

一种简化粒子群算法及在三维装箱问题中的应用

孟 非 黄太安 解志斌

(江苏科技大学电子信息学院, 镇江 212003)

摘 要 在简化粒子群算法中引入混合蛙跳算法的分组思想,使得粒子群算法在进化后期能够利用更丰富的信息,有效避免算法早熟收敛和收敛到局部最优问题,且收敛速度更快。将改进后的简化粒子群算法用于解决集装箱装箱问题,数值试验表明这种集装箱装载方法能够达到较好的容积利用率。为了指导实际的装箱操作,设计出了集装箱装载软件。

关键词 粒子群算法 蛙跳算法 装箱问题

中图分类号 TP301.6; **文献标志码** A

集装箱装箱问题是一个典型的组合优化问题,也是一个经典的 NPC 问题,分析和研究该问题对其他 NPC 问题比如多处理器任务调度、资源分配、板材切割以及现实生活中货物包装布局等等的研究也具有很大的参考价值和重要的理论和现实意义。这类问题不存在有效时间内求得精确解的算法,所以装箱问题的求解极为困难,一般采用启发式算法求解此类问题,比如多层启发式搜索算法^[1]、遗传算法^[2]、多约束 FFD 算法^[3]、穴度算法^[4]、模拟退火算法^[5]、禁忌搜索算法^[6]等。

粒子群优化 (particle swarm optimization, PSO) 算法是 Kennedy 和 Eberhart 受人工生命研究结果的启发并通过模拟鸟群觅食过程中的迁徙和群聚行为而提出的一种基于群体智能的全局随机搜索算法^[7]。作为一个有效的优化算法,PSO 算法被广泛应用于函数优化、模式分类、模糊系统控制、神经网络训练以及其他工程领域中^[8]。由于 PSO 算法程序实现简单,需要调整的参数很少,因此近年来出

现了研究热潮,并提出了很多改进的算法^[9-12]。

标准 PSO 算法在进化后期由于粒子多样性的缺失而易于陷入局部最优,发生早熟收敛问题。在文献 [12] 提出的简化粒子群算法 (simplified PSO, SPSO) 基础上,融入蛙跳算法 (shuffled frog leaping algorithm, SFLA) 的分组思想,可以有效避免算法早熟收敛现象的发生,提高算法 PSO 的收敛速度和收敛精度。论文最后将这种改进的 PSO 算法用于集装箱装箱问题,与现有文献相比,可以得到更高的装箱率。

1 问题描述

集装箱装载问题是指将一批小的物体按照一定的顺序和方式装入集装箱中,目标是使集装箱的空间利用率和(或)载重利用率最高。集装箱装载问题可从集装箱和货物两方面考虑,即单集装箱贯序装配和多集装箱并行装配、同种货物装配和不同货物装配,这两种方法相互组合,对应单集装箱贯序装配、多集装箱并行装配、同种货物装配、不同货物装配四种装配情形。对于集装箱装载问题,国内外已经开展了相应的研究,现选取三空间分割法结合 PSO 算法实现装箱。这种方法规则简单,且能够保证货物有足够的稳定性,对于实际装箱具有现实性的指导意义。下面是对三空间分割法进行简单介绍。

