当 $a_i = 1$ (即“块”的排布方向为纵向, 矩形 R_1 的宽度方向平行于空间 S 的长度方向放置), 则迭代总共可排布矩形 R_1 、矩形 R_2 的数量为:

$$F = F + \text{INT} \left[\frac{L_{\text{left}} - W_1}{W_1} + 1 \right] \quad (4)$$

同时布置点的右侧空间 S_{left} 的宽度为:

$$W_{\text{left}} = W_{\text{left}} - L_1 \quad (5)$$

1.5 算法规则

遗传算法 (GA) 基于生物进化和遗传, 针对非线性、多变量、多目标、复杂的自适应系统进行全局最优化, 可以依据适应度 (目标函数) 进行智能搜索, 不是盲目搜索, 也不是穷举择优。基于遗传算法的布局求解算法规则如下所述, 见图 6。

1) 输入布局原始空间长度 L 及宽度 W , 待布物体长度 L_1 及宽度 W_1, W_2 。

2) 设置进化代数 g 与最大进化代数 G , 随机生成 M 个个体的初始群体 $P(0)$ 。

3) 个体适应度根据给定的约束条件以及适应度函数, 计算群体中各个个体的适应度值。适应度函数 (目标函数) 为可排布矩形 R_1 、矩形 R_2 的装载量 F , 即

$$F = \max(L, W, L_1, W_1, W_2) \quad (6)$$

F 越大, 个体的适应度越高。

4) 群体 $P(g)$ 经过选择、交叉、变异运算之后得到下一代群体 $P(g+1)$ 。

5) 若 $g = G$, 则以所得到的具有最大适应度个体的装载量 F 及装载方式作为最优布局解输出, 终止计算。

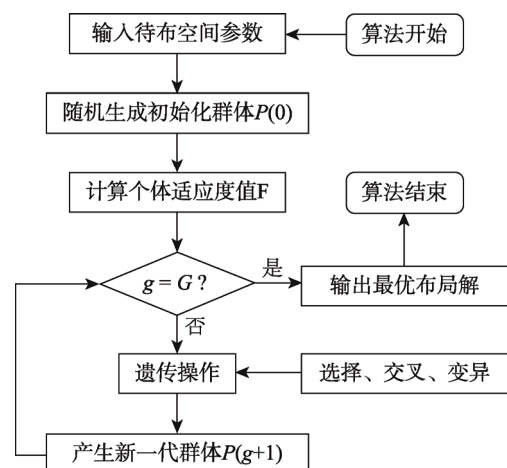


图 6 遗传算法流程

Fig.6 Flow chart of genetic algorithm

2 展架布局的影响因素分析

2.1 托盘规格对展架布局模型的影响

取 $L_1=700$ mm, $W_1=380$ mm, $W_2=50$ mm 为定量, L 和 W 为变量。目前, 托盘的种类和规格有很多。参考世界主要国家和地区托盘的标准规格^[33], 大部分

托盘长度范围在 [1000, 1500] 内, 宽度范围在 [800, 1200] 内。由此, L 取变化量为 50 mm, 从 1000 mm 开始取值到 1500 mm 共 11 个数据。 W 取变化量为 40 mm, 从 800 mm 开始取值到 1200 mm 共 11 个数据, 使布局解形成近似 11×11 的矩阵, 见表 1, 且 $L > W$ 。

表 1 不同规格托盘的布局量和方式
Tab.1 Placement quantity and mode of pallet with different specifications

尺寸/mm	1000	1100	1200	1300	1400	1500
800	13-1	15-1	17-1	19-1	21-1	23-1
840	13-1	15-1	17-1	19-1	21-1	23-1
880	13-1	15-1	17-1	19-1	22-00	23-1
920	13-1	15-1	17-1	19-1	22-00	23-1
960	13-1	15-1	17-1	19-1	24-00	24-00
1000	13-1/0	15-1	17-1	19-1	26-00	26-00
1040		15-1	17-1	19-1	28-00	28-00
1080		16-0	18-10	20-10	28-00	28-00
1120			18-10/01	20-10/01	30-00	30-00
1160			19-10/01	21-10/01	32-00	32-00
1200			20-10/01	22-10/01	34-00	34-00

注: 在 18-10/01 中, 18 代表最优装载量, 10/01 代表有 2 种最优装载方式。第 1 种是第 1 个块横向排布, 第 2 个块纵向排布。第 2 种是第 1 个块纵向排布, 第 2 个块横向排布