2013年6月21日收到

船舶工业国防科技预研
基金(10J3.5.2)资助

第一作者简介:孟 非(1977—),女,辽宁沈阳人,实验师,研究方向:智能计算技术及其应用。E-mail: just_mengfei@163.com。

* 通信作者简介:黄太安(1987—),男,湖北武汉人,江苏科技大学研究生,研究方向:粒子群优化算法及其应用。

假设待装载的货物均为长方体, 货物在装入集装箱时要求各边分别与集装箱各边平行, 不能斜放。集装箱的后左下处于空间坐标系的零点位置, L 、 W 、 H 分别表示集装箱的长、宽、高尺寸, 如图 1 所示。装载开始前, 先按一定的规则整理好待装入的货物, 包括货物装载顺序、是否有旋转、如何旋转等。装载开始时, 首先将整个集装箱作为当前的装载空间, 第一个货物放在集装箱的后左下角的位置上。这样集装箱就被分割成三个空间: 前空间 (front space)、右空间 (right space) 和上空间 (top space)。空间的分割方式如图 1 所示, 之所以这样分割, 一方面是为了使剩余的空间尽可能的大块存在, 有利于提高装箱利用率, 另一方面是为了保证小的货物在大的货物上面, 提高货物的稳定性。在第二个货物放入时就依次以这三个空间为当前装载空间, 被放入的那个空间又被分割成前、右、上三个空间。随着货物的依次装入, 不断重复上述分解过程, 直到货物全部装完或集装箱没有可以利用的空间为止。在集装箱中装载货物遵循以下规则: (1) 对当前空间按照体积由小到大的顺序进行排序, 每个货物选择能放下且体积最小的空间, 放在该空间的后左下角; (2) 每放入一个货物后, 删除体积为零的空间和不能放下剩下任一货物的空间。

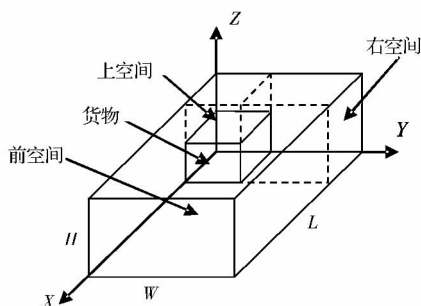


图 1 集装箱装载时三空间分割示意图

2 算法描述

PSO 算法是一种基于种群的智能优化算法。假设在 D 维的搜索空间中, 粒子群的规模是 N , $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$ 是第 i 个粒子的位置, $p_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD})$ 是其对应的飞行速度, 则 PSO 算法的迭代公式如下:

$$v(t+1) = v(t) + c_1 r_1 [p_{\text{best}} - x(t)] + c_2 r_2 [g_{\text{best}} - x(t)] \quad (1)$$

$$x(t+1) = x(t) + v(t+1) \quad (2)$$

式中, c_1 和 c_2 被称为学习因子, p_{best} 和 g_{best} 表示粒子自身历史最优位置和粒子群最优位置, r_1 和 r_2 为介于 $(0, 1)$ 之间的随机数。

胡旺等人仔细分析了 PSO 算法的式 (1) 和式 (2), 发现速度项并不是必须的, 它的存在有可能使得粒子偏离正确的进化方向, 为此给出简化粒子群算法:

$$x(t+1) = \omega x(t) + c_1 r_1 [p_{\text{best}} - x(t)] + c_2 r_2 [g_{\text{best}} - x(t)] \quad (3)$$

式 (3) 中, ω 表示收缩因子。文献 [12] 从理论和实验上证明了这种简化粒子群算法的高效性。

蛙跳算法是模拟一群青蛙在一片湿地中跳动的觅食行为而提出的一种优化计算方法^[13]。假设一群青蛙生活在一片湿地里, 每个青蛙代表问题的一个解, 青蛙通过在不同的石头间跳跃寻找食物。这群青蛙又被分为可以进行充分交流的若干个子群, 即算法进化到一段时间后, 各子群间进行信息交流。这样, 每个青蛙同时利用子群和种群的信息来寻找食物。

由于 SPSO 算法只用到位置信息, 而 SFLA 算法也只需要位置项, 这样可以将 SFLA 算法的分组思想引入到 SPSO 中, 可以确保各个小组内粒子间的差异性, 有利于粒子位置的更新。混合蛙跳粒子群 (hybrid frog leaping particle swarm optimization, HFLPSO) 算法更新公式如下

$$x(t+1) = \omega x(t) + c_1 r_1 [p_{\text{best}} - x(t)] + c_2 r_2 [g_{\text{best}} - x(t)] + c_3 r_3 [g'_{\text{best}} - x(t)] \quad (4)$$

式 (4) 中, 右边的第 1 项为“历史”部分, 第 2 项为“认知”部分, 第 3 项为“社会”部分, 第 4 项为“超社会”部分。“历史”部分表示过去对现在的影响, “认知”部分表示粒子对自身的思考, “社会”部分表示粒子与组内最优粒子的比较和模仿, “超社会”部分表示粒子与总的粒子群体最优值的比较和模仿。这样, 粒子可以获得更丰富的信息, 且局部信息和全局信息能够得到更加充分的利用, 粒子间的信息共享和合作也变得更加充分, 借此来更新粒子自身的位置。