将布局解拟合合成一个分段常数曲面, 装载量随着托盘规格的增加而增加, 见图 7。表 1 给出了部分关键点的最优装载量和装载方式。其中, 宽度 1080 mm 为分界线。在长度 [1000, 1400] 范围内, 当宽度小于 1080 mm 时, 布局都按 1 排布; 当宽度大于或等于 1080 mm, 开始有新的块 0 的增加。这种新增可以增加承载量, 同时新的块需要包装材料。当承载量的增加量很小时, 平均包装成本和包装难度就会急剧加大, 因此有时会放弃这种布局方式, 进而选择更加保守的策略。长度 1400 mm 也为分界线, 但是长度 1400 mm

比宽度 1080 mm 对布局的影响更大, 主要是因为当长度大于或等于 1400 mm, 托盘长度方向可以承载 2 个长度的矩形 R_1 , 使得托盘在长度和宽度方向都能被充分利用。

1000 mm × 1000 mm、1200 mm × 1120 mm 等装载量虽然一样, 但是排布方式的解有多种, 选择时应考虑后期的物流条件、包装成本和包装难度等因素, 选择合理布局。

在展架尺寸一定的情况下, 参考相应的物流要求, 选择托盘规格小而装载量大的布局方式。常规情况下, 参考国际主流标准托盘为 1210 托盘 (1200 mm × 1000 mm), 1208 托盘 (1200 mm × 800 mm) 和 1111 托盘 (1100 mm × 1100 mm)^[32], 当 $W_1=380$ mm、 $W_2=50$ mm、 $L_1=700$ mm 为定量, 3 款托盘的承载数分别为 17、17 和 15, 因此选择 1208 托盘及其装载方式, 见图 8。

集装单元选择适用于国际运输的 1AA、1CC 型号集装箱, 内部尺寸为 5867 mm × 2330 mm × 2350 mm, 其中宽度尺寸为 2330 mm。单个展架高度尺寸为 1210 mm, 集装箱高度方向无法放入 2 个展架。集装箱长度方向最多装 4 个托盘长度, 无法完全利用, 因此仅考虑集装箱宽度因素、无堆码、无盖板的空间利用率为 3.7%, 见图 8。采用原有非叠摞的空间利用率为 2.02%。

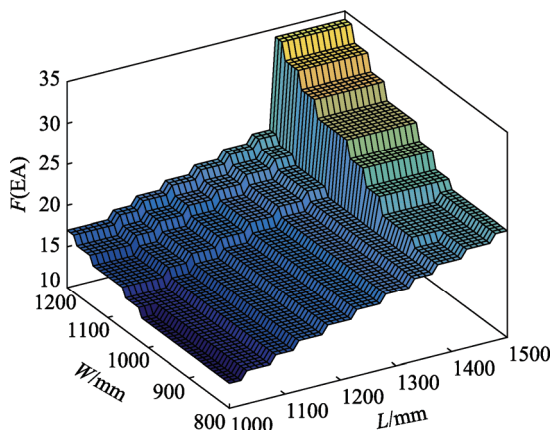


图 7 不同规格托盘的布局数量图像
Fig.7 Placement quantity image of pallet with different specifications

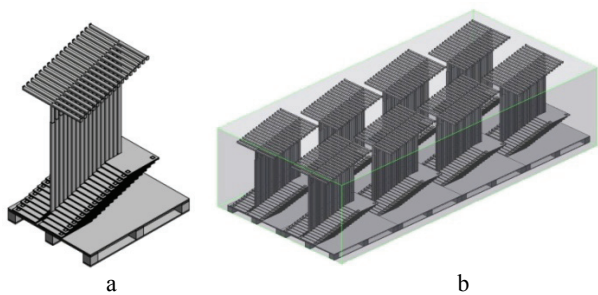


图 8 案例托盘方案与装箱方式
Fig.8 Case pallet solution and packing method

2.2 包装材料对展架布局模型的影响

在实际物流过程中,需采用包装材料对展架进行防护,对矩形 R_1 、 R_2 的尺寸参数会产生影响。当矩形 R_1 、 R_2 宽度为变量时,可以探究一定底座尺寸的同类展架其包装材料厚度对布局模型的影响。 W_1 取决于展架底座宽度尺寸和包装材料的厚度。 W_2 取决于展架立杆的宽度及包装材料的厚度。若包装材料的厚度为 Δ ,则 Δ 仅对矩形 R_1 、 R_2 宽度会增加 2 个单位 Δ 的影响,因此 W_1 和 W_2 的变化量相同。取 $L=1200\text{ mm}$, $W=800\text{ mm}$, $L_1=700\text{ mm}$ 为定量, W_1 和 W_2 为变量。 W_1 和 W_2 从无包装材料的尺寸参数开始取值 (即 $W_1=380\text{ mm}$, $W_2=50\text{ mm}$), 且 W_1 和 W_2 每次的取值变化量为 1 mm , 则包装材料的精度为 0.5 mm 。