3 数值试验

对于集装箱装箱问题,物体和集装箱的形状会有多样,本节数值试验研究的是三维空间中长方体的物体装入到长方体的集装箱中的情形,即在三维欧氏空间中,给定一个长方体容器和有限个待放长方体,要求将这些长方体尽可能多地装入容器中,使得容器剩余的空闲空间最小,即容器的空间利用率最大。长方体在放入时要求满足以下三个条件:①完全在容器内,不与容器的壁相嵌;②不与任一已放入的长方体相嵌;③长方体的棱与容器的某条棱平行,即垂直放入长方体。

采用 HFLPSO 算法解决集装箱装载问题,步骤如下:

Step 1 随机生成 $m \times n$ 个箱子种类装箱序列;

Step 2 利用三空间分割法计算每个种类装箱序列对应的集装箱空间利用率,然后按照空间利用率由大到小的顺序进行排序,选出种群内最优种类装箱序列 g_{best} ;

Step 3 按照混合蛙跳算法的分组方式将种类装箱序列分为 m 组,每组 n 个种类装箱序列。则第 i 组种类装箱序列为 $\{x_i, x_{m+i}, x_{2m+i}, \dots, x_{(j-1)m+i}\}$, $i \in [1, m], j \in [1, n]$;

Step 4 将每个种类装箱序列对应的利用率与其自身历史最优种类装箱序列对应的空间利用率作比较,如更高,则更新自身历史最优种类装箱序列 p_{best} ,否则,保持 p_{best} 不变;

Step 5 选出组内最优种类装箱序列 g_{best} ,第 i 组种类装箱序列中的最优种类装箱序列为 x_i ;

Step 6 更新每个种类装箱序列,在各小组内按照空间利用率由大到小的顺序对种类装箱序列进行排序,然后进入下一次迭代,转到 Step 5;

Step 7 达到组内迭代次数后,得到了一组新的种类装箱序列,再重新分组,转到 Step 2;

Step 8 达到分组次数后,存盘退出。

文献[14]给出 15 个 LN 算例,本节应用 HFLPSO 算法计算了其中 6 个,这 6 个 LN 算例具体数据见文献[15],计算结果见表 1 和图 2。试验过程中取 $\omega = 1$, $\rho_1 = c_3 = 2$, $\rho_2 = 0.8$; 粒子群分为 5 组,每

组 10 个粒子;为了计算快速,组内迭代次数取 1,分组次数为 30;程序独立运行 20 次,取最高利用率对应的解得到图 2。

对于给定的集装箱 R 和箱子 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$, 集装箱 R 的长、宽、高分别为 L, W, H , 第 c_i 种箱子对应的长、宽、高、数量分别为 l_i, w_i, h_i, n_i		表 1 容积利用率	
编号	文献[15]算法	HFLPSO 算法	
LN01	85.80	86.65	
LN02	88.10	89.69	
LN06	85.30	90.35	
LN07	85.00	86.09	
LN08	—	86.43	
LN09	—	91.02	

每个 c_i 种箱子的体积为 $v_i = l_i \times w_i \times h_i$ 。由于箱子体积之和与集装箱的体积大小关系会随着问题的变化而变化,集装箱不一定装入所有箱子,同种箱子也不一定能全部装入集装箱中,因此引入参数 L_{\max} 和 $n_{i_{\max}} \circ L_{\max}$ 表示装箱结束后,箱子在集装箱长度方向(X 方向)占用的最远距离,此时占用集装箱的体积为 $V_o = L_{\max} \times W \times H$ 。如不作此处理,当所有的箱子都能装入集装箱时,集装箱的利用率将不会随着装载顺序的不同而发生改变,永远保持固定值 $\sum_{i=1}^n v_i / (L \times W \times H)$ 不变,算法无法寻优。 $n_{i_{\max}}$ 表示装入集装箱中第 c_i 种箱子的最大个数,显然有 $n_{i_{\max}} \in (0, n_i)$ 。有了上述定义后,集装箱装载问题的适应度函数表示为

$$E = V_s / V_o \quad (5)$$

式(5)中, $V_s = \sum_{i=1}^n x_i v_i n_{i_{\max}}$, $x_i = 1$ 或 $x_i = 0$ 。在求解 V_s 时,集装箱 R 要装下所有 $x_i = 1$ 的箱子 c_i 。

由表 1 可知,本文算法在六组测试数据中均达到了 86% 以上的容积利用率,其中组别 LN01、LN02、LN06、LN07 相对于文献[15]来说容积利用率均得到了提高,尤其是 LN06 提高了 5.05%, LN08 和 LN09 原文献没有给出相应的容积利用率,相应的装箱图见图 2 所示。从图 2 可以得到,小箱子都是放在大箱子的上面,满足了稳定性的要求;箱子按照由下到上、由左到右、由后到前的规则进行装载,这样就保证了箱子摆放比较紧凑,剩余空间比较集中,有利于后续箱子的装入。

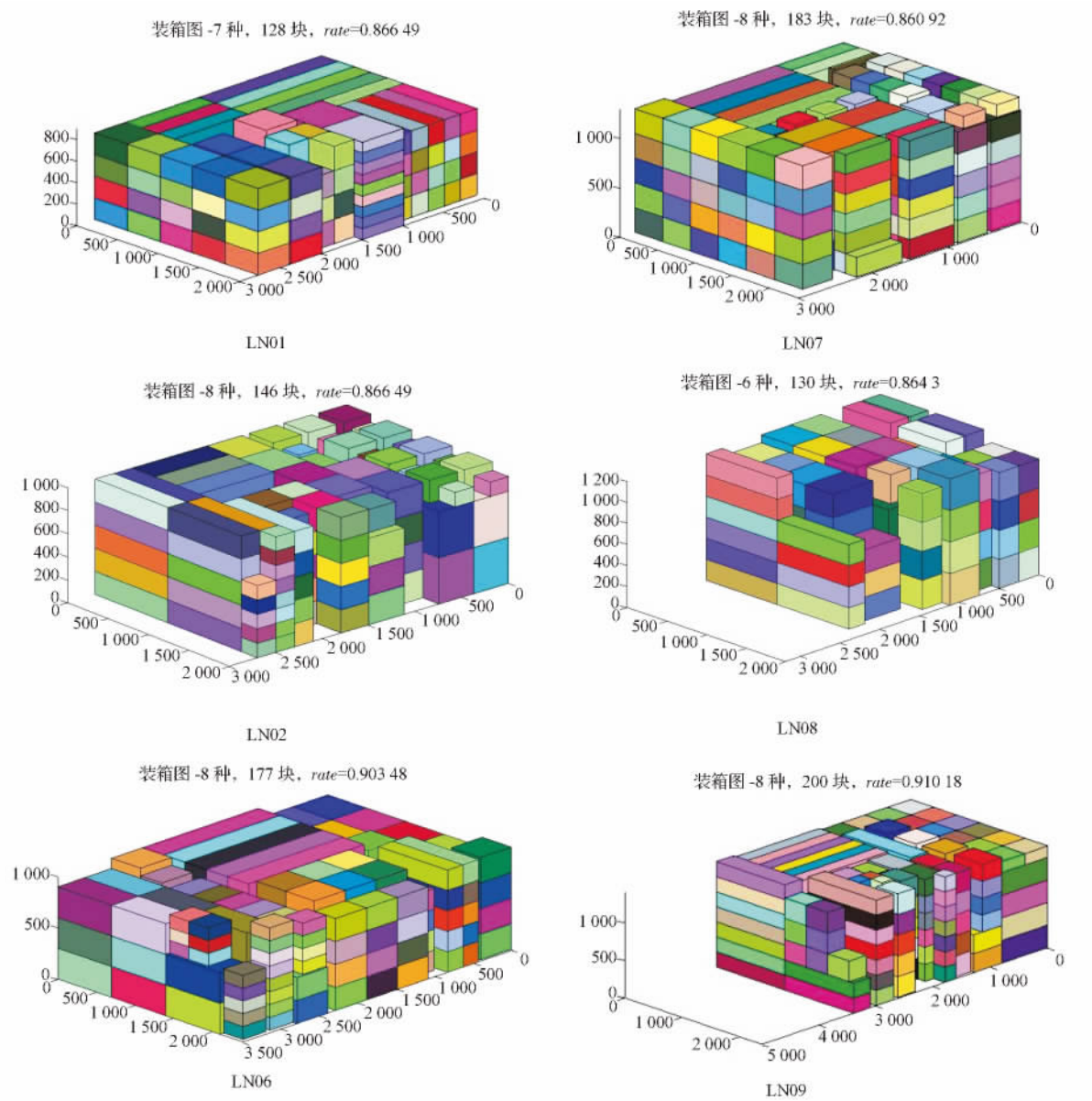


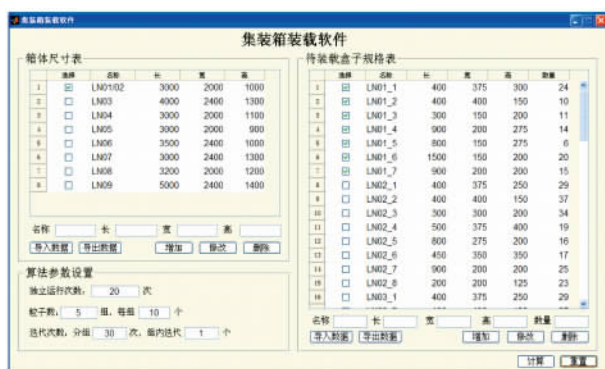
图2 集装箱装箱图

由于在实际的装箱过程中,既要给出装入集装箱中货物的种类、数量,更重要的是要给出一个清晰的三维装箱图,才能给人工装箱时一个直接的参考。