布局解形成了阶梯状分段曲线,见图 9。随着包装材料厚度的增加,布局解降低得更加缓慢。表 2 仅给出了突变处的数据,当选择包装材料时,可以判断不同厚度包装材料的适应度,为接下来产品包装防护的设计提供支持。如果选择包装材料的厚度在突变数据附近,则倾向于选择较小的厚度以获得更大的装载量。

2.3 展架底座尺寸对展架布局模型的影响

依据托盘尺寸和现有多款展架尺寸,选择展架底

表 2 包装材料参数对布局量的影响数据 Tab.2 Data of packaging parameters' effect on placement quantity					
W_1	W_2	F	W_1	W_2	F
380	50	17	402	72	12
381	51	17	403	73	11
382	52	16	409	79	11
384	54	16	410	80	10
385	55	15	417	87	10
388	58	15	418	88	9
389	59	14	426	96	9
392	62	14	427	97	8
393	63	13	438	108	8
396	66	13	439	109	7
397	67	12	450	120	7

座尺寸在 $[100,1000]$ 区间取值。取 $L=1200\text{ mm}$, $W=800\text{ mm}$, $W_2=50\text{ mm}$ 为定量, L_1 和 W_1 为变量。 L_1 取变化量为 50 mm , 从 100 mm 开始取值到 1000 mm 共 19 个数据。 W 取变化量为 50 mm , 从 100 mm 开始取值到 1000 mm 共 19 个数据,使布局解形成近似 19×19 的矩阵, 且 $L_1 > W_1$ 。

布局解拟合成了一个分段常数曲面,总体趋势是随着展架底座长或宽的减小,装载量会逐步增加,见图 10。部分关键点的数值见表 3。长度 800 mm 为分界线,意味着整体布局的改变。当展架长度大于 800 mm 时,块只能按 0 排布;当小于或等于 800 mm 时,块按着 1 排布能获得比 0 排布更优的装载量。长度 200, 300, 400, 600 mm, 宽度 400, 600 mm 为分界线,可以看出,展架尺寸小于且接近于物流基础模数尺寸 ($600\text{ mm} \times 400\text{ mm}$) 的约数往往能获得较好的装载效果。

采用 $700\text{ mm} \times 100\text{ mm}$, $500\text{ mm} \times 100\text{ mm}$, $500\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ 等多种最优布局方式, 且装载量相同,

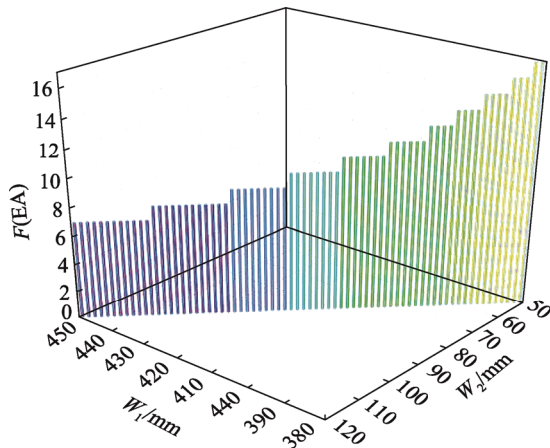


图 9 包装材料参数对布局量的影响图像
Fig.9 Image of packaging parameters' effect on
placement quantity

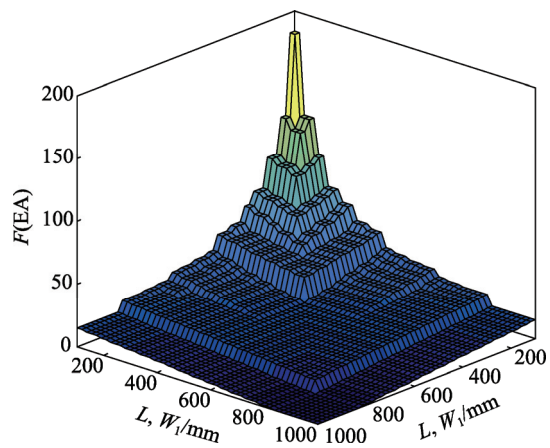


图 10 不同规格展架的布局数量图像
Fig.10 Placement quantity image of stand with
different specifications

表 3 不同规格展架的布局量与方式
Tab.3 Placement quantity and mode of stand with different specifications