为此,作者在 Windows XP 环境下利用 matlab7.10.0(R2010a) 中的用户图形界面(GUI)设计了一个集装箱装载软件。该软件可实现原始数据的输入,在计算前可对算法参数进行调整。通过计算后能得到装箱图和装载结果表,装箱图可三维观察,装载结果表中给出了每个货物的具体位置。该软件用于解决大量货物在单一集装箱中的装载问

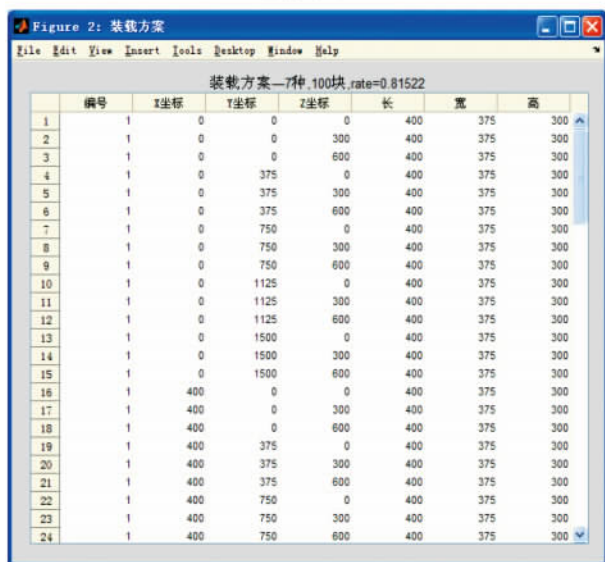
题,软件的输入界面和输出界面如图3所示。

4 结论

考虑到标准 PSO 算法易于陷入局部最优的问题,将蛙跳算法的分组思想融入到简化粒子群算法中,形成了一种混合蛙跳粒子群优化算法,可以有效地避免算法早熟收敛现象的发生,提高算法 PSO 的收敛速度和收敛精度。按照三空间分割法的基本原则,采用混合蛙跳粒子群优化算法优化集装箱装箱问题中货物的装载顺序和是否旋转等信息,有效



(a) 输入界面



(b) 输出界面

图3 集装箱装载软件

的提高了集装箱的容积利用率和货物在运输途中的稳定性。同时,为了指导实际的装箱操作,设计出了集装箱装载软件。

参 考 文 献

- 1 张德富,彭煜,张丽丽. 求解三维装箱问题的多层启发式搜索算法. 计算机学报, 2012; 35(12): 2553—2561
- 2 张丽岩,马健,孙焰. 三层并行遗传算法及装箱问题中的应用. 微型机与应用, 2011; 30(17): 67—70
- 3 杜少波,张国基,刘清. 一种新的多约束尺寸可变的装箱问题. 计算机工程与应用, 2011; 47(19): 242—244, 248
- 4 何琨,黄文奇,胡骞. 基于动作空间的求解三维矩形装箱问题的穴度算法. 计算机科学, 2010; 37(10): 181—183, 210
- 6 张德富,彭煜,朱文兴,等. 求解三维装箱问题的混合模拟退火算法. 计算机学报, 2009; 32(11): 2147—2156
- 5 Bortfeldt A, Gehring H. A tabu search algorithm for weakly heterogeneous container loading problems. OR Spectrum, 1998; 20(4): 237—250
- 7 Kennedy J, Eberhart R C. Particle swarm optimization. Proc IEEE Int'l Conf on Neural Networks, Piscataway, NJ, 1995: 1942—1948
- 8 曾建潮,介婧,崔志华. 微粒群算法. 北京: 科学出版社, 2004
- 9 孙湘,周大为,张希望. 惯性权重粒子群算法收敛性分析及参数选择. 计算机工程与设计, 2010; 31(18): 4068—4071
- 10 田雨波,彭涛,沙莎. 基于微分进化算子和混沌扰动的量子粒子群算法. 江苏科技大学学报(自然科学版), 2011; 25(2): 158—162
- 11 田雨波,朱人杰,薛权祥. 粒子群优化算法中惯性权重的研究进展. 计算机工程与应用, 2008; 44(23): 39—41
- 12 胡旺,李志蜀. 一种更简化而高效的粒子群优化算法. 软件学报, 2007; 18(4): 861—868
- 13 Eusuff M, Lansey K E. Optimization of water distribution network design using shuffled frog leaping algorithm. Journal of Water Resources Planning and Management, 2003; 129(3): 210—225
- 14 Loh T H, Nee A Y C. A packing algorithm for hexahedral boxes. In: Proc of the Conf of Industrial Automation, Singapore: Industrial Automation Association, 1992: 115—126
- 15 赵钟荣. 基于改进遗传算法的集装箱装载优化方法研究. 上海: 上海交通大学, 2010: 45—47

(下转第 9226 页)

Face Recognition in Illumination Tolerant Two-dimensional Subspace Based on Optimum Correlation Filter

LI Hong-sheng¹ ZHAO Ji-qing¹ BAO Hai-qiang²

(Hebi College of Vocation and Technology¹ , Hebi 458030 , P. R. China;

School of Computer Science , Zhongyuan University of Technology² , Zhengzhou 450007 , P. R. China)

[Abstract] For the illumination tolerant face recognition problem , illumination tolerant two-dimensional subspace method based on optimum correlation filter is proposed. A couple of correlation filters are generated by using 2D-PCA with class specified to reconstruct face images. The optimal projection image correlation filter is used to project testing images to two-dimensional subspace. Refactoring correlation filter is used to reconstruct images. Face classification is finished by preset lighting tolerance threshold. The performance of proposed strategy is evaluated on YaleB and PIE face databases. Proposed technique has better performance comparing with other existing correlation filters.

[Key words] face recognition illumination tolerant two-dimensional subspace correlation filter
optimal projection image refactoring images

(上接第 9218 页)

New Simplified Particle Swarm Optimization and Its Application to Container Loading Problem

MENG Fei HUANG Tai-an* XIE Zhi-bin

(School of Electronics and Information , Jiangsu University of Science and Technology , Zhenjiang 212003 , P. R. China)

[Abstract] The grouping idea of shuffled frog leaping algorithm (SFLA) is introduced into simplified particle swarm optimization (SPSO) . This makes the particles can get more information to update their own locations. Therefore , the problems of premature convergence and being trapped in local minima are solved effectively , and the speed of convergence is fast. Moreover , the improved SPSO is used to solve the container loading problem. The simulation results show that the container space utilization is high. In order to guide the actual operation , the container loading soft is design.

[Key words] particle swarm algorithm shuffled frog leaping optimization container loading problem