尺寸/mm	900	800	700	600	500	400	300	200
800	1-0	9-1						
700	3-0	11-1	11-1					
600	5-0	13-1	13-1	13-1				
500	7-0	15-1	15-1	15-1	15-1			
400	9-0	17-1	17-1	18-00	18-00	34-11		
300	11-0	19-1	19-1	22-00	22-00	38-11	44-0000	
200	13-0	21-1	21-1	26-00	27-001/100/010	42-11	52-0000	84-1111
100	15-0	23-1	24-10/01	30-00	33-001/100/010	46-11	60-0000	92-1111

不同装载方式的 0 或 1 的个数相同,可以根据包装难易程度等因素选择合适的布局方式。通过探究底座尺寸对展架布局模型的影响,可以为用户展架设计工作提供数据支持,从源头降低物流成本。

3 结语

基于遗传算法,提出了一种解决展架实例托盘装载问题的智能方法,即巧妙利用基于实际性能约束,将不规则三维布局问题转化为二维托盘装载问题。同时,利用展架可以叠放的特点,分块切割布局空间,减少了计算时间。该方法在几分钟内就能算出既定展架在托盘上的最优装载量以及最优布局方式 C,实现实时化装载,可代替手工规划计算布局,显著地提高了布局的合理性和高效性。

在不同因素对布局模型的影响研究中发现,即使装载量相同,也可能存在不同的布局方式、不同的尺寸规格和材料厚度。对于 5 个参数已知且装载量相同,得到的不同装载方式之间,0 或 1 的数量是一样的。理论上最优的装载量及其装载方式在实际中不一定选择,往往要考虑后期物流条件、包装成本和包装难度等因素,所以更加智能、综合的方案将是今后的研究方向。

当给定展架参数,即 W_1 、 W_2 和 L_1 为常量,通过分析可以找到既定展架的最优装载托盘尺寸及其布局解。在包装材料的选择上,更趋向于选择突变数据处较小的厚度。当产品尺寸可以与物流模数相配合时,往往能获得更好的装载效果,这为前期产品设计提供了数据支持。

正如前文所述,在布局问题的研发迅速发展发展的情况下,运用到包装产业上的工作却很少。所述工作旨在为未来包装技术的发展提供一种新的思路,使得智能包装技术结合信息技术可以发展得更好、更快。

参考文献:

[1] 陈新. 智能包装技术特点研究[J]. 包装工程, 2004, 25(3): 40—42.

CHEN Xin. Study of the Characteristics of Intelligent Packaging Technology[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(3): 40—42.

[2] CASAZZA M, CESELLI A. Mathematical Programming Algorithms for Bin Packing Problems with Item Fragmentation[J]. Computers & Operations Research, 2014, 46(46): 1—11.

[3] BAKER B S, COFFMAN E G J, RIVEST R L. Orthogonal Packings in Two Dimensions[J]. Siam Journal on Computing, 1980, 9(4): 846—855.

[4] GEHRING H, BORTFELDT A. A Genetic Algorithm for Solving the Container Loading Problem[J]. International Transactions in Operational Research, 1997, 4(5/6): 401—418.

[5] DERELI T, SENA Das G. A Hybrid Simulated Annealing Algorithm for Solving Multi-objective Container-loading Problems[J]. Applied Artificial Intelligence, 2010, 24(5): 463—486.

[6] DAGLI C H, POSHYANONDA P. New Approaches to Nesting Rectangular Patterns[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 1997, 8(3): 177—190.

[7] DYCKHOFF, H. A Typology of Cutting and Packing Problems[J]. European Journal of Operational Research, 1990, 44(2): 145—159.

[8] WÄSCHER G, HAUBNER H, SCHUMANN H. An Improved Typology of Cutting and Packing Problems[J]. European Journal of Operational Research, 2007, 183(3): 1109—1130.

[9] RATCLIFF M S W, BISCHOFF E E. Allowing for Weight Considerations in Container Loading[J]. Operations-Research-spektrum, 1998, 20(1): 65—71.

[10] HAIMS M J, FREEMAN H. A Multistage Solution of the Template-layout Problem[J]. IEEE Transactions on Systems Science & Cybernetics, 1970, 6(2): 145—151.

[11] HERZ J C. Recursive Computational Procedure for Two-dimensional Stock Cutting[J]. Ibm Journal of Research & Development, 1972, 16(5): 462—469.

[12] CHRISTOFIDES N, WHITLOCK C. An Algorithm for Two-dimensional Cutting Problems[J]. Operations Research, 1977, 25(1): 30—44.

[13] HODGSON T. A Combined Approach to the Pallet Loading Problem[J]. A I I E Transactions, 1982, 14(3):

- 175—182.
- [14] EGEBLAD J, NIELSEN B K, ODGAARD A. Fast Neighborhood Search for Two and Three-dimensional Nesting Problems[J]. *European Journal of Operational Research*, 2007, 183(3): 1249—1266.
- [15] STOYAN Y G, GIL N I, SCHEITHAUER G, et al. Packing of Convex Polytopes into a Parallelepiped[J]. *Optimization*, 2005, 54(2): 215—235.
- [16] EGEBLAD J, NIELSEN B K, BRAZIL M. Translational Packing of Arbitrary Polytopes[J]. *Computational Geometry*, 2009, 42(4): 269—288.
- [17] EGEBLAD J, PISINGERA D. Heuristics for Container Loading of Furniture[J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 200(3): 881—892.
- [18] 王彩红. 分布式环境下人机协同的智能布置设计理论与方法的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
WANG Cai-hong. Study on Intelligent Layout Design of Human Computer Interaction Based on Distributed Knowledge Environment[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2007.
- [19] ZHA X F, LIM S Y E. Intelligent Design and Planning of Manual Assembly Workstations: a Neuro-fuzzy Approach[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2003, 44(4): 611—632.
- [20] JAKOBS S. Theory and Methodology on Genetic Algorithms for the Packing of Polygons[J]. *European Journal of Operations Research*, 1993, 88(1): 165—181.
- [21] DOWSLAND K A, DOWSLAND W B. Packing Problems[J]. *European Journal of Operational Research*, 1992, 56(1): 2—14.
- [22] STEUDEL H J. Generating Pallet Loading Patterns: a Special Case of the Two-dimensional Cutting Stock Problem[J]. *Management Science*, 1979, 25(10): 997—1004.
- [23] SMITH A, CANI P D. An Algorithm to Optimize the Layout of Boxes in Pallets[J]. *Journal of the Operational Research Society*, 1980, 31(7): 573—578.
- [24] BISCHOFF E, DOWSLAND W B. An Application of the Micro to Product Design and Distribution[J]. *Journal of the Operational Research Society*, 1982, 33(3): 271—280.
- [25] ADAMOWICZ M, ALBANO A. A Solution of the Rectangular Cutting-stock Problem[J]. *IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics*, 1976 (4): 302—310.
- [26] ALVAREZ-VALDES R, PARREÑO F, TAMARIT J M. A GRASP Algorithm for Constrained Two-dimensional Non-guillotine Cutting Problems[J]. *Journal of the Operational Research Society*, 2005, 56(4): 414—425.
- [27] CHARALAMBOUS C, FLESZAR K. A Constructive Bin-oriented Heuristic for the Two-dimensional Bin Packing Problem with Guillotine Cuts[J]. *Computers & Operations Research*, 2011, 38(10): 1443—1451.
- [28] NELIßEN J. How to Use Structural Constraints to Compute an Upper Bound for the Pallet Loading Problem[J]. *European Journal of Operational Research*, 1995, 84(3): 662—680.
- [29] MORABITO R, MORALES S. A Simple and Effective Recursive Procedure for the Manufacturer's Pallet Loading Problem[J]. *Journal of the Operational Research Society*, 1998, 49(8): 819—828.
- [30] HERBERT E A, DOWSLAND K A. A Family of Genetic Algorithms for the Pallet Loading Problem[J]. *Annals of Operations Research*, 1996, 63(3): 415—436.
- [31] 黄振东. 卫星舱布局问题的启发式求解与涌现计算[D]. 武汉: 华中科技大学, 2014.
Huang Zhen-dong. Heuristic Solving and Emerging Computing for the Layout Optimization Problems in Satellite Module[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2014.
- [32] 王金敏, 简其和, 喻宏波. 针对目标的布局启发式算法[J]. *天津大学学报*, 2005, 38(6): 499—502.
WANG Jin-min, JIAN Qi-he, YU Hong-bo. Objective-based Heuristic Algorithm for Packing Problem[J]. *Journal of Tianjin University*, 2005, 38(6): 499—502.
- [33] 宗成强, 张红卫, 董金松. 我国道路货运托盘标准相关研究[J]. *标准科学*, 2016(4): 35—39.
ZONG Cheng-qiang, ZHANG Hong-wei, DONG Jin-song. Researches on Pallet Standards in Chinese Road Transportation[J]. *STANDARD SCIENCE*, 2016(4): 35—39.